

Jaroslav Řehánek, Antonín Janouš, Petr Kučera,  
Vlastimil Kučera, Jaroslav Šafránek, Vladimír Václavík

# 4x **E** o tepelné izolaci budov

*Energetika*

*Environment*

*Ekonomika*

*Efektivnost*



2004

# Obsah

|                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Seznam základních označení</b>                                                           | <b>5</b>   |
| <b>Úvod</b>                                                                                 | <b>6</b>   |
| <b>1. Základní požadavky na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov</b>  | <b>8</b>   |
| Literatura                                                                                  | 10         |
| <b>2. Energetická náročnost výstavby a provozu budov</b>                                    | <b>11</b>  |
| 2.1 Energetická náročnost výstavby budov                                                    | 11         |
| 2.1.1 Energetická náročnost stavebních a tepelně izolačních materiálů, výrobků a konstrukcí | 11         |
| 2.1.2 Energetická náročnost zařízení a vybavení typické bytové jednotky                     | 14         |
| 2.1.3 Energetická náročnost mimostaveništní dopravy                                         | 14         |
| 2.1.4 Energetická náročnost provádění budov                                                 | 15         |
| 2.1.5 Energetická náročnost údržby a rekonstrukce budov                                     | 15         |
| 2.1.6 Energetická náročnost likvidace budov                                                 | 16         |
| 2.1.7 Úspora energie recyklací                                                              | 18         |
| 2.1.8 Energetická náročnost některých budov                                                 | 18         |
| 2.2 Provozní energetická náročnost budov                                                    | 28         |
| 2.2.1 Spotřeba tepla při vytápění vybraných budov                                           | 29         |
| 2.2.1.1 Typizované bytové domy                                                              | 29         |
| 2.2.1.2 Komentář k výsledkům měrné spotřeby tepla panelových budov                          | 57         |
| 2.2.1.3 Rodinné domy                                                                        | 61         |
| 2.2.1.4 Budovy zdravotnické a školní                                                        | 72         |
| 2.2.1.5 Souhrn rozdílů vypočítaných a naměřených tepelných ztrát                            | 76         |
| 2.2.1.6 Stupeň energetické náročnosti hodnocených budov                                     | 77         |
| 2.2.2 Spotřeba tepla při ohřevu teplé vody                                                  | 80         |
| 2.3 Souhrnná energetická náročnost výstavby a provozu budov                                 | 88         |
| 2.4 Literatura                                                                              | 93         |
| <b>3. Způsoby výpočtu tepelných ztrát, spotřeby tepla a množství primárního paliva</b>      | <b>96</b>  |
| 3.1 Způsob stanovení spotřeby tepla při vytápění                                            | 96         |
| 3.1.1 ČSN EN 832                                                                            | 96         |
| 3.1.2 Vyhláška MPO č. 29 1/2001 Sb.                                                         | 107        |
| 3.1.3 Závěr                                                                                 | 116        |
| 3.2 Stanovení spotřeby tepla při ohřevu teplé vody                                          | 117        |
| 3.2.1 ČSN 06 0320:1986                                                                      | 118        |
| 3.2.2 ČSN 06 0320:1998                                                                      | 118        |
| 3.2.3 Tepelná ztráta potrubí                                                                | 119        |
| 3.3 Stanovení množství primárního paliva                                                    | 121        |
| 3.4 Literatura                                                                              | 124        |
| <b>4. Opatření ke zmenšení tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění</b>                | <b>126</b> |
| 4.1 Opatření spojená s tepelně technickými vlastnostmi                                      | 126        |
| 4.1.1 Tepelné ztráty jednotlivými částmi obvodového pláště budovy                           | 126        |
| 4.1.1.1 Stavební konstrukce                                                                 | 126        |
| 4.1.1.2 Otvorové výplně                                                                     | 128        |

|           |                                                                                                                   |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.1.3   | Tepelné mosty                                                                                                     | 131        |
| 4.1.2     | Spotřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla a možné úspory                                           | 134        |
| 4.1.2.1   | Obvodové konstrukce a okna                                                                                        | 134        |
| 4.1.2.2   | Budovy                                                                                                            | 140        |
| 4.2       | Technická zařízení a zařízení využívající obnovitelné a druhotné zdroje energie                                   | 147        |
| 4.2.1     | Technická zařízení                                                                                                | 147        |
| 4.2.2     | Obnovitelné zdroje tepla a jejich porovnání se standardními zdroji                                                | 150        |
| 4.2.3     | Ohřev teplé vody                                                                                                  | 151        |
| 4.3       | Literatura                                                                                                        | 151        |
| <b>5.</b> | <b>Environmentálně energetické vazby</b>                                                                          | <b>153</b> |
| 5.1       | Škodliviny vznikající při spalování paliv                                                                         | 154        |
|           | Kategorie spalovacích zdrojů                                                                                      | 155        |
|           | Emisní limity obecné a specifické                                                                                 | 155        |
|           | Poplatky za znečišťování                                                                                          | 156        |
|           | Emisní limity pro spalovací zdroje                                                                                | 156        |
|           | Účinnost spalování                                                                                                | 158        |
| 5.2       | Přibližné stanovení emisí a některých znečišťujících látek výpočtem                                               | 159        |
|           | Emisní faktory spalovacích zdrojů                                                                                 | 159        |
| 5.3       | Literatura                                                                                                        | 166        |
| <b>6.</b> | <b>Ekonomická efektivnost opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění</b>                                  | <b>168</b> |
| 6.1       | Základní pojmy a definice z úrokového počtu                                                                       | 170        |
| 6.2       | Metody pro hodnocení ekonomické efektivnosti                                                                      | 175        |
| 6.2.1     | Doba návratnosti                                                                                                  | 175        |
| 6.2.2     | Metoda současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů                                                         | 175        |
| 6.2.3     | Metoda ročních převedených nákladů                                                                                | 177        |
| 6.2.4     | Vnitřní výnosové procento                                                                                         | 177        |
| 6.3       | Vliv některých činitelů na ekonomickou efektivnost dodatečné tepelné izolace                                      | 178        |
| 6.3.1     | Návratnost prostředků vynaložených na dodatečnou tepelnou izolaci                                                 | 179        |
| 6.3.2     | Ukazatel zisku                                                                                                    | 185        |
| 6.3.3     | Vyhodnocení ekonomické efektivnosti opatření ke zlepšení obvodového pláště panelového domu                        | 206        |
| 6.4       | Zdroje financování opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění budov                                       | 219        |
| 6.4.1     | Financování opatření ke zmenšení spotřeby energie vlastním kapitálem                                              | 219        |
| 6.4.2     | Financování opatření ke zmenšení spotřeby energie prostředky získanými úvěrem                                     | 220        |
| 6.4.3     | Efektivnost prostředků získaných z různých zdrojů                                                                 | 222        |
| 6.4.4     | Program státních podpor opatření ke zmenšování spotřeby energie                                                   | 226        |
| 6.5       | Literatura                                                                                                        | 227        |
| <b>7.</b> | <b>Příklad vyhodnocení ekonomické efektivnosti komplexního opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění</b> | <b>228</b> |
| 7.1       | Vstupní údaje pro hodnocení ekonomické efektivnosti                                                               | 228        |
| 7.2       | Příklady hodnocení ekonomické efektivnosti                                                                        | 229        |
| 7.2.1     | Možnost snížení spotřeby tepla na vytápění panelového bytového domu                                               | 229        |
| 7.2.2     | Možnost zmenšení spotřeby tepla při vytápění rodinného domu s využitím tepelného čerpadla                         | 242        |

## Seznam základních označení

|               |                                                                                |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $a$           | podíl plochy oken (-)                                                          |
| $b$           | činitel teplotní redukce (-)                                                   |
| $c$           | měrná tepelná kapacita (kJ/(kg K))                                             |
| $d$           | tloušťka (m)                                                                   |
| $e_v$         | měrná spotřeba tepla (kWh/(m <sup>3</sup> a))                                  |
| $g; T$        | celková propustnost slunečního záření zasklení (-)                             |
| $h$           | výška budovy (m)                                                               |
| $i_{LV}$      | součinitel spárové průvzdušnosti (m <sup>3</sup> /(m s Pa <sup>0,67</sup> ))   |
| $n$           | intenzita výměny vzduchu (1/h)                                                 |
| $o$           | obvod budovy (m)                                                               |
| $q_v$         | objemová hustota toku vzduchu (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> s))             |
| $A$           | plocha (m <sup>2</sup> )                                                       |
| $B$           | tepelná jímavost podlahové konstrukce (W s <sup>1/2</sup> /(m <sup>2</sup> K)) |
| $D$           | počet denostupňů (d · K)                                                       |
| $E_D$         | spotřeba tepla na denostupeň (GJ/D; kWh/D)                                     |
| $E_{gm}$      | globální sluneční záření za měsíc (kWh/(m <sup>2</sup> · měs))                 |
| $E_{gVO}$     | globální sluneční záření za otopné období (kWh/(m <sup>2</sup> a))             |
| $E_r; Q_l$    | roční spotřeba tepla (kWh/a)                                                   |
| $E_{vp}$      | spotřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát prostupem (kWh/a)                     |
| $E_{vv}$      | spotřeba tepla při větrání (kWh/a)                                             |
| $E_{vz}; Q_i$ | tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla (kWh/měs; kWh/a)                        |
| $E_{zs}; Q_s$ | tepelné zisky ze slunečního záření (kWh/měs; kWh/a)                            |
| $G_k$         | zkondenzované množství vodní páry (kg/(m <sup>2</sup> s))                      |
| $G_v$         | vypařené množství vodní páry (kg/(m <sup>2</sup> s))                           |
| $H_T$         | jednotková tepelná ztráta prostupem (měrná tepelná ztráta prostupem) (W/K)     |
| $H_V$         | jednotková tepelná ztráta větráním (měrná tepelná ztráta větráním) (W/K)       |
| $L_D$         | tepelná propustnost konstrukce (W/K)                                           |
| $Q$           | tepelná ztráta (W)                                                             |
| $R_i$         | odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (m <sup>2</sup> K/W)     |
| $R_e$         | odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (m <sup>2</sup> K/W)      |
| $R_m$         | odpor konstrukce při průvzdušnosti (m/s)                                       |
| $U$           | součinitel prostupu tepla konstrukce (W/(m <sup>2</sup> K))                    |
| $\eta$        | účinnost (-)                                                                   |
| $\lambda$     | součinitel tepelné vodivosti (tepelná vodivost) (W/(m K))                      |
| $\theta$      | teplota (°C)                                                                   |
| $\rho$        | hustota; objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )                                |
| $\tau$        | čas (s; h)                                                                     |

### Indexy

|       |                |
|-------|----------------|
| i     | vnitřní        |
| e     | vnější         |
| ai    | vnitřní vzduch |
| m; pr | průměr         |

## Úvod

Pojem „tepelná izolace budov“ chápeme jako souhrn tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí, místností a budov, zajišťující požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí budov. Požadovaný tepelný stav je nutný z hlediska tepelné pohody lidí pobývajících v budovách, z hlediska hygienického a zdravého bydlení a ve výrobních budovách k zajištění optimálního výrobního procesu. Zajištění požadovaného tepelného stavu vnitřního prostředí v budovách patří k základním požadavkům kladeným na stavební konstrukce, místnosti a budovy.

Je známo, že v našich klimatických podmínkách je zajišťování požadovaného tepelného stavu vnitřního prostředí budov spojeno s přívodem energie k pokrytí tepelných ztrát budov (zimní období), popř. k eliminování tepelné zátěže budov (letní období).

Tepelné ztráty budov souvisejí mj. s tepelně technickými vlastnostmi budov. Tato souvislost je charakterizována takto: čím jsou tepelně technické vlastnosti lepší, tím menší jsou tepelné ztráty a energie spotřebovávána při vytápění. Ale nejen to – zmenšují-li se tepelné ztráty budov, zmenšují se i nároky na dimenze otopných zařízení a tepelné zdroje. Úspora energie znamená také zmenšení škodlivých emisí pronikajících do ovzduší a vznikajících při výrobě tepla spalovacími procesy, takže zlepšení tepelně technických vlastností budov přispívá rovněž ke zlepšování životního prostředí.

Z uvedených důvodů by měly být tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov co nejlepší. Avšak čím lepší tepelně technické vlastnosti se navrhnou, tím větší jsou náklady na jejich pořízení. Z toho plyne nutnost hledat taková řešení, která vedou k efektivnímu využití prostředků vynaložených na opatření ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění – což je hlavní cíl předložené publikace.

Publikace je rozdělena do **sedmi kapitol**.

V **první kapitole** jsou popsány základní požadavky kladené na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov.

**Druhá kapitola** je rozdělena do tří částí. V první části se shrnují poznatky o energetické náročnosti výstavby budov, ve druhé části se probírá provozní náročnost budov a ve třetí části se uvádí souhrnná energetická náročnost výstavby a provozu budov.

**Třetí kapitola** obsahuje způsoby výpočtu tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění a ohřevu teplé vody – využívají se příslušné normové postupy a vyhlášky. Popisuje se také postup při stanovení množství primárního paliva.

**Čtvrtá kapitola** shrnuje obecné tendence zmenšování spotřeby tepla při vytápění budov spojené s tepelnými ztrátami, vyvolané jednotlivými částmi obvodového pláště budov (stavební konstrukce, otvorové výplně, tepelné mosty; poukazuje se na možné úspory. Stručně se charakterizují možnosti ke zmenšování spotřeby tepla zvyšováním účinnosti technických zařízení zajišťujících energetickou bilanci budovy, speciálně se probírá úroveň regulace vytápěcího zařízení a jeho význam z hlediska využití tepelných zisků ze slunečního záření a z vnitřních tepelných zisků.

V **páté kapitole** se pojednává o environmentálně energetických vazbách, tj. vyjmenovávají se škodliviny vznikající při spalování paliv, uvádějí se emisní limity, poplatky za znečišťování ovzduší a přibližný způsob výpočtu emisí některých znečišťujících látek a také orientační způsob stanovení oxidu uhličitého vznikajícího při spalování paliv.

**Šestá kapitola** obsahuje metody hodnocení ekonomické efektivity opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění (doba návratnosti, metoda současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů, metoda ročních převedených nákladů, vnitřní výnosové procento, cash-flow).

S využitím těchto metod se probírá vliv některých činitelů na ekonomickou efektivnost opatření ke zmenšení spotřeby tepla. Tato opatření jsou v podstatě dvojího druhu: Na jedné straně jsou to tepelně technické veličiny (součinitel prostupu tepla konstrukcí, délka otopného období, počet denostupňů aj.) a geometrické veličiny (ochlazovaná plocha stavebních konstrukcí budovy, objem budovy apod.); na druhé straně jsou to ekonomické veličiny jako pořizovací náklady na opatření ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění, provozní náklady zařízení, úroková míra aj. Z provedených rozborů vlivu těchto činitelů vyplývají závěry týkající se podmínek, za kterých lze považovat navrhovaná řešení za ekonomicky efektivní. Další část kapitoly obsahuje zdroje financování opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění a jejich porovnání z hlediska výhodnosti investora. Stručně je zde i zmínka o programu státních podpor opatření ke zmenšení spotřeby energie.

**Sedmá kapitola** obsahuje podrobně vypracované příklady vyhodnocení ekonomické efektivnosti opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění jednak panelového bytového domu, jednak rodinného domu s využitím tepelného čerpadla.

Publikace je určena především tepelným technikům, stavebním technikům, architektům, energetikům, energetickým auditorům, autorizovaným inženýrům, projektantům technických zařízení budov a studentům příslušných oborů.

# 1. Základní požadavky na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov

Základními požadavky na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov rozumíme požadavky, které zajišťují požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí budov. Ten je nutný z hlediska tepelné pohody lidí pobývajících v budovách, hygienického a zdravého bydlení a ve výrobních budovách k zajištění výroby požadované kvality.

Není-li zajištěn požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí v budovách, pak v nich dochází nejen k nepohodě, hygienickým a zdravotním problémům, popř. k výrobě zmetků, ale často i k poruchám stavebních konstrukcí nebo jejich některých vrstev, a tudíž ke zmenšení jejich životnosti a také ke znehodnocení předmětů vnitřního vybavení místností a budov. Znehodnocení očekávané funkční způsobilosti stavebních konstrukcí znamená mj. také zvětšení tepelné ztráty budovy a spotřeby tepla při vytápění, tedy zvětšení nákladů na provoz budovy.

Aby se předešlo vzniku uvedených problémů, musí mít stavební konstrukce a budovy takové tepelně technické vlastnosti, které zajišťují, že (viz ČSN 73 0540 [1.1]):

- a) na jejich vnitřním povrchu nedochází ke kondenzaci vodní páry,
- b) nedochází v nich k vnitřní kondenzaci vodní páry, popř. jen v množství, které neohrožuje jejich funkční způsobilost po dobu předpokládané životnosti,
- c) neprůsvitné konstrukce mají dostatečný odpor při průvzdušnosti a jejich styky, spáry a spoje jsou vzduchotěsné,
- d) spáry a styky výplně otvorů mají průvzdušnost ne větší, než je nutná z hlediska požadované intenzity výměny vzduchu při přirozené infiltraci; v případě, že jsou prostory budovy klimatizovány nebo se uskutečňuje v budově nucená výměna vzduchu, pak i tyto styky, spáry a spoje mají být vzduchotěsné,
- e) podlahové konstrukce mají na vnitřním povrchu požadovanou teplotu a vnitřní povrchová vrstva (povrchové vrstvy) požadovanou tepelnou jímavost,
- f) místnosti (budovy) mají požadovanou tepelnou stabilitu z hlediska zimního období, uvažuje-li se přerušovaný způsob vytápění,
- g) místnosti (budovy) mají požadovanou tepelnou stabilitu z hlediska letního období, nejsou-li klimatizovány.

**Ad a)** Nemá-li docházet ke kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu stavebních konstrukcí a jejich částí (zejména se to týká tepelných mostů), musí být na jejich povrchu teplota vyšší než je teplota rosného bodu

$$\theta_{si} \geq \theta_{si,N} \quad (1.1)$$

kde  $\theta_{si}$  je zjištěná teplota na vnitřním povrchu stavební konstrukce nebo její části (°C),  
 $\theta_{si,N}$  nejnižší požadovaná teplota na vnitřním povrchu stavební konstrukce z hlediska teploty rosného bodu (°C).

**Ad b)** Požadavky na stavební konstrukce z hlediska kondenzace vodní páry uvnitř stavebních konstrukcí se rozdělují na požadavky podle účinku zkondenzované vodní páry, tj.

**ba)** jestliže zkondenzovaná vodní pára uvnitř stavební konstrukce  $G_k$  (kg/(m<sup>2</sup> · a)) může ohrozit její požadovanou funkci, pak musí být navržena tak, aby v ní vůbec ke kondenzaci vodní páry nedocházelo, což je vyjádřeno podmínkou

$$G_k = 0 \quad (1.2)$$

**bb)** jestliže nebezpečí popsané vpředu nehrozí, pak lze uplatnit ve výstavbě i stavební konstrukci, ve které kondenzuje vodní pára, avšak v celoroční bilanci musí být zkondenzované množství vodní páry  $G_k$  ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ) menší než množství vodní páry  $G_v$  ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ), které se může ze stavební konstrukce vypařit, tj. musí být splněna podmínka

$$G_k \leq G_v \quad (1.3)$$

**bc)** vedle požadavků (1.2) a (1.3) musí splňovat stavební konstrukce ještě doplňující podmínku, a to, že v nich zkondenzované množství vodní páry  $G_k$  ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ) za rok není větší než je daná přípustná hodnota  $G_{k,N}$  ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )

$$G_k \leq G_{k,N} \quad (1.4)$$

**Ad c)** Požadavky z hlediska průvzdušnosti

**ca)** neprůsvitné konstrukce musí mít odpor při průvzdušnosti  $R_m$  (m/s) větší než je požadovaný odpor  $R_{m,N}$  (m/s)

$$R_m \geq R_{m,N} \quad (1.5)$$

**cb)** styky, spáry a spoje neprůsvitných konstrukcí musí být vzduchotěsné, tzn. že zjištěná objemová hustota toku vzduchu  $q_v$  ( $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) je rovna nule (s přípustnou měřitelnou přesností)

$$q_v = 0 \quad (1.6)$$

(tato podmínka platí i pro výplně otvorů v budovách klimatizovaných a v budovách, ve kterých se uskutečňuje nucená výměna vzduchu),

**cc)** součinitel spárové průvzdušnosti funkčních spár výplní otvorů v budovách s přirozenou výměnou vzduchu  $i_{LV}$  ( $\text{m}^3/(\text{m s Pa}^{0,67})$ ) je vyhovující, je-li menší než je požadovaná hodnota  $i_{LV,N}$  ( $\text{m}^3/(\text{m s Pa}^{0,67})$ )

$$i_{LV} \leq i_{LV,N} \quad (1.7)$$

**Ad e)** Podlahové konstrukce jsou vyhovující, jestliže je jejich

**ea)** vnitřní povrchová teplota  $\theta_{isp}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) vyšší než je požadovaná hodnota  $\theta_{isp,N}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),

**eb)** tepelná jímavost  $B$  ( $\text{W s}^{1/2}/(\text{m}^2\text{K})$ ) menší než je požadovaná hodnota  $B_N$  ( $\text{W s}^{1/2}/(\text{m}^2\text{K})$ )

$$B \leq B_N \quad (1.8)$$

nebo dotyková teplota  $\Delta\theta_{10}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) menší než je požadovaná hodnota  $\Delta\theta_{10,N}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$\Delta\theta_{10} \leq \Delta\theta_{10,N} \quad (1.9)$$

**Ad f)** Místnosti (budovy) mají požadovanou tepelnou stabilitu z hlediska zimního období tehdy, když je jejich součtová teplota místnosti  $\theta_M$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) na konci otopné přestávky, při zadané délce otopné přestávky  $\tau$  (h), větší než je požadovaná hodnota  $\theta_{M,N}$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$\theta_M \geq \theta_{M,N} \quad (1.10)$$

kde  $\theta_M$  je součet teploty vzduchu v místnosti na konci otopné přestávky  $\theta_{ai}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a průměrné teploty vnitřních ploch v místnosti  $\theta_{sm}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), obě na konci otopné přestávky  $\tau$  (h)



$$\theta_M = \theta_{ai} + \theta_{sm} \quad (1.11)$$

kde  $\theta_{sm} = \sum A_{sj} \theta_{sj} / \sum A_{sj}$ , přičemž  $A_{sj}$  je j-tá plocha konstrukce místnosti ( $m^2$ ) o teplotě  $\theta_{sj} (^{\circ}C)$  a  $\sum A_{sj}$  je celková plocha konstrukcí ohraničujících místnost ( $m^2$ )

nebo jestliže je pokles výsledné teploty v místnosti  $\Delta\theta_r (^{\circ}C)$  na konci otopné přestávky  $\tau$  (h) menší než je požadovaná hodnota  $\Delta\theta_{r,N} (^{\circ}C)$

$$\Delta\theta_r \leq \Delta\theta_{r,N} \quad (1.12)$$

kde  $\theta_r = 0,5 \cdot (\theta_{ai} + \theta_{sm})$ .

**Ad g)** Místnosti (budovy) mají požadovanou tepelnou stabilitu z hlediska letního období tehdy, když je jejich nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu  $\Delta\theta_{ai,max} (^{\circ}C)$  menší než je požadovaná hodnota  $\Delta\theta_{ai,max,N} (^{\circ}C)$

$$\Delta\theta_{ai,max} \leq \Delta\theta_{ai,max,N} \quad (1.13)$$

kde  $\Delta\theta_{ai,max} = \theta_{ai,max} - \theta_{ai,min}$ , přičemž  $\theta_{ai,max} (^{\circ}C)$  je nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti ( $^{\circ}C$ ) a  $\theta_{ai,min} (^{\circ}C)$  je nejnižší teplota vzduchu v místnosti ( $^{\circ}C$ )

nebo jestliže je nejvyšší denní vzestup teploty vzduchu v místnosti  $\theta_{ai,max} (^{\circ}C)$  menší než je požadovaná hodnota  $\theta_{ai,max,N} (^{\circ}C)$

$$\theta_{ai,max} \leq \theta_{ai,max,N} \quad (1.14)$$

#### Poznámka:

V předložené publikaci se nezabýváme způsobem stanovení hodnot vyjmenovaných veličin – bylo by to nad rámec předpokládaného obsahu a rozsahu; v tomto směru odkazujeme proto na příslušné tepelné technické normy a publikace – viz např. [1.1, 1.2, 1.3, 1.4].

## Literatura

- [1.1] ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- [1.2] HALAHYJA, M. – CHMÚRNY, I. – STERNOVÁ, Z.: Stavebná tepelná technika, Jaga group, Bratislava, 1998
- [1.3] VAVERKA, J. – CHYBÍK, J. – MRLÍK, F.: Stavební fyzika 2, Stavební tepelná technika, VUTUM Brno, 2000
- [1.4] ŘEHÁNEK, J. – JANOUŠ, A. – KUČERA, P. – ŠAFRÁNEK, J.: Tepelné technické a energetické vlastnosti budov. Grada Publishing, a. s., 2002

## 2. Energetická náročnost výstavby a provozu budov

Se zlepšováním tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov z důvodu zmenšování spotřeby tepla při vytápění (tj. zmenšování energetické náročnosti provozu budov) se začala věnovat také pozornost energetické náročnosti výstavby budov. Čím jsou totiž lepší tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov, tím více se zmenšuje spotřeba tepla při vytápění, avšak zároveň se zvětšuje energetická náročnost výstavby budov. Je proto užitečné sledovat nejen provozní energetickou náročnost budov, ale také výrobní energetickou náročnost budov a hledat způsoby zmenšení obou druhů energetické náročnosti, protože konečným cílem je celková úspora energie při výstavbě a provozu budov.

### 2.1 Energetická náročnost výstavby budov

Energetická náročnost výstavby budov (EVB) představuje souhrn energií, spotřebovaných v procesu výstavby budov. Zahrnuje energii vynaloženou na

- a) výrobu stavebních a tepelně izolačních materiálů, výrobků, dílců (EM),
- b) výrobu zařízení a doplňujících prvků, nutných k provozu a užívání budov (EZ),
- c) mimostaveništní dopravu (ED),
- d) provádění budov (EP),
- e) údržbu, rekonstrukci, popř. modernizaci budov (EÚR),
- f) likvidaci budov (EL).

Částečného zmenšení spotřeby energie při výstavbě budov lze dosáhnout recyklací materiálů a částí budov určených k likvidaci.

#### 2.1.1 Energetická náročnost stavebních a tepelně izolačních materiálů, výrobků a konstrukcí

Stavebnictví spotřebovává materiály a konstrukce, které vyžadují při výrobě značné množství energie; jde tedy o materiály a konstrukce energeticky náročné. Podle [2.1] k nim patří cementářské slínky, stavební dílce, vápno a pálené zdicí materiály. K energeticky nejnáročnějším materiálům patří především kovové materiály. V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty energetické náročnosti některých materiálů a konstrukcí.

Tab. 1 Energetická náročnost některých kovových materiálů EMt (GJ/t) [2.2]

| Materiál          | EM <sub>t</sub> (GJ/t) |
|-------------------|------------------------|
| Hliníkový plech   | 312                    |
| Měď               | 153                    |
| Pozinkovaný plech | 47                     |
| Ocel              | 44                     |
| Surové železo     | 21                     |

Tab. 2 Energetická náročnost některých druhů skel  $EM_t$  (MJ/t) [2.3]

| Druh skla                    | $EM_t$ (MJ/t) |
|------------------------------|---------------|
| Ploché sklo tažené (Float)   | 15,2          |
| Ploché sklo Fet              | 25,4          |
| Lité sklo s drátěnou vložkou | 14,5          |
| Lité sklo ploché Chodopak    | 40,8          |
| Skleněné stavební tvárnice   | 28,6          |

Tab. 3 Energetická náročnost stavebních materiálů a výrobků  $EM_t$  (GJ/t) nebo  $EM_t$  (GJ na 1 000 c. j.) [2.2, 2.3]

| Materiál                                     | $EM_t$ (GJ/t) |
|----------------------------------------------|---------------|
| Kamenivo do betonu                           | 0,05          |
| Lehká plniva do betonu                       | 9,0           |
| Cement                                       | 6,0           |
| Vápno                                        | 4,0           |
| Azbestocement                                | 10,0          |
| Stavební dřevo                               | 2,0           |
| $EM_t$ (GJ na 1 000 c. j.)                   |               |
| Zdicí materiály                              |               |
| • pálené cihly ks do 2 c. j.                 | 9,37          |
| • ks nad 4 c. j.                             | 6,66          |
| • vápenopískové cihly                        | 0,81          |
| Stropní tvarovky                             |               |
| • cihelné stropní vložky Miako (bez nosníků) | 4,95          |
| • cihelné stropní tvarovky Armo              | 4,04          |
| • cihelné stropní tvarovky T-16              | 2,95          |
| • cihelné stropní desky Hurdis               | 3,08          |
| pálená krytina – bobrovky, Holland           | 4,06          |

Tab. 4 Energetická náročnost tepelně izolačních materiálů a plastů  $EM_t$  (GJ/t) [2.2, 2.3]

| Materiál               | $EM_t$ (GJ/t) |
|------------------------|---------------|
| Minerální vlákno       | 20,0          |
| Čedičová vata          | 12,4          |
| Fibrex                 | 28,5          |
| Rotaflex               | 64,0          |
| Polystyren             | 78,0          |
| Expandovaný polystyren | 81,0          |
| Polyuretan             | 10,0          |
| Polyetylen             | 68,0          |

| Materiál        | EM <sub>t</sub> (GJ/t) |
|-----------------|------------------------|
| Polypropylen    | 72,0                   |
| Polvinylchlorid | 51,0                   |
| Polyamid        | 55,0                   |
| Polyformaldehyd | 118,0                  |

Tab. 5 Energetická náročnost některých obvodových konstrukcí EM<sub>m</sub> (MJ/m<sup>3</sup>) [2.3,2.4]

| Druh                          | EM <sub>m</sub> (MJ/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Keramický obvodový plášť      | 5 125                                |
| Obvodový plášť pórobetonový   | 3 407                                |
| Škvárobetonový dílec          | 2 570                                |
| Železobetonový stavební dílec | 5 132                                |
| Lehký panel OD-001            | 15 252                               |
| Lehký obvodový plášť F 300    | 11 955                               |
| Zděná konstrukce              | 2 817                                |

Tab. 6 Energetická náročnost dělicích konstrukcí – příček EM<sub>m</sub> (MJ/m<sup>2</sup>) [2.4]

| Druh                                  | EM <sub>m</sub> (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Pórobetonové dělicí stěny             | 794                                  |
| Příčky z trapézových plechů           | 1 793                                |
| Lehká montovatelná příčka S1.3        | 980                                  |
| Montovatelná příčka pro zdravotnictví | 415                                  |
| Zděná omítnutá příčka                 | 298                                  |

Tab. 7 Energetická náročnost některých stropních konstrukcí EM<sub>m</sub> (MJ/m<sup>2</sup>) [2.4]

| Druh                                    | EM <sub>m</sub> (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Stropní desky plné                      | 596,3                                |
| Stropní desky dutinové                  | 725,1                                |
| Stropní panely Spiroll                  | 888,5                                |
| Strop z tvarovek Hurdís                 | 1 100,9                              |
| Strop z vložek Armo                     | 510,1                                |
| Monolitický strop se ztraceným bedněním | 969,3                                |

Tab. 8 Energetická náročnost některých nosných střešních konstrukcí EM<sub>m</sub> (MJ/m<sup>3</sup>) [2.4]

| Druh                                       | EM <sub>m</sub> (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| Příhradový vazník předpjatý strunobetonový | 10 648,0                             |
| Příhradový vazník předpjatý dělený         | 10 793,0                             |

| Druh                                   | EM <sub>m</sub> (MJ/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------------|--------------------------------------|
| Předpjatý příhradový průvlak           | 8 268,2                              |
| Plnostěnný vazník z předpjatého betonu | 6 377,4                              |
| Plnostěnný vazník ze železobetonu      | 6 146,9                              |
| Žebírkový střešní panel                | 5 235,9                              |
| Střešní panel předpjatý TT             | 6 679,0                              |
| Ocelový vazník                         | 346 970,0                            |
| Dřevěný vazník                         | 360,8                                |

### 2.1.2 Energetická náročnost zařízení a vybavení typické bytové jednotky

Pro provoz a užívání budov jsou nutná určitá zařízení a také vybavení. Jejich energetickou náročnost připadající na typickou bytovou jednotku uvádí [2.3] – viz tab. 9.

Tab. 9 Energetická náročnost zařízení a vybavení bytu EZ [2.3]

| Materiál                          | Množství          | EZ (MJ)       |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| Kovy – ocel                       |                   |               |
| • vytápění (radiátory, trubky)    | 400 kg            | 18 000        |
| • sanita (trubky)                 | 100 kg            | 4 500         |
| • zámečnické a klempířské výrobky | 100 kg            | 4 500         |
| • zárubně                         | 150 kg            | 6 750         |
| • hliník                          |                   |               |
| • elektroinstalační               | 30 kg             | 8 700         |
| • konstrukce                      | 20 kg             | 5 800         |
| Dřevo – okna, dveře, podlahy      | 2 m <sup>3</sup>  | 6 280         |
| Sklo                              | 30 m <sup>2</sup> | 3 230         |
| Plasty – podlahové materiály      | 80 kg             | 4 000         |
| • elektromateriály                | 25 kg             | 1 000         |
| <b>Celkem</b>                     |                   | <b>62 760</b> |

### 2.1.3 Energetická náročnost mimostaveništní dopravy

Energetická náročnost mimostaveništní dopravy je tím náročnější, čím je větší hmotnost stavebních výrobků a čím je větší dopravní vzdálenost mezi místem jejich výroby a staveništem. Tento problém je zvláště důležitý při výstavbě budov, protože většina stavebních výrobků je podstatně hmotnější, než je hmotnost výrobků v jiných výrobních sektorech.

Janů, při formulování „teorie zprůmyslnění stavebnictví“ [2.5], považuje dopravu stavebních výrobků za jeden ze stěžejních problémů ve stavebnictví, na jehož racionálním řešení významným způsobem závisí ekonomická efektivnost výstavby. Důležitou úlohu hraje v tomto případě i cena výrobků, která je naopak ve většině případů podstatně nižší, než cena výrobků v jiných sektorech. Jako příklad uvádí Janů podíl dopravních nákladů z ceny výrobků u stavebních a strojírenských výrobků a spotřebního zboží při dopravě autem na 100 km. Zatímco u spotřebního zboží je tento podíl vyčíslený ve výši 0,16 až 0,32 %

a u strojírenských výrobků 1,6 %, pak u stavebních výrobků je to 244 %<sup>\*)</sup>. Z uvedeného příkladu sice nevyplývá bezprostředně energetická náročnost dopravy výrobků v jednotlivých sektorech, je však zřejmé, že ta je úměrná dopravním nákladům.

Má-li být energetická náročnost dopravy stavebních výrobků (konstrukcí) minimalizována, je nutno, podle Hromníkové [2.6], kvalitativně a kvantitativně determinovat realizaci dopravní činnosti, a to vymezením směru dopravní činnosti, délky dopravních tras, velikosti toku materiálu (přepravovaného množství za určitý čas) a frekvenci dopravy (počtu obrátů za určitý čas). Přitom je podstatné, aby se minimalizovaly mezisklárky výrobků a pokud je to možné, zabudovávaly se výrobky (dílce) na stavbě přímo z dopravního prostředku.

Dlesek [2.3] počítá na 1 silniční tkm se spotřebou energie 1,655 MJ a na 1 železniční tkm s hodnotou 0,252 MJ.

## 2.1.4 Energetická náročnost provádění budov

Při provádění budov (EP) se energie spotřebovává v rámci

- a) vnitrostaveništní dopravy (EVD),
- b) stavebních prací a stavebních procesů (ESS),
- g) realizace zařízení stavenišť, jeho provozu a likvidace (EZS), takže

$$EP = EVD + ESS + EZS \quad (2.1)$$

Problémem staveništní dopravy se zabývá mj. Mičánková v [2.7]. Jako příklad uvádí spotřebu energie staveništní dopravy při výstavbě jednoho podlaží typového domu VVÚ ETA o rozměru (11 x 18) m. Pro svislou dopravu prvků HSV se použil jeřáb MB 80-A/01 s vysunutou věží. Celková spotřeba energie při dopravě 8 panelů NBP 18 (hmotnost jednoho panelu 427 kg) a 9 panelů PPD 2 (hmotnost jednoho panelu 4 400 kg) je 19,185 MJ. Pro dopravu prvků PSV se použil výťah NOV 1000 A. Spotřeba energie, spojená s dopravou truhlářských prvků (celková hmotnost 4 263 kg), je 1,4325 MJ a ústředního vytápění (celková hmotnost prvků 1 214 kg) je 0,43 MJ.

Energetickou náročnost stavební výroby udává Dlesek [2.3] ve výši 45 000 MJ na průměrnou bytovou jednotku panelových domů T 06 B, T 08 B, VVÚ ETA a Larsen & Nielsen.

## 2.1.5 Energetická náročnost údržby a rekonstrukce budov

Pro stanovení spotřebované energie při údržbě a rekonstrukci, popř. modernizaci budov uvádí Dlesek vztah [2.3]:

$$EÚR = \sum_{j=1}^{j=k} ((n/x) - 1) \cdot EÚ + \sum_{j=1}^{j=m} ((n/y) - 1) \cdot ER \quad (2.2)$$

kde EÚ je energie vynaložená na výrobu materiálů nezbytných pro údržbu, včetně energie vynaložené při provádění údržby jednotlivých dílů a částí budovy; ER je energie vynaložená na rekonstrukci, na jejich mimostaveništní dopravu, energie spotřebovaná při provádění a montáži měněných částí, při likvidaci budovy a vnitrostaveništní dopravu, x je doba nezbytná mezi jednotlivými cykly údržby (roky) a y je životnost jednotlivých dílů budovy (roky).

<sup>\*)</sup> I když v současných podmínkách mohou být tyto podíly jiné, jejich relaci lze považovat za přijatelnou.

Výsledky šetření energetické náročnosti údržby a rekonstrukce budov EÚR realizované různými technologiemi a vztažené na bytovou jednotku o obestavěném prostoru 200 m<sup>3</sup> jsou v *tab. 10*. Rozlišují se přitom bytové domy a rodinné domy.

*Tab. 10* Energetická náročnost údržby a rekonstrukce budov EÚR [2.3]

| Druh         | Technologie             | EÚR (GJ) |
|--------------|-------------------------|----------|
| Bytové domy  | cihly                   | 140      |
|              | betonové panely         | 145      |
|              | lehký beton             | 115      |
| Rodinné domy | cihly                   | 210      |
|              | dřevo (s podsklepením)  | 135      |
|              | dřevo (bez podsklepení) | 65       |

### 2.1.6 Energetická náročnost likvidace budov

Energie, spotřebovaná při likvidaci budovy EL, je dána vztahem:

$$EL = ELR + ELD - ELN \quad (2.3)$$

kde ELR je energie spotřebovaná při rozrušení budovy, ELD je energie spotřebovaná při odvozu likvidované budovy, ELN je energie získaná návratností (recyklací) materiálů znovu využitých v procesu výstavby nebo jiným způsobem.

Energetická náročnost likvidace budov je v *tab. 11* (údaje platí pro budovy a technologie popsané v *tab. 10*).

*Tab. 11* Energetická náročnost likvidace budov EL [2.3]

| Druh         | Technologie             | EL (MJ) |
|--------------|-------------------------|---------|
| Nájemní domy | cihly                   | 30      |
|              | betonové panely         | 40      |
|              | lehký beton             | 30      |
| Rodinné domy | cihly                   | 50      |
|              | dřevo (s podsklepením)  | 30      |
|              | dřevo (bez podsklepení) | 20      |

Aby byla spotřeba energie při likvidaci budovy co nejmenší, je třeba na tuto skutečnost pamatovat již při jejím návrhu. Důležitou roli hrají v tomto případě spojovací uzly jednotlivých podsystémů, z nichž je budova vytvořena. Votruba [2.8] rozlišuje tři podsystémy:

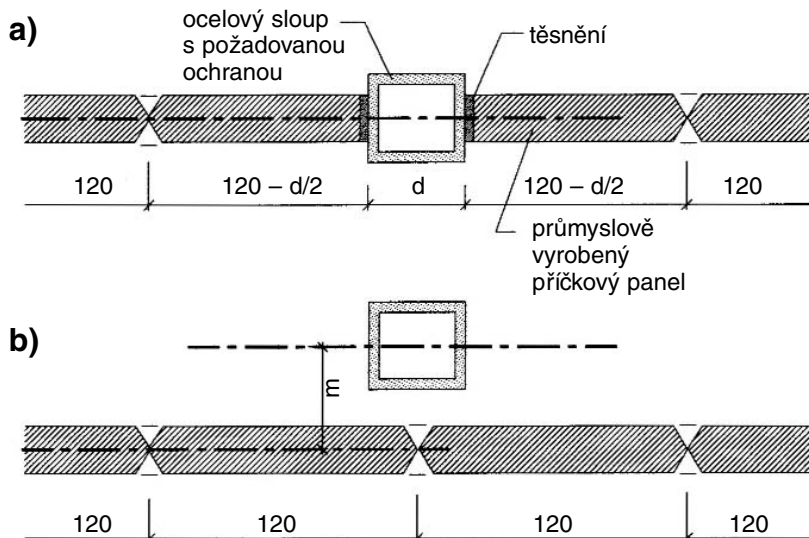
- I – podsystém nosné konstrukce (vodorovná a svislá nosná konstrukce),
- II – podsystém kompletačních konstrukcí (fasádní pláště, střešní a podlahové konstrukce, podhledy a příčky),
- III – podsystém servisních sítí a zařízení.

K tomu Votruba poznamenává, že spojové vazby těchto základních podsystémů jsou reprezentovány nanejvýš mechanickou závislostí. Vychází-li se však ze systémového stavění – což je možné např. u průmyslově vyráběných lehkých stavebních systémů – lze řešit vzájemně

vazby uvedených tří podsystémů tak, aby jejich spojení bylo bezkolizní, tj. vzájemně nezávislé. Typický příklad kolizního a bezkolizního spojení lze ukázat na vztahu nezávislých podsystémů lehké skeletové stavby – nosné konstrukce (sloupy) a kompletační konstrukce (příčky) – viz *obr. 1*. Z tohoto příkladu je zřejmé, že při použití průmyslově vyráběných dílců se stává napojení panelové příčky – plně dokončeného výrobku na sloup – nejen komplikovaným z hlediska montáže, ale vyžaduje i další činnosti spojené s ambulantními úpravami, jako např. těsněním aj. Při likvidaci budovy s bezkolizními spoji se spotřebuje menší množství energie a hlavně jednotlivé prvky se nepoškodí, takže je možné jejich opětovné použití.

S tím souvisí i problém „rozebíratelných“ budov. Nejde o jejich likvidaci, ale o jejich nové využití na jiném místě, takže není nutné stavět nové budovy – což je také cesta pro úspory energie při výstavbě budov.

O rozebíratelné hale se píše v [2.9]. Jde o silikátovou halovou soustavu, kterou lze využít jako zařízení staveniště, sklady, dílny apod. Prokazuje se, že ani tento typ stavby není z hlediska ekonomických ukazatelů méně příznivý, než stavba nedemontovatelná – viz *tab. 12* (výsledky jsou porovnány se systémem HARD).



*Obr. 1* Příklad kolizního (a) a bezkolizního (b) spojení nosné konstrukce a příčky

*Tab. 12* Vybrané technicko-ekonomické údaje na 1 m<sup>3</sup> obestavěného prostoru [2.9] (ekonomické údaje jsou z roku 1990)

| Č. | Název           | Jednotka | HARD   | Soustava | Rozdíl |
|----|-----------------|----------|--------|----------|--------|
| 1  | celkové náklady |          | 146,56 | 137,93   | 8,63   |
| 2  | vlastní náklady | Kč       | 136,56 | 126,52   | 10,04  |
| 3  | z toho materiál | Kč       | 105,23 | 83,49    | 21,74  |
| 4  | zisk            | Kč       | 9,99   | 11,40    | 1,41   |
| 5  | pracnost        | Nh       | 0,718  | 0,609    | 0,109  |
| 6  | produktivita    | Kč/Nh    | 0,053  | 0,064    | 0,011  |

O zkušenostech s rozebíratelnými železobetonovými konstrukcemi v zahraničí se pojednává také v [2.10, 2.11].



### 2.1.7 Úspora energie recyklací

Sekundárním efektem recyklace materiálů je mj. energetická úspora. To je situace příznivá pro rozvoj technologií pro recyklaci materiálů. Možnosti úspor energie v důsledku recyklace materiálů ukazují *tab. 12a*.

*Tab. 12a* Spotřeba energie při výrobě materiálů a úspora jeho recyklací [2.12]

| Druh materiálu | Spotřeba energie při jeho výrobě (GJ/t) | Spotřeba energie při jeho recyklaci (GJ/t) | Úspora |     |
|----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------|-----|
|                |                                         |                                            | (GJ/t) | (%) |
| Al             | 257                                     | 12,6                                       | 244,4  | 95  |
| Cu             | 118                                     | 19,0                                       | 99,0   | 84  |
| Mg             | 378                                     | 12,6                                       | 365,4  | 96  |
| Ni             | 152                                     | 15,8                                       | 136,2  | 89  |
| Zn             | 65                                      | 19,0                                       | 46,0   | 70  |
| Pb             | 28,5                                    | 12,6                                       | 15,9   | 56  |
| Ocel           | 15,4                                    | 6,0                                        | 9,4    | 61  |
| Sklo           | 18,2                                    | 10,3                                       | 7,9    | 43  |
| Papír          | 20,6                                    | 15,1                                       | 5,5    | 27  |
| Přýž           | 47,9                                    | 10,0                                       | 37,9   | 79  |
| Plasty         | 42,9                                    | 2,5                                        | 40,4   | 94  |

### 2.1.8 Energetická náročnost některých budov

Chittussi ve [2.13] uvádí podrobný rozbor energetické náročnosti bytové jednotky stavební soustavy VVÚ ETA z roku 1980. Plošně založená budova se skládá ze dvou dilatačních částí. Dilatační část A s celkovým počtem 64 bytů průměrné užitné plochy (UP) 62,29 m<sup>2</sup> obsahuje dvě dispozičně úsporné sekce 8-5, které mají v typickém podlaží 4 byty. Na schodiště s výtahem připadá 18 m průčelí. Dilatační část B s výměníkovou stanicí a 62 byty UP 70,68 m<sup>2</sup> je složena ze čtyř dispozičně náročných sekcí 8-4, které mají v typických podlažích pouze dva byty a schodiště s výtahem připadá na 12 m průčelí. Spodní stavba je v dokumentaci a v rozpočtu jako samostatná část do úrovně ±0, což je respektováno i v dalších podrobnostech rozpočtu pro rozdílné náročnosti.

#### Základní parametry budovy:

|                                                              |                          |                |        |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|--------|
| celková obytná plocha                                        | 5 647,60 m <sup>2</sup>  | kategorie bytů |        |
| celková užitná plocha bez lodžií                             | 8 380,28 m <sup>2</sup>  | – II           | 10 ks  |
| lodžie                                                       | 122 ks                   | – III          | 56 ks  |
| průměrná UP b. j. <sup>*)</sup> pro účely THU <sup>**)</sup> | 66,51 m <sup>2</sup>     | – IV           | 60 ks  |
| zastavěná plocha                                             | 1 528,52 m <sup>2</sup>  | – celkem       | 126 ks |
| obestavěný prostor – spodní stavba                           | 7 805,19 m <sup>3</sup>  |                |        |
| – vrchní stavba                                              | 33 783,96 m <sup>3</sup> |                |        |
| – celkem                                                     | 41 589,15 m <sup>3</sup> |                |        |

<sup>\*)</sup> b. j. – bytové jednotky

<sup>\*\*)</sup> THU – technickohospodářských ukazatelů

Výsledky výpočtů jsou v *tab. 13, 14* (obsahují realizační potřeby), *tab. 15, 16* (obsahují nepřímé potřeby materiálů PSV) a *tab. 17* (obsahuje nepřímé potřeby materiálů HSV).

**Tab. 13** Realizační potřeby energií u stavební soustavy VVÚ ETA (126 bytových jednotek) [2.13]

**Spodní stavba**

| č.                            | Stroj, materiál                             | Počet<br>mj <sup>***</sup> | Spotřeba<br>mj <sup>***</sup> | Spotřeba<br>celkem            | Spotřeba<br>tmpp <sup>**</sup> | (%)          |
|-------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1                             | 2                                           | 3                          | 4                             | 5                             | 6                              | 7            |
| <b>Staveništní spotřeba</b>   |                                             |                            |                               |                               |                                |              |
| <b>Pohonné hmoty – nafta</b>  |                                             |                            |                               |                               |                                |              |
| 1                             | Rypadlo lopatové pásové                     | 192,62 Sh <sup>*)</sup>    | 11,0 litrů                    | 21180,82 litrů                |                                |              |
| 2                             | Dozer pásový                                | 109,03 Sh                  | 11,0 litrů                    | 1 199,33 litrů                |                                |              |
| 3                             | Válce vibrační motor.<br>hladké             | 18,21 Sh                   | 1,5 litrů                     | 27,32 litrů                   |                                |              |
| 4                             | Autojeřáb 4 t                               | 138,89 Sh                  | 8,0 litrů                     | 1 111,12 litrů                |                                |              |
| 5                             | Kompresor                                   | 37,76 Sh                   | 15,0 litrů                    | 566,40 litrů                  |                                |              |
| 6                             | Nákladní automobil S 5                      | 6,64 Sh                    | 10,0 litrů                    | 664,00 litrů                  |                                |              |
| 7                             | Přesun HSV<br>PSV                           | 3 871,75 t<br>89,39 t      | 1,0 litrů<br>1,0 litrů        | 3 871,75 litrů<br>89,39 litrů |                                |              |
| 8                             | Silniční doprava                            | 100,421 tis.Kč             | 72,8 litrů                    | 7 310,65 litrů                |                                |              |
| <b>Nafta celkem</b>           |                                             |                            |                               | <b>16 958,78 litrů</b>        | <b>21,254</b>                  |              |
| <b>Pohonné hmoty – benzin</b> |                                             |                            |                               |                               |                                |              |
| 1                             | Pěch benzinový 50 m                         | 348,15 Sh                  | 1,2 litrů                     | 418,98                        |                                |              |
| 2                             | Kultivara                                   | 1 710,67 Sh                | 3,6 litrů                     | 6 158,41                      |                                |              |
| <b>Benzin celkem</b>          |                                             |                            |                               | <b>6577,39</b>                | <b>7,544</b>                   |              |
| <b>Pohonné hmoty celkem</b>   |                                             |                            |                               |                               | <b>28,798</b>                  | <b>79,57</b> |
| <b>Elektrická energie</b>     |                                             |                            |                               |                               |                                |              |
| 1                             | Rovnačka a stříhačka                        | 21,08 Sh                   | 8,0 kWh                       | 168,64 kWh                    |                                |              |
| 2                             | Ohýbačka centrální                          | 131,55 Sh                  | 5,0 kWh                       | 657,75 kWh                    |                                |              |
| 3                             | Oblouková svářečka<br>typ Triody            | 58,83 Sh                   | 16,0 kWh                      | 941,28 kWh                    |                                |              |
| 4                             | Oblouková svářečka 500                      | 14,64 Sh                   | 25,0 kWh                      | 366,00 kWh                    |                                |              |
| 5                             | Maltárna centrální                          | 13,23 Sh                   | 12,4 kWh                      | 164,05 kWh                    |                                |              |
| 6                             | Centrální betonárna<br>18 m <sup>3</sup> /h | 9,04 Sh                    | 16,0 kWh                      | 144,64 kWh                    |                                |              |
| 7                             | Centrální betonárna<br>60 m <sup>3</sup> /h | 10,00 Sh                   | 100,0 kWh                     | 1 000,00 kWh                  |                                |              |
| 8                             | Omítačka                                    | 50,97 Sh                   | 8,0 kWh                       | 407,76 kWh                    |                                |              |
| 9                             | Jeřáb stavební věžový                       | 102,96 Sh                  | 32,0 kWh                      | 3 294,72 kWh                  |                                |              |
| 10                            | Výtah stavební klecový<br>700 kg            | 845,11 Sh                  | 7,5 kWh                       | 6 338,32 kWh                  |                                |              |

| č.                                                 | Stroj, materiál                  | Počet<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>celkem   | Spotřeba<br>tmpp <sup>**)</sup> | (%)          |
|----------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|
| 1                                                  | 2                                | 3                           | 4                              | 5                    | 6                               | 7            |
| 11                                                 | Výtah stavební klecový<br>100 kg | 29,57 Sh                    | 10,0 kWh                       | 295,70 kWh           |                                 |              |
| 12                                                 | Dopravník přenosný 8 m           | 56,01 Sh                    | 2,2 kWh                        | 123,22 kWh           |                                 |              |
| <b>Elektrická energie celkem</b>                   |                                  |                             |                                | <b>13 902,08 kWh</b> | <b>6,117</b>                    | <b>16,90</b> |
| <b>Paliva</b>                                      |                                  |                             |                                |                      |                                 |              |
| 1                                                  | Kyslík stlačený tech., lahve     | 189,78                      |                                |                      | 0,076                           |              |
| 2                                                  | Acetylen, lahve                  | 136,29                      |                                |                      | 0,583                           |              |
| 3                                                  | PB lahve á 33 kg                 | 10,99                       |                                |                      | 0,592                           |              |
| 4                                                  | Dříví surové jehličnaté          | 0,09                        |                                |                      | 0,028                           |              |
| <b>Paliva celkem</b>                               |                                  |                             |                                |                      | <b>1,279</b>                    | <b>3,53</b>  |
| <b>Staveništní spotřeba spodní stavba – celkem</b> |                                  |                             |                                |                      | <b>36,194</b>                   | <b>100</b>   |
| <b>Výrobní spotřeba</b>                            |                                  |                             |                                |                      |                                 |              |
|                                                    | Železobetonové panely            | 458,783 m <sup>3</sup>      |                                |                      | 18,523                          |              |
|                                                    | Pórobetonové vyztužené příčky    | 98,945 m <sup>3</sup>       |                                |                      | 3,643                           |              |
| <b>Výrobní spotřeba – spodní stavba – celkem</b>   |                                  |                             |                                |                      | <b>21,986</b>                   | <b>37,76</b> |
| <b>Spodní stavba celkem</b>                        |                                  |                             |                                |                      | <b>58,180</b>                   | <b>100</b>   |

\*) Značka Sh představuje počet „strojohodin“ použitých strojních mechanismů

\*\*) Značka tmpp znamená „tuny měrného primárního paliva“

\*\*\*) Značka mj znamená „měrné jednotky“

Tab. 14 Realizační potřeby energií u stavební soustavy VVÚ ETA (126 bytových jednotek)  
[2.13]

#### Vrchní stavba

| č.                           | Stroj, materiál      | Počet<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>celkem     | Spotřeba<br>tmpp <sup>**)</sup> | (%)          |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------|
| 1                            | 2                    | 3                           | 4                              | 5                      | 6                               | 7            |
| <b>Staveništní spotřeba</b>  |                      |                             |                                |                        |                                 |              |
| <b>Pohonné hmoty – nafta</b> |                      |                             |                                |                        |                                 |              |
| 1                            | Autojeřáb            | 9,41 Sh <sup>*)</sup>       | 8,0 litrů                      | 75,28 litrů            |                                 |              |
| 2                            | Kompresor pojízdný   | 114,22 Sh                   | 15,0 litrů                     | 1 713,30 litrů         |                                 |              |
| 3                            | Přesun HSV           | 1 208,29 t                  | 1,0 litrů                      | 12 008,29 litrů        |                                 |              |
|                              | PSV                  | 488,53 t                    | 1,0 litrů                      | 488,53 litrů           |                                 |              |
| 4                            | Silniční doprava     | 10 <sup>-3</sup> x8,67      | 72,8 litrů                     | 0,63 litrů             |                                 |              |
| <b>Celkem</b>                |                      |                             |                                | <b>14 286,03 litrů</b> | <b>17,905</b>                   | <b>25,08</b> |
| <b>Elektrická energie</b>    |                      |                             |                                |                        |                                 |              |
| 1                            | Rovnačka a stříhačka | 43,16 Sh                    | 8,0 kWh                        | 345,28 kWh             |                                 |              |

| č.                                                 | Stroj, materiál                   | Počet<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>mj <sup>***)</sup> | Spotřeba<br>celkem    | Spotřeba<br>tmpp <sup>**)</sup> | (%)           |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------|
| 1                                                  | 2                                 | 3                           | 4                              | 5                     | 6                               | 7             |
| 2                                                  | Ohýbačka centrální<br>+ závitořez | 207,64 Sh                   | 5,0 kWh                        | 1 038,20 kWh          |                                 |               |
| 3                                                  | Oblouková svářečka<br>typ Triody  | 683,10 Sh                   | 16,0 kWh                       | 10 929,60 kWh         |                                 |               |
| 4                                                  | Maltárna centrální                | 54,47 Sh                    | 12,4 kWh                       | 675,43 kWh            |                                 |               |
| 5                                                  | Centrální betonárna               | 35,25 Sh                    | 16,0 kWh                       | 564,00 kWh            |                                 |               |
| 6                                                  | Omítačka                          | 1 456,96 Sh                 | 8,0 kWh                        | 11 655,44 kWh         |                                 |               |
| 7                                                  | Jeřáb stavební věžový             | 1 677,01 Sh                 | 50,0 kWh                       | 83 850,50 kWh         |                                 |               |
| 8                                                  | Výtah stavební klecový<br>100 kg  | 654,61 Sh                   | 10,0 kWh                       | 6 546,10 kWh          |                                 |               |
| <b>Elektrická energie celkem</b>                   |                                   |                             |                                | <b>115 604,55 kWh</b> | <b>50,866</b>                   | <b>71,25</b>  |
| <b>Paliva</b>                                      |                                   |                             |                                |                       |                                 |               |
| 1                                                  | Kyslík stlačený tech.,<br>lahve   | 150,74 m <sup>3</sup>       |                                |                       | 0,600                           |               |
| 2                                                  | Acetylen, lahve                   | 115,33 kg                   |                                |                       | 0,496                           |               |
| 3                                                  | PB lahve à 33 kg                  | 35,136 ks                   |                                |                       | 0,815                           |               |
| 4                                                  | Dříví surové jehličnaté           | 0,8 m <sup>3</sup>          |                                |                       | 0,249                           |               |
| <b>Paliva celkem</b>                               |                                   |                             |                                |                       | <b>2,620</b>                    | <b>3,67</b>   |
| <b>Staveništní spotřeba vrchní stavba – celkem</b> |                                   |                             |                                |                       | <b>71,391</b>                   | <b>100,00</b> |
| <b>Výrobní spotřeba</b>                            |                                   |                             |                                |                       |                                 |               |
| Železobetonové panely                              |                                   | 3 953,228 m <sup>3</sup>    |                                |                       | 159,612                         |               |
| Pórobetonové vyztužené příčky                      |                                   | 26,692 m <sup>3</sup>       |                                |                       | 0,934                           |               |
| <b>Výrobní spotřeba – vrchní stavba – celkem</b>   |                                   |                             |                                |                       | <b>160,546</b>                  | <b>69,22</b>  |
| <b>Vrchní stavba celkem</b>                        |                                   |                             |                                |                       | <b>231,937</b>                  | <b>100,00</b> |

| <b>Energetická spotřeba na bytovou jednotku [tmpp]</b> |             |         |         |
|--------------------------------------------------------|-------------|---------|---------|
|                                                        | Staveništní | Výrobní | Celková |
| Užitná plocha 66,51m <sup>2</sup>                      | 0,854       | 1,449   | 2,303   |
| Užitná plocha 63,00 m <sup>2</sup>                     | 0,809       | 1,373   | 2,182   |
| Procenta                                               | 37,080      | 62,920  | 100,000 |

\*) Značka Sh představuje počet „strojohodin“ použitých strojních mechanismů

\*\*) Značka tmpp znamená „tuny měrného primárního paliva“

\*\*\*) Značka mj znamená „měrné jednotky“

Tab. 15 Nepřímá energetická náročnost přidružených stavebních materiálů u stavební soustavy VVÚ ETA (126 bytových jednotek) [2.13]

**Spodní stavba**

| Ceník                                         | Název                                        | Dodávka (Kč) | Montáž (Kč) | Hmotnost (t) | Měrná energetická náročnost | Spotřeba tmpp <sup>**</sup> | (%)  |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| 1                                             | 2                                            | 3            | 4           | 5            | 6                           | 7                           | 8    |
| 711                                           | Izolace proti vodě                           |              | 60 189,11   | 17,912       | 1,26 tmpp /t                | 22,569                      | 14,7 |
| 713                                           | Izolace tepelná                              |              | 22 098,90   | 6,536        | 4,11 tmpp /t                | 26,863                      | 17,5 |
| 721                                           | Vnitřní kanalizace                           |              | 46 168,47   | 12,014       | 1,32 tmpp /t                | 15,853                      | 10,4 |
| 722                                           | Vnitřní vodovod                              |              | 17 404,26   | 1,495        | 1,29 tmpp /t                | 1,929                       |      |
| 724                                           | Vnitřní strojové vybavení                    | 3 040,00     | 335,00      | 0,109        | 73,53 tmpp/mil.Kč           | 0,224                       |      |
| 732                                           | Ústřední vytápění – bojler                   | 168 700,00   | 15 869,75   | 13,158       | 105,40 tmpp/mil.Kč          | 17,781                      | 11,6 |
| 733                                           | Ústřední vytápění – potrubí                  |              | 31 232,80   | 4,474        | 1,29 tmpp /t                | 5,771                       |      |
| 734                                           | Ústřední vytápění – armatury                 |              | 48 279,65   | 2,633        | 73,53 tmpp/mil.Kč           | 3,550                       |      |
| 735                                           | Ústřední vytápění – otopná tělesa            | 558,80       | 213 004,56  | 1,717        | 0,91 tmpp /t                | 1,562                       |      |
| 764                                           | Konstrukce klempířské                        |              | 2 397,12    | 0,214        | 1,28 tmpp /t                | 0,274                       |      |
| 766                                           | Konstrukce truhlářské                        | 130 914,25   | 16 204,35   | 15,073       | 0,09 tmpp/mil.Kč            | 11,782                      | 7,7  |
| 767                                           | Konstrukce kovové doplňkové                  | 46 871,72    | 24 918,90   | 10,420       | 1,32 tmpp /t                | 13,754                      | 9,0  |
| 771                                           | Podlahy dlaždic                              |              | 933,12      | 1,473        | 328,50 tmpp/mil.Kč          | 0,559                       |      |
| 781                                           | Obklady keramické                            |              | 767,39      | 0,589        |                             |                             |      |
| 783                                           | Nátěry                                       |              | 7 874,00    | 0,304        | 2,82 tmpp /t                | 0,857                       |      |
| 793                                           | Montáže zařízení prádelen                    | 37 800,00    | 3 832,00    | 1,300        | 73,53 tmpp/mil.Kč           | 2,779                       |      |
| Základní rozpočtové náklady PSV – součet      |                                              | 387 844,77   | 511 512,38  | 89,388       | 1,41 tmpp /t                | 126,112                     | 82,3 |
| <b>Dodávky a montáže podle ceníků montáže</b> |                                              |              |             |              |                             |                             |      |
| 921                                           | Elektromontáže silno                         |              | 131 120,00  |              | 127,20 tmpp/mil.Kč          | 16,678                      | 10,9 |
| 922                                           | Montáž sdělovacího a signalizačního zařízení |              | 29 290,00   |              | 93,10 tmpp/mil.Kč           | 2,727                       | 1,8  |

| Ceník                                                     | Název                              | Dodávka (Kč) | Montáž (Kč)         | Hmotnost (t)  | Měrná energetická náročnost | Spotřeba tmpp <sup>**</sup> ) | (%)           |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------|
| 1                                                         | 2                                  | 3            | 4                   | 5             | 6                           | 7                             | 8             |
| 923                                                       | Dodávky a montáž potrubí           |              | 7 200,00            |               | 105,40<br>tmpp/mil.Kč       | 1,911                         | 1,2           |
| 924                                                       | Montáž vzduchotechnických zařízení |              | 110 930,00          |               |                             |                               |               |
| 936                                                       | Montáž regulačních přístrojů       |              | 53 130,00           |               | 107,80<br>tmpp/mil.Kč       | 5,727                         | 3,7           |
| Základní rozpočtové náklady – součet podle ceníků montáží |                                    |              | 231 670,00          |               | 116,70<br>tmpp/mil.Kč       | 27,043                        | 17,7          |
| <b>Celkem</b>                                             |                                    |              | <b>1 131 027,00</b> | <b>89,388</b> | <b>1,713 tmpp /t</b>        | <b>153,155</b>                | <b>100,00</b> |
| Bytová jednotka užitné plochy 63 m <sup>2</sup>           |                                    |              | 8 502,68            | 0,672         | 0,135<br>tmpp/mil.Kč        | 1,151                         |               |

Tab. 16 Nepřímá energetická náročnost stavebních přidružených materiálů u stavební soustavy VVU ETA (126 bytových jednotek) [2.13]

#### Vrchní stavba

| Ceník | Název                                   | Dodávka (Kč) | Montáž (Kč) | Hmotnost (t) | Měrná energetická náročnost | Spotřeba tmpp <sup>**</sup> ) | (%) |
|-------|-----------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------|-----|
| 1     | 2                                       | 3            | 4           | 5            | 6                           | 7                             | 8   |
| 711   | Izolace proti vodě                      |              | 2 197,65    | 0,519        | 1,35 tmpp /t                | 0,701                         |     |
| 712   | Izolace živočišně krytiny               |              | 104 735,07  | 25,024       | 1,26 tmpp /t                | 31,530                        |     |
| 713   | Izolace tepelná                         |              | 144 660,71  | 30,563       | 4,11 tmpp /t                | 125,614                       |     |
| 721   | Vnitřní kanalizace                      |              | 85 445,55   | 9,830        | 1,32 tmpp /t                | 12,967                        |     |
| 722   | Vnitřní vodovod                         | 2 628,40     | 114 390,31  | 6,357        | 1,29 tmpp /t                | 8,201                         |     |
| 723   | Vnitřní plynovod                        |              | 15 661,75   | 1,541        | 1,29 tmpp /t                | 1,988                         |     |
| 725   | Vnitřní instalace zařizovacích předmětů |              | 8 340,00    | 0,814        | 328,50<br>tmpp/mil.Kč       | 2,740                         |     |
| 726   | Instalační prefabrikáty                 | 1 673 262,00 | 120 956,55  | 999,051      | 73,53<br>tmpp/mil.Kč        | 123,035                       |     |
| 733   | Ústřední vytápění – potrubí             |              | 41 689,20   | 4,548        | 1,29 tmpp/t                 | 5,867                         |     |
| 734   | Ústřední vytápění – armatury            |              | 62 341,30   | 0,369        | 73,53<br>tmpp/mil.Kč        | 4,584                         |     |

| Ceník                                                     | Název                                        | Dodávka (Kč) | Montáž (Kč)         | Hmotnost (t)   | Měrná energetická náročnost | Spotřeba tmpp <sup>**</sup> ) | (%)        |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|---------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|------------|
| 1                                                         | 2                                            | 3            | 4                   | 5              | 6                           | 7                             | 8          |
| 735                                                       | Ústřední vytápění – otopná tělesa            | 12 026,90    | 169 910,23          | 29,775         | 1,10 tmpp /t                | 32,753                        |            |
| 764                                                       | Konstrukce klempířské                        |              | 33 178,04           | 3,303          | 1,28 tmpp /t                | 4,228                         |            |
| 766                                                       | Konstrukce truhlářské                        | 1 573 794,83 | 133 780,90          | 127,264        | 0,09 tmpp/mil.Kč            | 141,642                       |            |
| 767                                                       | Konstrukce kovové dopl.                      | 251 525,88   | 54 179,25           | 42,353         | 1,32 tmpp /t                | 55,906                        |            |
| 771                                                       | Podlahy dlaždic                              |              | 40 427,79           | 52,419         | 328,50 tmpp/mil.Kč          | 17,135                        |            |
| 781                                                       | Obklady keramické                            |              | 11 732,57           | 6,334          |                             |                               |            |
| 776                                                       | Podlahy povlakové                            | 49 980,96    | 31 082,89           | 4,360          |                             |                               |            |
|                                                           | Podlahy speciální tl. 3 mm                   | 601 210,62   | 59 123,70           | 65,634         | 2,71 tmpp/t                 | 190,686                       |            |
|                                                           | Podlahy – svary                              |              | 54 012,86           | 0,370          |                             |                               |            |
| 783                                                       | Nátěry OK a ÚT                               |              | 54 088,70           | 1,564          | 2,820 tmpp/t                | 4,410                         |            |
| 784                                                       | Malby                                        |              | 21 539,12           | 4,821          | 1,300 tmpp/t                | 6,267                         |            |
| 785                                                       | Čalounické úpravy                            | 84 026,94    | 114 827,64          | 5,213          | 0,220 tmpp/t                | 18,486                        |            |
| 787                                                       | Zasklívání                                   |              | 16 175,29           | 4,383          | 0,240 tmpp/t                | 3,882                         |            |
| Základní rozpočtové náklady PSV – součet                  |                                              | 4 248 452,55 | 1 494 567,07        | 526,409        | 1,505 tmpp /t               | 792,629                       | 85,3       |
| <b>Dodávky a montáže podle ceníků montáže</b>             |                                              |              |                     |                |                             |                               |            |
| 921                                                       | Elektromontáže siloproudu                    |              | 430 350,00          |                | 127,20 tmpp/mil.Kč          | 54,741                        | 5,9        |
| 922                                                       | Montáž sdělovacího a signalizačního zařízení |              | 191 750,00          |                | 93,10 tmpp/mil.Kč           | 17,852                        | 1,9        |
| 924                                                       | Montáž vzduchotechnického zařízení           |              | 228 310,00          |                | 105,40 tmpp/mil.Kč          | 24,064                        | 2,6        |
| 933                                                       | Montáž dopravního zařízení                   |              | 277 830,00          |                | 143,70 tmpp/mil.Kč          | 39,924                        | 4,3        |
| Základní rozpočtové náklady – součet podle ceníků montáží |                                              |              | 1128 240,00         |                | 121,06 tmpp/mil.Kč          | 136,581                       | 14,7       |
| <b>Celkem</b>                                             |                                              |              | <b>6 871 260,00</b> | <b>526,409</b> | <b>1,765 tmpp /t</b>        | <b>929,210</b>                | <b>100</b> |
| Bytová jednotka užitné plochy 63 m <sup>2</sup>           |                                              |              | 51 655,84           | 3,957          | 0,135 tmpp/mil.Kč           | 6,985                         |            |

Tab. 17 Nepřímá energetická náročnost hlavních stavebních materiálů u stavební soustavy VVÚ ETA pro plánovanou bytovou jednotku UP 63 m<sup>2</sup> [2.13]

| Materiál      | Místo zpracování         | Množství měrných jednotek  |               | Měrná spotřeba            | Celkem (tmpp) | (%)         |
|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------|---------------|-------------|
| Výztuž        | Výroba                   | 2,192 t                    | 82,3 %        |                           |               |             |
|               | Stavba                   | 0,379 t                    | 17,7 %        |                           |               |             |
|               | <b>Celkem</b>            | <b>2,579 t</b>             | <b>100 %</b>  | <b>1,13 tmpp/t</b>        | <b>2,905</b>  | <b>37,9</b> |
| Pojiva        | Výroba – cement, vápno   | 14,442 t                   | 79,8 %        |                           |               |             |
|               | Stavba – cement, vápno   | 3,656 t                    | 20,2 %        |                           |               |             |
|               | <b>Celkem</b>            | <b>18,098 t</b>            | <b>100 %</b>  | <b>0,20 tmpp/t</b>        | <b>3,620</b>  | <b>47,3</b> |
| EPS           | Výroba                   | 0,020 t                    |               | 4,11 tmpp/t               | 0,0081        | 1,1         |
| Kamenivo      | Výroba – drcené          | 36,044 t                   |               |                           |               |             |
|               | Výroba – ter. dř         | 1,386 t                    |               |                           |               |             |
|               | Výroba – těžené          | 43,360 t                   |               |                           |               |             |
|               | <b>Celkem</b>            | <b>81,090 t</b>            | <b>72,2 %</b> |                           |               |             |
|               | Stavba – těžené          | 31,156 t                   | 27,8 %        |                           |               |             |
|               | <b>Celkem</b>            | <b>112,246 t</b>           | <b>100 %</b>  | <b>0,005 tmpp/t</b>       | <b>0,561</b>  | <b>7,3</b>  |
| ČSD           | Výroba – dovoz materiálu | 24 436 km                  |               | 0,02 tmpp/t<br>1000 tkm   | 0,489         | 6,4         |
| Voda          | Výroba                   | 7,221 m <sup>3</sup>       | 76,70 %       |                           |               |             |
|               | Stavba                   | 2,194 m <sup>3</sup>       | 23,30 %       | 0,11 tmpp/t               | 0,001         |             |
|               | <b>Celkem</b>            | <b>9,415 m<sup>3</sup></b> | <b>100 %</b>  | <b>1000 m<sup>3</sup></b> |               |             |
| <b>Celkem</b> |                          |                            |               |                           | <b>7,657</b>  | <b>100</b>  |

### Komentář k tab. 13 až 17

Přímá energetická náročnost stavebních prací byla odvozena z kalkulační potřeby strojohodin (Sh) mechanismů, zpracované ze Sborníku potřeb a nákladů v Ústavu racionalizace ve stavebnictví Praha. Sloučené strojohodiny vybraného jediného reprezentanta byly vynásobeny plánovanou spotřebou mechanismu podle údajů realizátora, zahrnující průměrné provozní podmínky, včetně přesunů a přistavních jízd. Energetická náročnost převozu a výroby prefabrikátů je z materiálů podniků VHJ Stavební závody Praha. Tyto přímé energetické potřeby byly převedeny na sčitatelné měrné jednotky tuny měrného paliva prvotních energetických zdrojů (tmpp).

Pro vyčíslení nepřímé energetické náročnosti byly použity převážně komplexní měrné spotřeby paliv a energie z [2.14]. Pro nepřímou energetickou náročnost hlavních stavebních materiálů pro staveništní spotřebu byly údaje množství převzaty z kalkulace realizátora, pro výrobní spotřebu z ročních přehledů dodavatele prefabrikátů. Energetická náročnost dovozu materiálů do výroben byla převzata z [2.15] a [2.16].

Ve výpočtových tabulkách jsou pro orientaci vyznačena procenta hlavních energetických potřeb. Energetická potřeba přesunů a dopravy je zvýrazněna, ale není výsledována v technologických řetězcích komplexních měrných spotřeb paliv a energií na vybrané výrobky, materiály a dodávky. V propočtu je dodrženo členění na spodní a vrchní stavbu pro odlišné nároky.



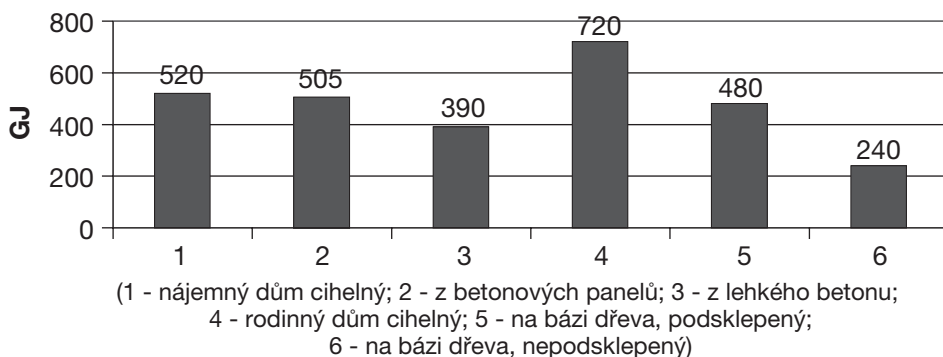
Rekapitulace tabulkových údajů komplexní energetické náročnosti prvotních zdrojů realizace bytové jednotky VVÚ ETA s užitkovou plochou 63 m<sup>2</sup>:

|                                                        |             |        |
|--------------------------------------------------------|-------------|--------|
| • přímá spotřeba stavebně montážní práce a specifikace | 2,182 tmpp  | 12,1 % |
| • nepřímá spotřeba – materiály HSV                     | 7,657 tmpp  | 42,6 % |
| – materiály a dodávky PSV                              | 8,136 tmpp  | 45,3 % |
| – celkem                                               | 17,975 tmpp | 100 %  |

## Poznámka:

K celkové hodnotě energetické náročnosti je možno přidat přírůzek na energetický obsah opotřebovaných základních prostředků podle [2.15]. V tabulkách nepřímých potřeb prací PSV jsou uvedeny i vyhodnocené průměrné energetické náročnosti celkem, odpovídající uvedené skladbě prací a dodávek.

Dlesek [2.3] uvádí energetickou náročnost výstavby bytové jednotky o obestavěném prostoru 200 m<sup>3</sup> v nájemných domech cihelných, z betonových panelů a lehkých betonů a v rodinných domech cihelných, na bázi dřeva s podsklepením a na bázi dřeva bez podsklepení – viz obr. 2.



Obr. 2 Energetická náročnost výstavby některých budov (podle Dleska)

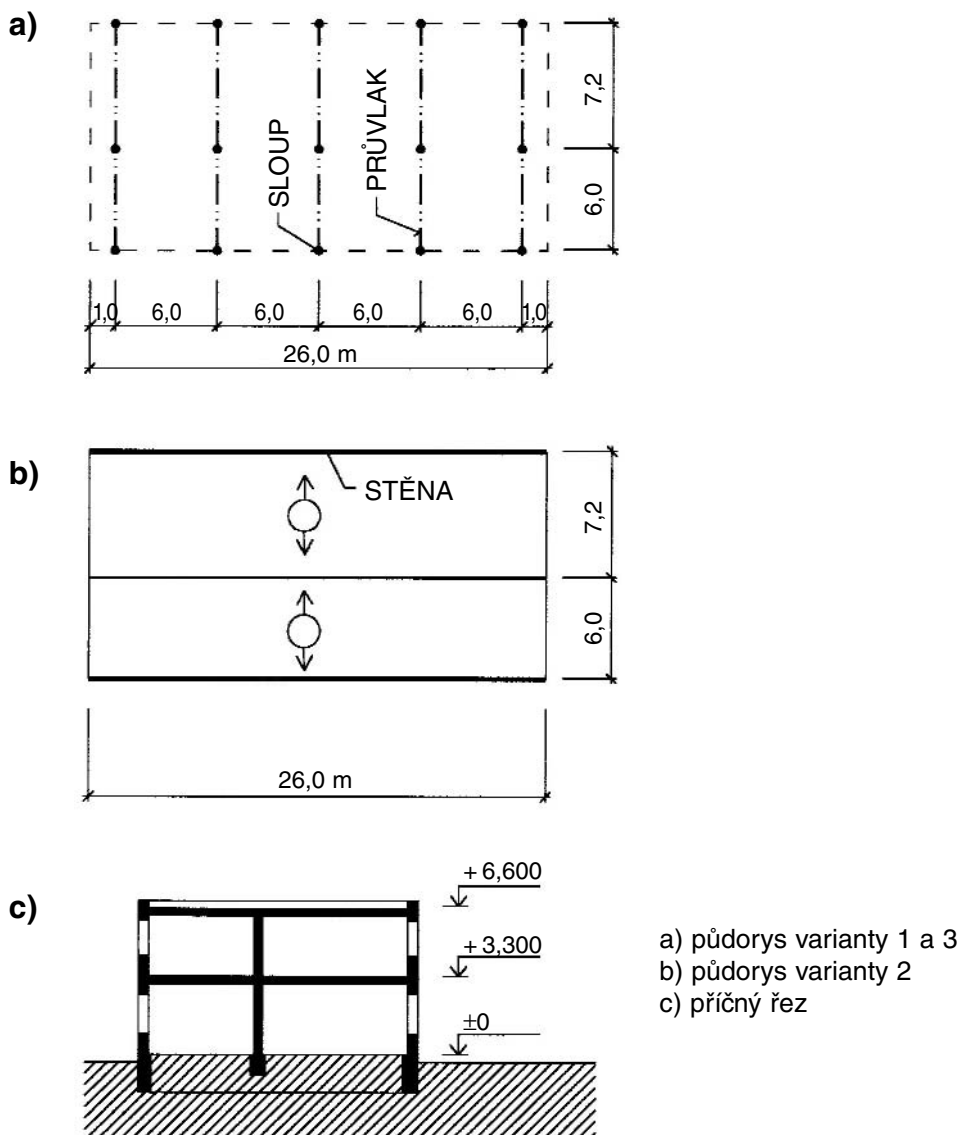
Stehlík [2.17] vyšetřuje 3 různé varianty stavebního provedení budovy – viz obr. 3 – z hlediska energetické náročnosti. Budova má půdorys (13,2 x 26) m a dvě nadzemní podlaží. V přízemí je umístěno sociální zázemí výrobního závodu, v patře jsou kanceláře vedení závodu. Jednotlivé varianty jsou následující:

## 1. varianta

Nosnou konstrukci tvoří montovaný sloupový systém MS 71 s typovým obvodovým a střešním pláštěm. Budova je založena na montovaných patkách. Dopravní vzdálenosti: základové patky – 320 km, nosná konstrukce budovy – 270 km, obvodový a střešní plášť – 80 km, ostatní – do 50 km.

## 2. varianta

Základy – základové pásy z prostého betonu. Svislé konstrukce (podélný stěnový systém): obvodové – cihelné zdivo z tvarovek INA, střední nosné – cihelné zdivo CDM. Vodorovné nosné konstrukce – předpjaté stropní panely SPIROLL. Střecha dvouplášťová z dřevěných vazníků a podbíjení, krytina z pozinkovaného plechu, tepelná izolace – minerální plst. Dopravní vzdálenosti: panely SPIROLL – 80 km, ostatní – do 50 km.

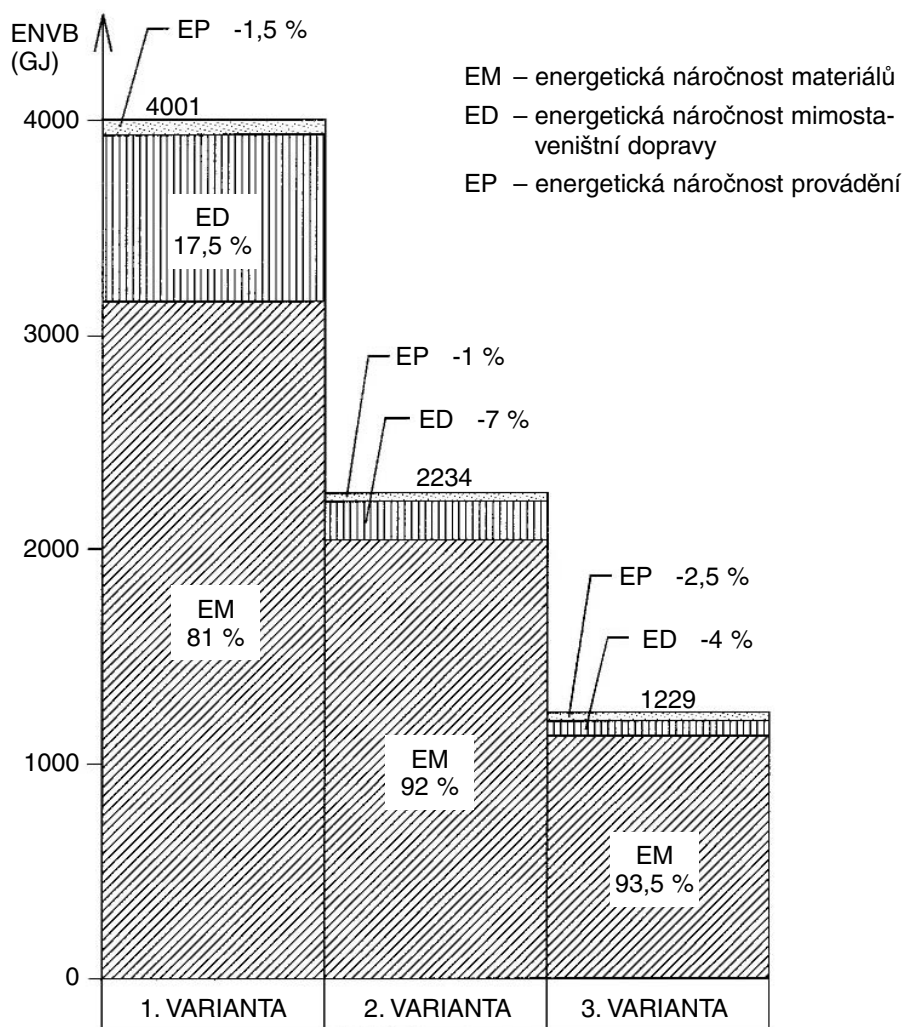


Obr. 3 Schéma konstrukčních systémů jednotlivých variant

### 3. varianta

Sloupový konstrukční systém s příčnými rámy. Základy – monolitické železobetonové patky a prahy. Nosná konstrukce – železobetonový monolitický sloupový systém, trámový strop. Obvodový plášť – pórobetonový vyzdívaný. Střeška stejná jako ve variantě 2. Dopravní vzdálenost – do 50 km.

Do energetických výpočtů bylo vybráno šest základních technologických etap – základy, nosná konstrukce svislá a vodorovná, obvodový plášť, střešní plášť, příčky. Energetická náročnost byla vyhodnocena v materiálové, dopravní a prováděcí položce. Obr. 4 znázorňuje celkovou energetickou náročnost variantních řešení budovy. Z obrázku je vidět, že nejvýznamnější energetickou po-



Obr. 4 Celková energetická náročnost jednotlivých variant ENVB

ložkou spotřeby energie připadající na materiály EM. Realizací 1. varianty by došlo k 2,8násobnému zvětšení energetické náročnosti vstupních materiálů a 14,3násobnému zvětšení spotřeby energie při dopravě v porovnání s 3. variantou. Celkově je 1. varianta 3,25x energeticky náročnější, než 3. varianta. Realizace 3. varianty přináší proti 1. variantě úsporu energie  $2,77 \cdot 10^3$  GJ.

## 2.2 Provozní energetická náročnost budov

Pro provoz budov a jejich užívání je třeba určitého množství energie, kterou tvoří energie pro vytápění (klimatizaci), větrání, ohřev teplé vody, osvětlení, provoz různých domácích spotřebičů a u výrobních a průmyslových budov pro technologické účely.

Z uvedených potřeb energie se však budeme věnovat jen energii potřebné pro vytápění, větrání a ohřev teplé vody.

## 2.2.1 Spotřeba tepla při vytápění vybraných budov

V této části uvádíme výsledky měření spotřeby tepla při vytápění (v němž je zahrnuto i větrání) získané zejména v typizovaných bytových domech (především panelových), a v několika rodinných domcích, školních a zdravotnických budovách.

### 2.2.1.1 Typizované bytové domy

#### (1) Budova T 02 B [2.18]

Budova se nachází v Domažlicích; rok výstavby 1961. Jde o stavební soustavu s klasickou technologií zděných konstrukcí z cihel metrického formátu CDM o tloušťce 375 mm. Stropní konstrukce jsou montované z dutinových panelů o tloušťce 225 mm, o světlém rozponu 5 m a 1 m široké. Podlahy v obytných místnostech jsou z parketových tabulí DYAS. Zvuková izolace je z rohoží z minerální vlny, kladených do škvárového lože. Střešní konstrukce je jednoplášťová s tepelně izolační vrstvou ze škvárobetonu. U střešní konstrukce byla opravena hydroizolační vrstva. Okna jsou dřevěná zdvojená, těsněná kovotěsem. Charakteristické údaje jsou v tab. 18.

Tab. 18 Charakteristické údaje čtyřpodlažní budovy T 02 B

| Název veličiny                            | Značka a rozměr                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Výška budovy                              | $h = 12 \text{ m}$                      |
| Základová plocha                          | $A_G = 416,6 \text{ m}^2$               |
| Obestavěný objem                          | $V_o = 5\,012,4 \text{ m}^3$            |
| Celková plocha oken                       | $A_o = 266,0 \text{ m}^2$               |
| Poměrná plocha oken typického podlaží     | $a = 0,16$                              |
| Plocha obvodové stěny                     | $A_{e1} = 622,7 \text{ m}^2$            |
| Plocha štítové stěny                      | $A_{e2} = 270,0 \text{ m}^2$            |
| Plocha střechy                            | $A_s = 416,6$                           |
| Celková ochlazovaná plocha                | $\Sigma A_j = 1\,991,9 \text{ m}^2$     |
| Geometrická charakteristika               | $\Sigma A_j/V_o = 0,4 \text{ 1/m}$      |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn | $U_{e1} = 1,39 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla štítové stěny   | $U_{e2} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken            | $U_o = 2,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$     |
| Součinitel prostupu tepla střechy         | $U_s = 1,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |
| Součinitel prostupu tepla podlahy         | $U_n = 1,04 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |

Zjištěná spotřeba tepla je v tab. 19.

Tab. 19 Spotřeba tepla  $Q_t$  (GJ/a) při vytápění budovy T 02 B v letech 1999 až 2001

| Rok          | 1999 | 2000 | 2001 | Průměr |
|--------------|------|------|------|--------|
| $Q_t$ (GJ/a) | 631  | 577  | 648  | 618,67 |

Výpočtem byla stanovena spotřeba tepla  $Q_{t,vyp} = 672,3$  (GJ/a). Rozdíl mezi vypočtenou a průměrnou naměřenou hodnotou je 8,0 %. Měrná spotřeba tepla při vytápění je  $e_v = 34,3$  kWh/(m<sup>3</sup>a).

## (2) Budova T 16 (8 sekcí) [2.19]

Základní sekce konstrukčního systému T 16 je řešena jako dvojtrakt s průvlaký, které jsou položeny na řadu středních polštářů kolmo k obvodovým stěnám. Hloubka traktu je 5,40 m, šířka základního konstrukčního pole je 3,60 m. Obvodové zdivo má ve všech podlažích tloušťku 450 mm, okna jsou zdvojená dřevěná. Na obvodovém zdivu v meziokenních pilířích a na středních nosných cihelných pilířích jsou osazeny úložné bloky průvlaků. Průvlak tvaru T je vysoký 565 mm, s horní přírubou o šířce 300 mm. Stojina má tloušťku 150 mm. Na takto vytvořený systém průvlaků jsou po vyzdění šitových a schodišťových zdí osazeny do horního líce konstrukce deskové panely o tloušťce 140 mm, vylehčené válcovými dutinami. Pro řadové sekce je střecha řešena jako sedlová s malým spádem. Hodnocena je budova o 5 podlažích s osmi sekcemi na Ruské třídě ve Vršovicích v Praze, rok výstavby 1954. Údaje, potřebné pro hodnocení budovy, jsou v tab. 20.

Tab. 20 Charakteristické údaje pětipodlažní budovy T 16 (8 sekcí)

| Název veličiny                            | Značka a rozměr                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                         | $o = 204,3$ m                          |
| Výška budovy                              | $h = 15$ m                             |
| Základová plocha                          | $A_G = 2\,247,3$ m <sup>2</sup>        |
| Obestavěný objem                          | $V_o = 33\,709,5$ m <sup>3</sup>       |
| Celková plocha oken                       | $A_o = 558$ m <sup>2</sup>             |
| Poměrná plocha oken typického podlaží     | $a = 0,12$                             |
| Plocha svislého obvodového pláště         | $A_e = 3\,064,5$ m <sup>2</sup>        |
| Plocha neprůsvitného pláště               | $A_{en} = 1\,709,4$ m <sup>2</sup>     |
| Celková ochlazovaná plocha                | $\Sigma A_l = 7\,559,1$ m <sup>2</sup> |
| Geometrická charakteristika               | $\Sigma A_l/V_o = 0,22$ 1/m            |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn | $U_e = 1,4$ W/(m <sup>2</sup> K)       |
| Součinitel prostupu tepla oken            | $U_o = 2,8$ W/(m <sup>2</sup> K)       |
| Součinitel prostupu tepla stropu          | $U_s = 1,4$ W/(m <sup>2</sup> K)       |
| Součinitel prostupu tepla podlahy         | $U_n = 1,3$ W/(m <sup>2</sup> K)       |

Naměřené hodnoty spotřeby tepla a tepelné ztráty při vytápění, z období let 1997 až 2000 jsou v tab. 21.

Tab. 21 Spotřeba tepla a tepelné ztráty pětipodlažní budovy T.16 (8 sekcí) v letech 1997 až 2000

| Rok  | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d · K) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_{tm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) | $E_D$ (GJ/D) |
|------|-------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|--------------|
| 1997 | 1     | -3,8               | 685         | 874               | 242 778            | 326 314 | 1,30         |
| 1997 | 2     | +3,6               | 412         | 546               | 151 667            | 225 694 | 1,30         |
| 1997 | 3     | 5,3                | 403         | 477               | 132 500            | 178 091 | 1,30         |
| 1997 | 4     | 6,2                | 363         | 513               | 142 500            | 197 917 | 1,30         |
| 1997 | 10    | 7,4                | 338         | 365               | 101 389            | 136 275 | 1,30         |
| 1997 | 11    | 3,3                | 450         | 621               | 172 500            | 239 583 | 1,30         |

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d · K) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_{tm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) | $E_D$ (GJ/D) |
|---------------|-------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|--------------|
| 1997          | 12    | 1,9                | 508         | 696               | 193 333            | 259 857 | 1,30         |
| 1998          | 1     | 1,4                | 524         | 721               | 200 278            | 298 032 | 1,41         |
| 1998          | 2     | 4,5                | 386         | 577               | 160 278            | 215 427 | 1,41         |
| 1998          | 3     | 4,7                | 422         | 582               | 161 667            | 217 294 | 1,41         |
| 1998          | 4     | 10,8               | 225         | 382               | 106 111            | 147 376 | 1,41         |
| 1998          | 10    | 9,2                | 282         | 376               | 104 444            | 140 382 | 1,41         |
| 1998          | 11    | 1,4                | 507         | 648               | 180 000            | 250 000 | 1,41         |
| 1998          | 12    | 0,4                | 555         | 803               | 223 055            | 299 806 | 1,41         |
| 1999          | 1     | 1,3                | 527         | 816               | 226 667            | 304 659 | 1,65         |
| 1999          | 2     | -0,1               | 510         | 938               | 260 555            | 387 731 | 1,65         |
| 1999          | 3     | 5,8                | 387         | 635               | 176 389            | 237 082 | 1,65         |
| 1999          | 4     | 9,9                | 252         | 357               | 99 167             | 137 731 | 1,65         |
| 1999          | 10    | 9,3                | 279         | 457               | 126 944            | 170 624 | 1,65         |
| 1999          | 11    | 3,1                | 456         | 787               | 218 611            | 303 626 | 1,65         |
| 1999          | 12    | 1,6                | 518         | 841               | 233 611            | 313 993 | 1,65         |
| 2000          | 1     | -0,6               | 586         | 960               | 266 667            | 358 423 | 1,54         |
| 2000          | 2     | 3,6                | 426         | 673               | 187 944            | 268 598 | 1,54         |
| 2000          | 3     | 4,6                | 425         | 653               | 181 398            | 243 802 | 1,54         |
| 2000          | 4     | 11,8               | 195         | 274               | 76 111             | 105 710 | 1,54         |
| 2000          | 10    | 11,2               | 220         | 309               | 85 833             | 115 367 | 1,54         |
| 2000          | 11    | 5,6                | 381         | 605               | 168 055            | 233 410 | 1,54         |
| 2000          | 12    | 1,3                | 527         | 787               | 218 611            | 293 832 | 1,54         |
| <b>Průměr</b> |       |                    |             |                   |                    |         | <b>1,475</b> |

Z hodnot v tab. 21 je vyčíslena průměrná hodnota měrné spotřeby tepla při vytápění  $e_v = 43,6 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ a})$  a průměrná spotřeba tepla na jeden denostupeň  $E_D = 1,475 \text{ GJ/D}$ , přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,132 \text{ GJ/D}$ , tj.  $\pm 8,9 \%$ .

Na základě závislosti průměrných tepelných ztrát v jednotlivých měsících  $Q$  (W) na průměrných měsíčních teplotách vnějšího vzduchu  $\theta_{em}$  (°C) byla stanovena rovnice tepelných ztrát

$$Q = -16\,776 \cdot \theta_{em} + 307\,870$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ °C}$  vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 509\,182 \text{ W}$  a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 18,3 \text{ °C}$ . Vypočtená tepelná ztráta budovy podle ČSN 06 0210 [2.20] je  $Q = 510\,032 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je  $1,7 \%$ , tj. naměřené hodnoty jsou o  $1,7 \%$  menší než vypočtené.

### (3) Budova T 16-S (3 sekce) [2.19]

Systém T 16-S navazuje na T 16 a označuje se jako systém cihlových kvádrů s vnitřním skeletem. Základní dispoziční konstrukční pole ( $5,64 \times 3,60$ ) m je stejné jako u systému T 16, místo výstavby je rovněž stejné, rok výstavby 1955. Cihelné příčky jsou nahrazeny příčkovými

mi betonovými panely. Obvodovou konstrukci tvoří cihelné panelobloky o šířce 135 mm. Mezi ně jsou osazeny průběžné svislé okenní panely, včetně navazujících neprůhledných prvků nadpraží a parapetů. Průhledné a neprůhledné prvky jsou osazeny v nosném ocelovém rámu, který je zakotven ve svislé cihelné konstrukci. Rám okna je ocelový, vlastní okna jsou dřevěná zdvojená. Charakteristické údaje pětipodlažní budovy T 16-S (3 sekce) jsou v tab. 22.

Tab. 22 Charakteristické údaje pětipodlažní budovy T 16-S (3 sekce)

| Název veličiny                                                                            | Značka a rozměr                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                                                                         | $o = 135,1 \text{ m}$                    |
| Výška budovy                                                                              | $h = 15 \text{ m}$                       |
| Šířka budovy                                                                              | $\bar{s} = 12,6 \text{ m}$               |
| Délka budovy                                                                              | $d = 54,95 \text{ m}$                    |
| Základová plocha                                                                          | $A_G = 692,4 \text{ m}^2$                |
| Obestavěný objem                                                                          | $V_o = 10\,386,0 \text{ m}^3$            |
| Celková plocha oken                                                                       | $A_o = 558 \text{ m}^2$                  |
| Poměrná plocha oken typického podlaží                                                     | $a = 0,161$                              |
| Plocha svislého obvodového pláště                                                         | $A_e = 2\,026,5 \text{ m}^2$             |
| Z toho cihelné bloky                                                                      | $A_{ec} = 1\,028,0 \text{ m}^2$          |
| A parapet a nadpraží 30 %                                                                 | $A_{ep} = 440,5 \text{ m}^2$             |
| Celková ochlazovaná plocha                                                                | $\Sigma A_i = 3\,411,3 \text{ m}^2$      |
| Geometrická charakteristika                                                               | $\Sigma A_i/V_o = 0,33 \text{ 1/m}$      |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn                                                 | $U_e = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla parapetu                                                        | $U_{ep} = 1,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obvodového pláště $(0,70 \cdot 1,4 + 0,30 \cdot 1,14)$ | $U_{epr} = 1,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken                                                            | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla stropu                                                          | $U_s = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla podlahy                                                         | $U_n = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |

Naměřené hodnoty spotřeby tepla a tepelné ztráty při vytápění, z období let 1997 až 2000, jsou v tab. 23.

Tab. 23 Spotřeba tepla a tepelné ztráty pětipodlažní budovy T 16-S (3 sekce) v letech 1997 až 2001

| Rok  | Měsíc | $\theta_{em} \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $D \text{ (d} \cdot \text{K)}$ | $Q_{lm} \text{ (GJ/měs)}$ | $Q_{lm} \text{ (kWh/měs)}$ | $Q \text{ (W)}$ | $E_D \text{ (GJ/D)}$ |
|------|-------|----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| 1997 | 1     | -3,8                                   | 682                            | 356                       | 98 889                     | 132 915         | 0,51                 |
| 1997 | 2     | +3,6                                   | 409                            | 194                       | 53 889                     | 80 192          | 0,51                 |
| 1997 | 3     | 5,3                                    | 400                            | 230                       | 63 889                     | 85 872          | 0,51                 |
| 1997 | 4     | 6,2                                    | 360                            | 176                       | 48 889                     | 67 901          | 0,51                 |
| 1997 | 10    | 7,4                                    | 335                            | 169                       | 49 944                     | 63 097          | 0,51                 |
| 1997 | 11    | 3,3                                    | 447                            | 215                       | 59 722                     | 82 947          | 0,51                 |



| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d · K) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_{tm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) | $E_D$ (GJ/D) |
|---------------|-------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|--------------|
| 1997          | 12    | 1,9                | 505         | 261               | 72 500             | 97 446  | 0,51         |
| 1998          | 1     | 1,4                | 521         | 264               | 73 333             | 98 566  | 0,58         |
| 1998          | 2     | 4,5                | 384         | 240               | 66 667             | 99 206  | 0,58         |
| 1998          | 3     | 4,7                | 418         | 271               | 75277              | 101 180 | 0,58         |
| 1998          | 4     | 10,8               | 222         | 97                | 26 944             | 37 428  | 0,58         |
| 1998          | 10    | 9,2                | 279         | 200               | 55 555             | 74 671  | 0,58         |
| 1998          | 11    | 1,4                | 504         | 290               | 80 555             | 111 883 | 0,58         |
| 1998          | 12    | 0,4                | 552         | 312               | 86 667             | 116 487 | 0,58         |
| 1999          | 1     | 1,3                | 524         | 295               | 81 944             | 110 140 | 0,575        |
| 1999          | 2     | -0,1               | 512         | 342               | 95 000             | 147 369 | 0,575        |
| 1999          | 3     | 5,8                | 384         | 192               | 53 333             | 71 684  | 0,575        |
| 1999          | 4     | 9,9                | 249         | 139               | 38 611             | 53 626  | 0,575        |
| 1999          | 10    | 9,3                | 276         | 146               | 40 555             | 54 510  | 0,575        |
| 1999          | 11    | 3,1                | 453         | 261               | 72 500             | 100 694 | 0,575        |
| 1999          | 12    | 1,6                | 515         | 301               | 83 611             | 112 380 | 0,575        |
| 2000          | 1     | -0,6               | 583         | 340               | 94 444             | 126 941 | 0,572        |
| 2000          | 2     | 3,6                | 423         | 257               | 71 389             | 102 570 | 0,572        |
| 2000          | 3     | 4,6                | 422         | 232               | 64 444             | 86 618  | 0,572        |
| 2000          | 4     | 11,8               | 204         | 104               | 28 889             | 40 123  | 0,572        |
| 2000          | 10    | 11,2               | 217         | 149               | 41 389             | 5 630   | 0,572        |
| 2000          | 11    | 5,6                | 378         | 213               | 59 167             | 82 176  | 0,572        |
| 2000          | 12    | 1,3                | 524         | 280               | 77 778             | 104 540 | 0,572        |
| 2001          | 1     | -0,9               | 592         | 361               | 100 278            | 134 782 | 0,494        |
| 2001          | 2     | 1,7                | 462         | 251               | 69 722             | 103 753 | 0,494        |
| 2001          | 3     | 4,5                | 425         | 150               | 41 667             | 56 040  | 0,494        |
| 2001          | 4     | 7,8                | 312         | 123               | 34 167             | 47 435  | 0,494        |
| <b>Průměr</b> |       |                    |             |                   |                    |         | <b>0,546</b> |

Z hodnot v tab. 23 je zjištěna průměrná hodnota měrné spotřeby tepla při vytápění  $e_v = 53,9 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ a})$  a průměrná spotřeba tepla na jeden denostupeň  $E_D = 0,546 \text{ GJ/D}$ , přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,037 \text{ GJ/D}$ , tj.  $\pm 6,7 \%$ .

Na základě závislosti průměrných tepelných ztrát v jednotlivých měsících  $Q$  (W) na průměrných měsíčních teplotách vnějšího vzduchu  $\theta_{em}$  (°C) byla stanovena rovnice tepelných ztrát

$$Q = -6\,368,6 \cdot \theta_{em} + 115\,875$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ °C}$  vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 192\,277 \text{ W}$  a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 18,3 \text{ °C}$ . Vypočtená maximální tepelná ztráta budovy podle ČSN 06 0210 je  $Q = 206\,732 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 7,0 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 7,0 % menší než vypočtené.



**(4) Budova T 16-S (4 sekce) [2.19]**

Tab. 24 Charakteristické údaje pětipodlažní budovy T 16-S (4 sekce)

|                                                                                           |                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Název veličiny                                                                            | Značka a rozměr                          |
| Ochlazovaný obvod                                                                         | $o = 144,6 \text{ m}$                    |
| Výška objektu                                                                             | $h = 15 \text{ m}$                       |
| Základová plocha                                                                          | $A_G = 900,1 \text{ m}^2$                |
| Obestavěný objem                                                                          | $V_o = 13\,502 \text{ m}^3$              |
| Šířka objektu                                                                             | $\bar{s} = 12,45 \text{ m}$              |
| Délka objektu                                                                             | $d = 72,3 \text{ m}$                     |
| Celková plocha oken                                                                       | $A_o = 721,0 \text{ m}^2$                |
| Poměrná plocha oken typického podlaží                                                     | $a = 0,160$                              |
| Plocha svislého obvodového pláště                                                         | $A_e = 2\,169 \text{ m}^2$               |
| Plocha svislého neprůsvitného pláště                                                      | $A_{en} = 1\,448 \text{ m}^2$            |
| Z toho cihelné bloky 61 %                                                                 | $A_{ec} = 883,3 \text{ m}^2$             |
| A parapet a nadpraží 39 %                                                                 | $A_{ep} = 564,7 \text{ m}^2$             |
| Celková ochlazovaná plocha                                                                | $S_{Ai} = 3969,2 \text{ m}^2$            |
| Geometrická charakteristika                                                               | $S_{Ai} / V_o = 0,294 \text{ l/m}$       |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn                                                 | $U_e = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla parapetu                                                        | $U_{ep} = 1,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Průměrný součinitel prostupu tepla obvodového pláště $(0,61 \cdot 1,4 + 0,39 \cdot 1,14)$ | $U_{epr} = 1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken                                                            | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla stropu                                                          | $U_s = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |
| Součinitel prostupu tepla podlahy                                                         | $U_n = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$      |

Naměřené hodnoty spotřeby tepla a tepelné ztráty při vytápění, z období let 1997 až 2001, jsou v tab. 25.

Tab. 25 Spotřeba tepla a tepelné ztráty pětipodlažní budovy T 16-S (4 sekce) v letech 1997 až 2001

| Rok  | Měsíc | $\theta_{em} \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $D \text{ (d} \cdot \text{K)}$ | $Q_{tm} \text{ (GJ/měs)}$ | $Q_{tm} \text{ (kWh/měs)}$ | $Q \text{ (W)}$ | $E_D \text{ (GJ/D)}$ |
|------|-------|----------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|
| 1997 | 1     | -3,8                                   | 694                            | 391                       | 108 611                    | 145 983         | 0,666                |
| 1997 | 2     | +3,6                                   | 420                            | 336                       | 93 333                     | 138 889         | 0,666                |
| 1997 | 3     | 5,3                                    | 412                            | 243                       | 67 500                     | 93 750          | 0,666                |
| 1997 | 4     | 6,2                                    | 372                            | 266                       | 73 889                     | 102 623         | 0,666                |
| 1997 | 10    | 7,4                                    | 347                            | 232                       | 64 444                     | 86 619          | 0,666                |
| 1997 | 11    | 3,3                                    | 459                            | 322                       | 89 444                     | 124 228         | 0,666                |
| 1997 | 12    | 1,9                                    | 518                            | 355                       | 98 611                     | 132 542         | 0,666                |
| 1998 | 1     | 1,4                                    | 533                            | 316                       | 88 113                     | 118 431         | 0,644                |
| 1998 | 2     | 4,5                                    | 395                            | 287                       | 79 722                     | 118 633         | 0,644                |

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d · K) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_{tm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) | $E_D$ (GJ/D) |
|---------------|-------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|--------------|
| 1998          | 3     | 4,7                | 431         | 337               | -                  | -       | 0,644        |
| 1998          | 4     | 10,8               | 234         | 120               | 33 333             | 46 296  | 0,644        |
| 1998          | 10    | 9,2                | 291         | 210               | 58 333             | 78 405  | 0,644        |
| 1998          | 11    | 1,4                | 516         | 321               | 89 167             | 123 843 | 0,644        |
| 1998          | 12    | 0,4                | 564         | 352               | 97 778             | 131 422 | 0,644        |
| 1999          | 1     | 1,3                | 536         | 342               | 92 778             | 124 701 | 0,63         |
| 1999          | 2     | -0,1               | 524         | 386               | 107 222            | 159 557 | 0,63         |
| 1999          | 3     | 5,8                | 397         | 223               | 61 944             | 83 259  | 0,63         |
| 1999          | 4     | 9,9                | 261         | 159               | 44167              | 61 342  | 0,63         |
| 1999          | 10    | 9,3                | 288         | 160               | 44 444             | 59 737  | 0,63         |
| 1999          | 11    | 3,1                | 465         | 287               | 79 722             | 110 725 | 0,63         |
| 1999          | 12    | 1,6                | 527         | 335               | 93 055             | 125 015 | 0,63         |
| 2000          | 1     | -0,6               | 595         | 410               | 113 889            | 153 076 | 0,63         |
| 2000          | 2     | 3,6                | 420         | 299               | 83 055             | 119 333 | 0,63         |
| 2000          | 3     | 4,6                | 434         | 268               | 74 444             | 100 059 | 0,63         |
| 2000          | 4     | 11,8               | 204         | 114               | 31 667             | 43 981  | 0,63         |
| 2000          | 10    | 11,2               | 229         | 167               | 46 389             | 62 351  | 0,63         |
| 2000          | 11    | 5,6                | 390         | 253               | 70 278             | 97 608  | 0,63         |
| 2000          | 12    | 1,3                | 536         | 334               | 92 778             | 124 701 | 0,63         |
| 2001          | 1     | -0,9               | 605         | 416               | 115 555            | 155 317 | 0,56         |
| 2001          | 2     | 1,7                | 473         | 330               | 91 667             | 136 409 | 0,56         |
| 2001          | 3     | 4,5                | 524         | 193               | 53 611             | 72 058  | 0,56         |
| 2001          | 4     | 7,8                | 324         | 140               | 38 889             | 54 012  | 0,56         |
| <b>Průměr</b> |       |                    |             |                   |                    |         | <b>0,626</b> |

Z hodnot v tab. 25 je zjištěna průměrná hodnota měrné spotřeby tepla při vytápění  $e_v = 47,7 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ a})$  a průměrná spotřeba tepla na jeden denostupeň  $E_D = 0,626 \text{ GJ/D}$ , přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,036 \text{ GJ/D}$ , tj.  $\pm 5,7 \%$ .

Ze závislosti průměrných tepelných ztrát v jednotlivých měsících  $Q$  (W) na průměrných měsíčních teplotách vnějšího vzduchu  $Q_{em}$  (°C) byla stanovena rovnice tepelných ztrát

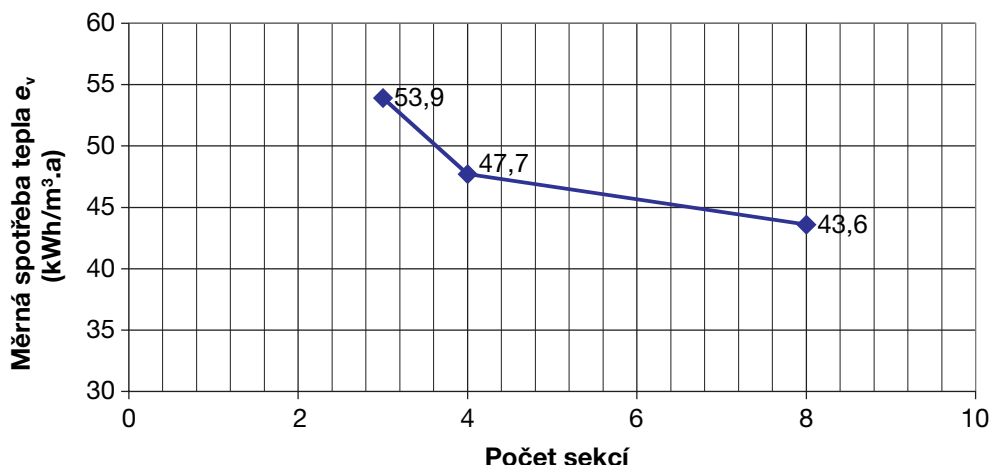
$$Q = -7\,518,4 \cdot \theta_{em} + 139\,604$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ °C}$  vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 229\,825 \text{ W}$  a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 18,6 \text{ °C}$ . Vypočtená tepelná ztráta budovy podle ČSN 06 0210 je  $Q = 226\,762 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je ( $-1,3 \%$ ), tj. naměřené hodnoty jsou o  $1,3 \%$  větší než vypočtené.

#### Poznámka:

Vzhledem k tomu, že máme k dispozici budovy přibližně se stejnými tepelně technickými vlastnostmi obvodového pláště, se stejnou výškou, avšak s různým počtem sekcí a považujeme-li sekci za jednu samostatnou buňku – viz [1.4], pak jde o budovy spojené s různým počtem buněk, pro něž platí, že s ros-

toucím počtem buněk se zmenšuje spotřeba tepla při vytápění; z obr. 5 je vidět, že tomu tak skutečně je. Orientačně lze říci, že dům se 4 sekcemi má měrnou spotřebu tepla menší o 6,2 % a dům s 8 sekcemi menší o 10,3 %, v porovnání s hodnotou zjištěnou pro dům se 3 sekcemi (teoretický výpočet dává poněkud nižší hodnoty zmenšení tepelných ztrát, a to 2 % v prvním případě a 5 % ve druhém případě – viz [1.4] – teoretický výpočet poskytuje tedy hodnoty na straně bezpečnosti).



Obr. 5 Měrná spotřeba tepla budovy T 16 (T 16 S) v závislosti na počtu sekcí

## (5) Budova G 40 [2.21]

Typ G 40 je celopanelový dům pětipodlažní. Suterén je betonový monolitický. Nosným svislým prvkem je celostěnový panel. Po obvodě budovy jsou mezi příčné nosné panely kladeny panely obvodové, které mají funkci zavětrovací a distanční ve směru podélném. Tyto panely jsou zatíženy jen vlastní hmotností a hmotností panelů horních podlaží. Stropní deskové panely jsou kladeny rovnoběžně s průčelím a spočívají na nosných vnitřních panelech. Střecha je dvoupříčková. Charakteristické údaje budovy G 40 jsou v tab. 26.

Tab. 26 Charakteristické údaje budovy G 40

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Výška budovy                                | $h = 15,0 \text{ m}$                 |
| Základová plocha                            | $A_G = 650,0 \text{ m}^2$            |
| Šířka budovy                                | $\bar{s} = 14,2 \text{ m}$           |
| Délka budovy                                | $d = 45,80 \text{ m}$                |
| Obestavěný objem                            | $V_o = 9\,750 \text{ m}^3$           |
| Celková plocha oken                         | $A_o = 396,0 \text{ m}^2$            |
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $A = 0,12$                           |
| Plocha neprůsvitného obvodového pláště      | $A_e = 961,6 \text{ m}^2$            |
| Plocha střechy                              | $A_s = 288,4 \text{ m}^2$            |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $\Sigma A_i = 1\,774,0 \text{ m}^2$  |
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_i/V_o = 0,38 \text{ 1/m}$  |
| Součinitel prostupu tepla obvodových panelů | $U_e = 0,84 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |

| Název veličiny                    | Značka a rozměr                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Součinitel prostupu tepla oken    | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla střechy | $U_s = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla podlahy | $U_n = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |

Naměřená tepelná ztráta při vytápění v domě v Praze-Pankráci je v *tab. 27*.

*Tab. 27* Tepelná ztráta při vytápění domu G 40 (měření je z prosince roku 1956 a z ledna až března roku 1957)

| Měsíc    | $\theta_{em} (^{\circ}\text{C})$ | $Q \text{ (W)}$ |
|----------|----------------------------------|-----------------|
| Prosinec | 1,5                              | 112 285         |
| Leden    | 0,0                              | 121 668         |
| Únor     | 3,8                              | 88 043          |
| Březen   | 6,6                              | 80 778          |

Naměřené tepelné ztráty lze vyjádřit vztahem

$$Q = 120,14 - 6,52 \cdot \theta_{em}$$

kde  $Q$  je v kW. Při teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -15 ^{\circ}\text{C}$  je maximální tepelná ztráta  $Q = 217\,940 \text{ W}$  a průměrná teplota budovy je  $\theta_{is} = 18,4 ^{\circ}\text{C}$ . Vypočtené tepelné ztráty jsou  $Q = 239\,850 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 9,1 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 9,1 % menší než vypočtené.

Spotřeba tepla při vytápění za celé otopné období je  $Q_t = 484\,739 \text{ kWh/a}$ , měrná spotřeba tepla  $e_v = 49,7 \text{ kWh/(m}^3\text{a)}$ .

#### Poznámka:

Panelový dům G 40 patří k prvním panelovým domům stavěným hromadně. První série těchto domů byla postavena v Praze-Pankráci, Na Zelené lišce, a to 6 domů s 240 byty (1954 až 1955). Později se vyvíjely jiné typy – další varianty tohoto typu – G 32, G 40, G 55, G 56, G 57, G 58, G 59, GOS 64, GOS 66 a poslední typ, připravený v rámci tzv. nových konstrukčních soustav – NKS G. Nejrozšířenějším typem budovy G byl typ G 57, který byl vyhlášen jako celostátní typ.

#### (6) Budova T 06 B [2.22]

Jedná se o typový šestipodlažní dům T 06 B s rozponem nosných stěn 3,6 m, při konstrukční výšce 2,7 m a celkové výšce budovy 16,2 m. Nosné stěny jsou ze železobetonu o tloušťce 150 mm. Štítové panely jsou dvouvrstvé ve složení: vnitřní železobetonová vrstva o tloušťce 150 mm, vnější izolační vrstva z křemeliny o tloušťce 200 mm. Parapetní panel je z křemeliny o tloušťce 200 mm. Okna jsou dřevěná zdvojená. Pás oken je v místech nosných zdí přerušen meziokenními vložkami. Plochá střecha je jednoplášťová. Charakteristické údaje budovy jsou v *tab. 28*.

*Tab. 28* Charakteristické údaje budovy T 06 B

| Název veličiny    | Značka a rozměr              |
|-------------------|------------------------------|
| Ochlazovaný obvod | $o = 73,9 \text{ m}$         |
| Výška budovy      | $h = 16,2 \text{ m}$         |
| Základová plocha  | $A_G = 288,4 \text{ m}^2$    |
| Šířka budovy      | $\check{s} = 11,2 \text{ m}$ |

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Délka budovy                                | $d = 25,75 \text{ m}$                |
| Obestavěný objem                            | $V_o = 4\,673 \text{ m}^3$           |
| Celková plocha oken                         | $A_o = 335,6 \text{ m}^2$            |
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $A = 0,194$                          |
| Plocha neprůsvitného obvodového pláště      | $A_e = 961,6 \text{ m}^2$            |
| Plocha střechy                              | $A_s = 288,4 \text{ m}^2$            |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $\Sigma A_j = 1\,774,0 \text{ m}^2$  |
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_j/V_o = 0,38 \text{ 1/m}$  |
| Součinitel prostupu tepla obvodových panelů | $U_e = 0,84 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |

Naměřená spotřeba tepla při vytápění v budově ve Strakoniciích z období let 1992 až 1993 je v *tab. 29*.

*Tab. 29* Spotřeba tepla při vytápění šestipodlažní budovy T 06 B

| Rok                                             | 1992  | 1993  |
|-------------------------------------------------|-------|-------|
| Počet denostupňů $D$ ( $d \cdot K$ )            | 3 478 | 3 605 |
| Roční spotřeba $Q_t$ (GJ/r)                     | 898   | 794   |
| Spotřeba tepla na jeden denostupeň $E_D$ (GJ/D) | 0,258 | 0,220 |

Z hodnot v *tab. 29* je zjištěna průměrná hodnota měrné spotřeby tepla při vytápění

- a) v roce 1992:  $e_v = 53,4 \text{ kWh/(m}^3 \text{ a)}$ ,
- b) v roce 1993:  $e_v = 47,2 \text{ kWh/(m}^3 \text{ a)}$ .

Z porovnání hodnot spotřeby tepla na jeden denostupeň vyplývá, že v roce 1993 byla nižší o 14,7 %. Tohoto snížení bylo dosaženo po provedených úpravách a uplatněním regulace otopného zařízení. Maximální tepelná ztráta budovy, při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$ , tj. při  $\Delta t = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ , je  $Q = 85\,438 \text{ W}$ . Tepelná ztráta z naměřené spotřeby tepla je  $81\,600 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 4,5 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 4,5 % menší než vypočtené.

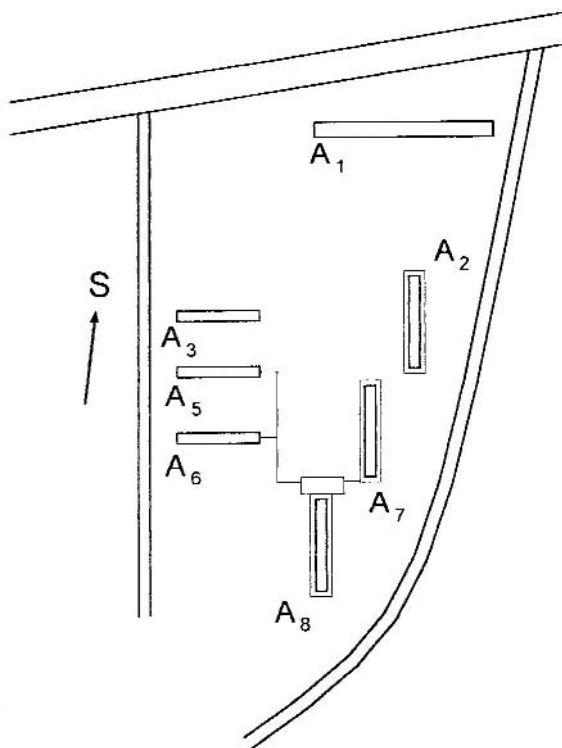
#### Poznámka:

Typové podklady T 06 B byly schváleny v roce 1962. Konstrukční systém je založen na příčně nosných panelových stěnách s podélným modulem 3,6 m. Vychází ze zásady funkčního rozdělení svislých konstrukcí na nosné a tepelně izolační nenosné obvodové konstrukce s výjimkou štítových stěn, které plní obě funkce. Představený obvodový plášť umožňoval materiálovou zaměnitelnost a nebyl součástí typových podkladů. Z tohoto důvodu vznikly konstrukční varianty (celostěnové panely, parapetní panely a meziokenní vložky) a řada oblastních (krajských) materiálových variant (vrstvený panel, pórobetonový, keramický, křemelinový, keramzitbetonový aj.). Rozdílnost řešení obvodových plášťů v krajských variantách vyvolávaly zásahy i do nosných konstrukcí; ty byly příčinou jednak rozšíření sortimentu prefabrikátů, jednak mezioblastní nezaměnitelnosti. Nedořešení vztahů mezi nosnou konstrukcí a obvodovým pláštěm se stalo v pozdějších letech jednou z hlavních příčin závad.

### (7) Experimentální domy na sídlišti Invalidovna Praha-Karlín [2.23]

Na obr. 6 je uvedeno rozmístění jednotlivých budov. Dům A1 má obestavěný objem 14 971 m<sup>3</sup> a 64 bytů. Budovy A2, A7, A8 jsou osmipodlažní; obestavěný objem každé z nich je 19 800 m<sup>3</sup> se 123 byty. Budovy A3, A5 a A6 jsou pětipodlažní s objemem 8 000 m<sup>3</sup> se 36 byty. Pro vytápění bytů v domech A1, A2, A3 (celkem 223 bytů) byla použita teplovodní soustava s nucenou cirkulací. Zdrojem tepla byl plynový automatický agregát Mora 662 s výkonem 7 kW. Čtyři byty v budově byly vybaveny teplovzdušným vytápěním s bytovým plynovým výměníkem Mora 680.

Podrobnější popis obytného domu A1: je to pětipodlažní dům bez výtahu s jednoramenným podélným schodištěm a skládá se ze šesti sekcí, rozdělených do dvou dilatačních celků.



Obr. 6 Rozmístění jednotlivých budov

Nosnou konstrukcí je krabicový systém s příčně nosnými stěnami, které tvoří mezibytové příčky. Světlý rozměr mezi stěnami je 6 m, tloušťka stěn je 200 mm. Panelové stěny mají rozměr (4,8 x 2,5) m a jsou vylehčeny kruhovými dutinami. Světlá výška místnosti je 2,5 m, konstrukční výška 2,7 m. Každou sekci tvoří tři pole (6 x 9,6) m; v prostředním poli je umístěno přímé schodiště, oddělené od bytového prostoru podélnou ztužující stěnou. Obvodová stěna je tvořena sendvičovými parapetními panely (6,2 x 1,05 x 0,15) m (beton, pěnové sklo, beton – všechny vrstvy po 50 mm) a průběžného okna. Plocha oken  $A_o = 1\,449\text{ m}^2$ , základová plocha  $A_G = 1\,109\text{ m}^2$ , šířka  $s = 9,9\text{ m}$ , délka  $d = 112,0\text{ m}$  a výška  $h = 13,5\text{ m}$ ; poměrná plocha oken typického podlaží je  $a = 0,26$ . Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla obvodového pláště je  $U_{pr} = 1,3\text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Výsledky měření spotřeby plynu a spotřeby tepla při vytápění jsou v tab. 30.

Tab. 30 Spotřeba tepla při vytápění budov A1, A2, A3 v otopném období 1962 – 1963, (B – označení budovy; n – počet bytů;  $V_b$  – obestavěný objem bytu ( $m^3$ ); SP – spotřeba plynu na byt za otopné období ( $m^3$ ); ST – spotřeba tepla na byt za otopné období

| B  | n   | $V_b$ ( $m^3$ ) | SP ( $m^3$ /(byt.a)) | ST (MWh/(byt.a)) |
|----|-----|-----------------|----------------------|------------------|
| A1 | 64  | 234             | 2 200                | 6,63             |
| A2 | 123 | 161             | 1 240                | 3,84             |
| A3 | 36  | 222             | 2 040                | 6,40             |

V budovách vytápěných centrálně (budovy A5 až A8) byla zjištěna spotřeba tepla na byt, o stejné velikosti jako v případě budov A1 až A3, a to 7,91 MWh/(byt.a), přičemž doba vytápění byla (18 až 24) h, proti době vytápění (6 až 8) h s lokální otopnou soustavou. Jestliže budeme uvažovat průměrnou hodnotu spotřeby při vytápění budov A1 až A3 ve výši 5,62 MWh/(byt.a), pak je zřejmé, že spotřeba tepla při ústředním vytápění byla asi o 30 % větší než spotřeba při lokálním vytápění.

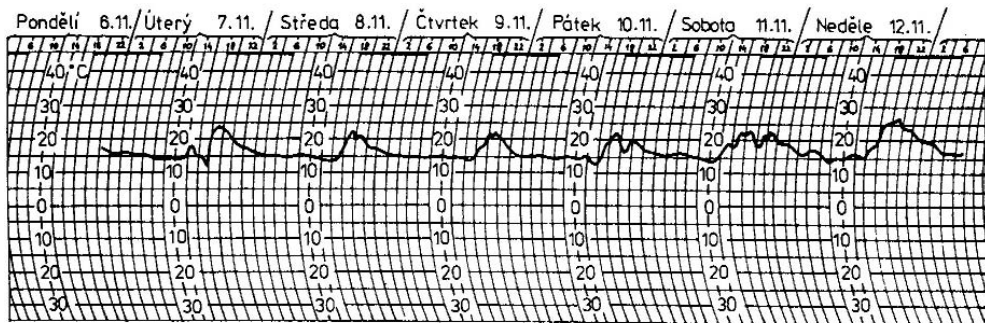
#### Poznámky:

1. Experiment Invalidovna byl významný mj. tím, že se na jeho základě zformoval typ panelového domu T 08 B; z hlediska vytápění pak tím, že zde bylo instalováno jednak bytové vytápění plynem se soustavami teplovodními nebo teplovzdušnými, jednak ústřední vytápění s plynovou kotelnou. To umožnilo porovnat spotřebu tepla při individuálním vytápění v jednotlivých bytech a v bytech zásobovaných teplem centrálně. Spolu s bytovými domy byly na sídlišti Invalidovna realizovány i stavby sociálního a obchodního vybavení (školka, obchodní místnosti, restaurace, prádelna aj.).
2. Při měření byly sledovány i některé faktory ovlivňující spotřebu tepla při vytápění. Zjistilo se, že spotřeba tepla nebyla dána jen geometrickými rozměry bytu a tepelně technickými vlastnostmi stavebních konstrukcí. Důležitou roli přitom hrál také počet členů rodiny, jejich zaměstnání, doba provozu vytápění apod. Doba provozu při individuálním vytápění, a tím i spotřeba tepla při vytápění, nebyla však stejná ani u stejného uživatele. Zvětšení počtu provozních hodin bylo zaznamenáno v době volna (neděle a svátky – v době měření nebyly ještě volné soboty) a v době nemoci některého z členů rodiny. Tato situace je patrná z obr. 7 a 8. Na obr. 7 je zaznamenána teplota vnitřního vzduchu v době od 6. 11. do 13. 11. 1962. Uživatelé zapojili vytápění jen ve večerních hodinách, po návratu ze zaměstnání. Na obr. 8 je zaznamenán průběh teploty v stejném bytě od 30. 1. 1963 do 4. 2. 1963. V této době byl v bytě nemocný člen rodiny, takže vytápění bylo v provozu 12 až 16 h, přičemž se teplota vnitřního vzduchu regulovala termostatem. U budov připojených k plynové kotelně bylo vytápění nepřetržité – viz obr. 9.
3. Z uvedeného rozdílu doby vytápění vyplývá také vpředu vyčíslený rozdíl ve spotřebě tepla při vytápění. Je však nutno připomenout, že menší spotřeba tepla v bytech budov s vlastní otopnou soustavou byla dosažena na úkor toho, že v nich nebyl zajištěn požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí. Z tohoto hlediska nejsou proto výsledky měření spotřeby tepla při vytápění v bytech s vlastní vytápěcí soustavou a ústřední vytápěcí soustavou vzájemně porovnatelné. Výsledek však zároveň ukazuje zajímavou situaci. Jestliže se rozhodne vlastník bytu s lokální vytápěcí soustavou šetřit výdaje na vytápění tím, že uzavře přívod tepla do bytu, pak má možnost, kterou vlastník bytu s ústřední vytápěcí soustavou nemá – pokud ovšem není zavedeno měření tepla v jednotlivých bytech. Avšak nevytápění, popř. nedostatečné vytápění bytu znamená, že tento byt je částečně vytápěn teplem proudícím do něj ze sousedních bytů – což znamená, že v daném bytě se sice šetří za teplo při vytápění, ale na úkor obyvatel sousedních bytů.
4. Z tab. 30 je také vidět, že spotřeba tepla v budově A2 je podstatně menší než v budovách A1 a A3. Důvodem byla skutečnost, že v bytech domu A2 se zdržovali uživatelé jen večer.

a)

|    | Dat.   | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | Hod.    | t °C  |
|----|--------|---|---|---|----|----|----|----|---------|-------|
| Po | 6.11.  |   |   |   |    |    |    |    | 5 3/4   | + 4,2 |
| Út | 7.11.  |   |   |   |    |    |    |    | 3 1/4   | + 4,0 |
| S  | 8.11.  |   |   |   |    |    |    |    | 3       | + 3,2 |
| Č  | 9.11.  |   |   |   |    |    |    |    | 3 1/4   | + 5,9 |
| Pá | 10.11. |   |   |   |    |    |    |    | 4       | + 6,7 |
| So | 11.11. |   |   |   |    |    |    |    | 7       | + 5,6 |
| N  | 12.11. |   |   |   |    |    |    |    | 4 1/2   | + 9,5 |
|    |        |   |   |   |    |    |    |    | ø 4 1/2 | + 5,6 |

b)

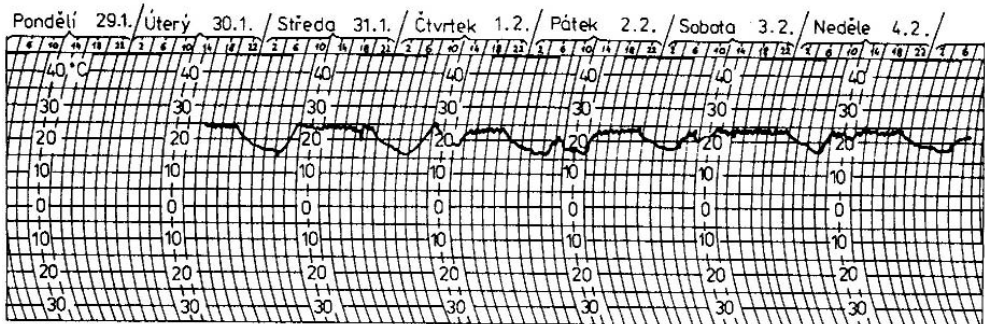


Obr. 7 Průběh teploty vzduchu v místnosti při krátké době vytápění

a)

|    | Dat.  | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | Hod.     | t °C  |
|----|-------|---|---|---|----|----|----|----|----------|-------|
| Po | 29.1. |   |   |   |    |    |    |    | 5 1/2    | - 4,6 |
| Út | 30.1. |   |   |   |    |    |    |    | 16 3/4   | - 7,6 |
| S  | 31.1. |   |   |   |    |    |    |    | 15 1/5   | - 7,2 |
| Č  | 1.2.  |   |   |   |    |    |    |    | 16       | - 6,8 |
| Pá | 2.2.  |   |   |   |    |    |    |    | 12 1/2   | - 3,9 |
| So | 3.2.  |   |   |   |    |    |    |    | 14 1/2   | - 1,3 |
| N  | 4.2.  |   |   |   |    |    |    |    | 12 2/4   | - 0,6 |
|    |       |   |   |   |    |    |    |    | ø 13 1/4 | - 4,6 |

b)



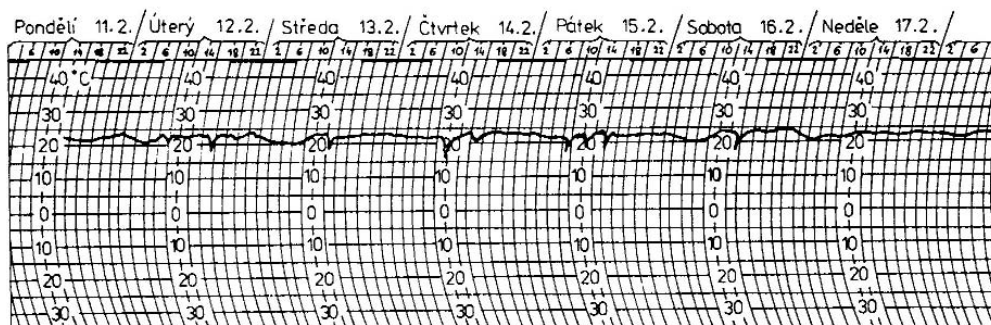
Obr. 8 Průběh teploty vzduchu v místnosti při středně dlouhé době vytápění



a)

|    | Dat.  | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | Hod. | t °C  |
|----|-------|---|---|---|----|----|----|----|------|-------|
| Po | 11.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | + 0,8 |
| Út | 12.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | + 0,6 |
| St | 13.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | - 0,6 |
| Č  | 14.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | - 1,4 |
| Pá | 15.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | - 2,2 |
| So | 16.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | - 2,6 |
| N  | 17.2. |   |   |   |    |    |    |    | 24   | - 2,4 |
|    |       |   |   |   |    |    |    | ø  | 24   | - 1,1 |

b)



Obr. 9 Průběh teploty vzduchu v místnosti při nepřetržitém vytápění

### (8) Budova T 08 B [2.24]

Jde o podobnou konstrukční soustavu jako T 06 B s tím rozdílem, že T 08 B má podélný modul 6,0 m (označuje se jako středně rozponový systém v porovnání s T 06 B, který se označuje za malorozponový systém). Charakteristické údaje budovy T 08 B jsou v tab. 31.

Tab. 31 Charakteristické údaje budovy T 08 B

| Název veličiny                         | Značka a rozměr                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                      | $o = 66,2 \text{ m}$                |
| Výška budovy                           | $h = 22,4 \text{ m}$                |
| Základová plocha                       | $A_G = 270,8 \text{ m}^2$           |
| Obestavěný objem                       | $V_o = 6\,066 \text{ m}^3$          |
| Celková plocha oken                    | $A_o = 392,0 \text{ m}^2$           |
| Poměrná plocha oken typického podlaží  | $a = 0,18$                          |
| Délka okenních spár                    | $\Sigma L = 1\,219 \text{ m}$       |
| Plocha neprůsvitného obvodového pláště | $A_e = 1\,091,0 \text{ m}^2$        |
| Plocha střechy                         | $A_s = 270,8 \text{ m}^2$           |
| Plocha podlahy nad suterénem           | $A_G = 270,8 \text{ m}^2$           |
| Celková ochlazovaná plocha             | $\Sigma A_j = 2\,024,5 \text{ m}^2$ |

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_i/V_o = 0,33 \text{ 1/m}$  |
| Součinitel prostupu tepla obvodových panelů | $U_e = 0,94 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |

Naměřená spotřeba tepla v objektu v Praze 4, Sulická ul. v roce 1994 je v *tab. 32*.

*Tab. 32* Spotřeba tepla a tepelné ztráty při vytápění domu T 08 B v r. 1994

| Měsíc         | $\theta_{em} (^{\circ}\text{C})$ | $Q_{lm} \text{ (GJ/měs)}$ | $Q_{lm} \text{ (kWh/měs)}$ | $Q \text{ (W)}$ |
|---------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| I             | 0,5                              | 167                       | 46 389                     | 62 351          |
| II            | 0,3                              | 173                       | 48 056                     | 71 512          |
| III           | 7,4                              | 143                       | 39 722                     | 53 390          |
| IV            | 9,5                              | 117                       | 32 500                     | 45 139          |
| X             | 7,7                              | 134                       | 37 222                     | 50 029          |
| XI            | 7,3                              | 128                       | 35 555                     | 49 382          |
| XII           | 3,0                              | 188                       | 52 222                     | 70 191          |
| <b>Celkem</b> |                                  | <b>1050</b>               | <b>291 666</b>             |                 |

Z hodnot v *tab. 32* je zjištěna průměrná hodnota měrné spotřeby tepla při vytápění  $e_v = 48,1 \text{ kWh/(m}^3 \text{ a)}$ . Celková spotřeba tepla za otopné období  $Q_l = 292 \text{ MWh/a} = 1\,051 \text{ GJ/a}$ . Ze závislosti průměrných tepelných ztrát v jednotlivých měsících  $Q \text{ (kW)}$  na průměrných měsíčních teplotách vnějšího vzduchu  $\theta_{em} (^{\circ}\text{C})$  byla stanovena rovnice tepelných ztrát

$$Q = 72,925 - 2,784 \cdot \theta_{em}$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 ^{\circ}\text{C}$  vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 106\,333 \text{ W}$ . Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 133\,665 \text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 4,5 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 4,5 % menší než vypočtené.

### (9) Budova VVÚ ETA [2.25]

Konstrukční soustava VVÚ ETA je otevřená celomontovaná panelová soustava na silikátové bázi; je určena pro bytovou výstavbu. Je řešena jako soustava příčných a podélných nosných stěn, vzájemně spojených v každém podlaží tuhou vodorovnou deskou složenou z jednotlivých panelů a závluky s výztuží, která tyto panely spojuje v jeden celek. Nenosné průčelí, obvykle podélné, je navrženo z vrstvených panelů parapetních, tepelně izolačních, zavěšených v každém podlaží a ze samostatně montovaných okenních pruhů a meziokenních vložek. Štítové stěny jsou řešeny jako stěny nosné, opatřené z vnější strany ochrannou betonovou vrstvou na polystyrenové izolaci. Jako střešní plášť slouží tepelně izolační dílce POLSID KSD se spádem 0,5 %, vytvořeným podsypem z prosáté strusky. Charakteristické údaje panelového domu VVÚ ETA jsou v *tab. 33*.

Tab. 33 Charakteristické údaje panelového domu VVÚ ETA

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                           | $o = 311,6 \text{ m}$                |
| Výška budovy                                | $h = 39,2 \text{ m}$                 |
| Základová plocha                            | $A_G = 1\,595,5 \text{ m}^2$         |
| Obestavěný objem                            | $V_o = 62\,544 \text{ m}^3$          |
| Celková plocha oken                         | $A_o = 4\,528,1 \text{ m}^2$         |
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $a = 0,2$                            |
| Plocha neprůsvitného obvodového pláště      | $A_e = 7\,686,6 \text{ m}^2$         |
| Plocha střechy                              | $A_s = 1\,595,5 \text{ m}^2$         |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $A_j = 15\,404 \text{ m}^2$          |
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_i/V_o = 0,25 \text{ 1/m}$  |
| Součinitel prostupu tepla obvodových panelů | $U_e = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |

Průměrné hodnoty tepelného příkonu budovy v jednotlivých měsících za 5 po sobě jdoucích otopných období (1984 až 1988) a příslušné průměrné měsíční teploty jsou uvedeny v tab. 34 (umístění budovy: Praha-Kobylisy).

Tab. 34 Tepelné příkony domu VVÚ ETA v jednotlivých měsících (průměrné hodnoty z otopných období 1984 až 1988)

| Měsíc | $\theta_{em} \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $Q \text{ (W)}$ |
|-------|----------------------------------------|-----------------|
| I     | -0,72                                  | 764 152         |
| II    | -2,06                                  | 747 637         |
| III   | 4,70                                   | 584 090         |
| IV    | 8,74                                   | 396 144         |
| V     | 11,8                                   | 379 637         |
| X     | 9,4                                    | 321 910         |
| XI    | 4,26                                   | 552 167         |
| XII   | 2,02                                   | 678 714         |

Na základě lineární regrese byla s použitím hodnot v tab. 34 vyhodnocena závislost průměrné tepelné ztráty  $Q \text{ (W)}$  v jednotlivých měsících na průměrné měsíční teplotě vnějšího vzduchu. Zjištěná závislost je dána vztahem:

$$Q = -33\,564,75 \cdot \theta_{em} + 713\,076,35$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$  jsou maximální tepelné ztráty  $Q = 1\,115\,853 \text{ W}$ . Tyto ztráty odpovídají průměrné teplotě budovy  $\theta_{is} = 21,2 \text{ }^\circ\text{C}$  a zahrnu-

jí i objem posledního ustupujícího podlaží, kde jsou umístěny sušárny, prádelny a strojovny výtahu. Tepelné ztráty vztažené jen na objem bytové části se musí proto redukovat jednak na vnitřní teplotu  $\theta_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (v tomto případě je redukce dána číselnou hodnotou 0,964), jednak odečtením tepelných ztrát, připadajících na poslední ustupující podlaží. Podle projektu ÚT činí tyto ztráty 4,6 % celkových ztrát, takže v tomto případě je redukce rovna 0,954.

Experimentálně zjištěné tepelné ztráty činí pak po redukci

$$Q = 1\,115\,853 \cdot 0,954 \cdot 0,964 = 1\,026\,201\text{ W.}$$

Měrná spotřeba tepla budovy před redukcí je  $e_v = 56,3\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$  a po redukci  $e_v = 49,8\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$ . Spotřeba tepla připadající na jeden denostupeň bez redukce je  $E_D = 3,1\text{ GJ/D}$ , po redukci  $E_D = 2,7\text{ GJ/D}$ .

#### (10) Budova Larsen & Nielsen (8 podlaží) [2.26]

Konstrukční soustava Larsen & Nielsen (L & N) byla určena pro výstavbu bytových domů v Praze. Je řešena jako systém nosných příčných a podélných stěn obecně se třemi rozpony: 2,7 m; 3,6 m a 4,5 m. Konstrukční výška soustavy je 2,8 m. Stropní železobetonové panely jsou plné o tloušťce 160 mm. Nosné stěnové panely mají tloušťku 150 mm. Příčky jsou betonové o tloušťce 65 mm. Obvodový plášť v průčelí je nenosný o celkové tloušťce 210 mm ve složení: 100 mm vnitřní železobetonová vrstva, 50 mm tepelná izolace z pěnového polystyrenu a 60 mm vnější betonová vrstva. Charakteristické údaje budovy L & N jsou v *tab. 35*.

*Tab. 35* Charakteristické údaje budovy Larsen & Nielsen (8 podlaží)

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                            |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Šířka budovy                                | $\check{s} = 12,42\text{ m}$               |
| Délka budovy                                | $d = 54,37\text{ m}$                       |
| Ochlazovaný obvod                           | $o = 133,58\text{ m}$                      |
| Výška budovy                                | $h = 22,4\text{ m}$                        |
| Základová plocha                            | $A_G = 675,3\text{ m}^2$                   |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $A_i = 4\,342,8\text{ m}^2$                |
| Obestavěný objem                            | $V_o = 15\,126,7\text{ m}^3$               |
| Geometrická charakteristika                 | $A_i/V_o = 0,287\text{ l/m}$               |
| Celková plocha oken                         | $A_o = 861,1\text{ m}^2$                   |
| Plocha obvodových panelů                    | $A_e = 2\,131,1\text{ m}^2$                |
| Plocha střechy                              | $A_s = 675,3\text{ m}^2$                   |
| Plocha podlahy                              | $A_G = 675,3\text{ m}^2$                   |
| Součinitel prostupu tepla obvodových panelů | $U_e = 0,84\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,8\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,60\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 1,0\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  |
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $a = 0,16$                                 |

Naměřené hodnoty spotřeby tepla a tepelné ztráty při vytápění z období let 1996 – 1999 jsou v *tab. 36* (místo budovy Praha-Modřany)

Tab. 36 Spotřeba tepla a tepelné ztráty při vytápění budovy Larsen & Nielsen (8 podlaží) v letech 1996 – 1999

| Rok  | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_{tm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| 1996 | I     | - 3,6              | 406,000           | 112 778            | 151 583 |
| 1996 | II    | - 2,1              | 448,328           | 124 535            | 185 320 |
| 1996 | III   | 0,6                | 370,800           | 103 000            | 138 441 |
| 1996 | IV    | 9,4                | 07,887            | 57 774             | 80 242  |
| 1996 | X     | 9,9                | 198,000           | 5 000              | 73 925  |
| 1996 | XI    | 5,1                | 277,200           | 77 000             | 106 944 |
| 1996 | XII   | - 4,1              | 532,800           | 148 000            | 198 925 |
| 1997 | I     | - 3,8              | 446,400           | 124 000            | 166 667 |
| 1997 | II    | 3,6                | 317,736           | 88 260             | 131 339 |
| 1997 | III   | 5,3                | 297,864           | 82 740             | 111 210 |
| 1997 | IV    | 6,2                | 262,800           | 73 000             | 101 389 |
| 1997 | X     | 7,4                | 234,900           | 65 250             | 87 702  |
| 1997 | XI    | 3,3                | 181,296           | 50 360             | 69 944  |
| 1997 | XII   | 1,9                | 366,444           | 101 790            | 136 814 |
| 1998 | I     | 1,4                | 368,316           | 102 310            | 137 513 |
| 1998 | II    | 4,5                | 280,152           | 77 820             | 115 803 |
| 1998 | III   | 4,7                | 291,996           | 81 110             | 109 019 |
| 1998 | IV    | 10,8               | 146,052           | 40 570             | 56 347  |
| 1998 | X     | 9,2                | 201,288           | 55 913             | 75 152  |
| 1998 | XI    | 1,5                | 336,144           | 93 373             | 129 685 |
| 1998 | XII   | 0,4                | 362,052           | 100 570            | 135 175 |
| 1999 | I     | 1,3                | 379,296           | 105 360            | 141 613 |
| 1999 | II    | - 0,1              | 378,612           | 105 170            | 156 503 |
| 1999 | III   | 5,8                | 277,740           | 77 150             | 103 696 |
| 1999 | IV    | 9,9                | 170,172           | 47 270             | 65 653  |
| 1999 | X     | 9,3                | 189,924           | 52 757             | 70 909  |
| 1999 | XI    | 3,1                | 321,732           | 89 370             | 124 125 |
| 1999 | XII   | 1,6                | 363,420           | 100 950            | 135 685 |

Z hodnot tepelných ztrát v tab. 36 je stanovena závislost tepelných ztrát  $Q$  (W) na průměrné měsíční teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_{em}$  (°C):

$$Q = -7\,872,4 \cdot \theta_{em} + 146\,580$$

Při teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12$  °C vychází maximální tepelné ztráty 8 podlažní budovy  $Q = 241\,049$  W. Průměrná teplota budovy je  $\theta_{is} = 18,6$  °C. Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 248\,021$  W. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 2,8 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 2,8 % menší než vypočtené.

V tab. 37 jsou vyhodnoceny denostupně v jednotlivých letech.

Tab. 37 Počet denostupňů (budova Larsen & Nielsen (8 podlaží) v letech 1996 – 1999

| Rok  | $\theta_{is}$ (°C) | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $d\theta$ (°C) | $D$ (d.K)    |
|------|--------------------|-------|--------------------|----------------|--------------|
|      |                    | I     | - 3,6              | 22,9           | 710          |
|      |                    | II    | - 2,1              | 21,4           | 599          |
|      |                    | III   | 0,6                | 18,7           | 580          |
| 1996 | 19,3               | IV    | 9,4                | 9,9            | 297          |
|      |                    | X     | 9,9                | 9,4            | 291          |
|      |                    | XI    | 5,1                | 14,2           | 426          |
|      |                    | XII   | - 4,1              | 23,4           | 725          |
|      |                    |       |                    | <b>celkem</b>  | <b>3 628</b> |
| Rok  | $\theta_{is}$ (°C) | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $d\theta$ (°C) | $D$ (d.K)    |
|      |                    | I     | - 3,8              | 24,2           | 750          |
|      |                    | II    | 3,6                | 16,8           | 470          |
|      |                    | III   | 5,3                | 15,1           | 468          |
| 1997 | 20,4               | IV    | 6,2                | 14,2           | 426          |
|      |                    | X     | 7,4                | 13,0           | 403          |
|      |                    | XI    | 3,3                | 17,1           | 513          |
|      |                    | XII   | 1,9                | 18,5           | 574          |
|      |                    |       |                    | <b>celkem</b>  | <b>3 604</b> |
| Rok  | $\theta_{is}$ (°C) | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $d\theta$ (°C) | $D$ (d.K)    |
|      |                    | I     | 1,4                | 17,3           | 536          |
|      |                    | II    | 4,5                | 14,2           | 398          |
|      |                    | III   | 4,7                | 14,0           | 434          |
| 1998 | 18,7               | IV    | 10,8               | 7,9            | 237          |
|      |                    | X     | 9,2                | 9,5            | 295          |
|      |                    | XI    | 1,5                | 17,2           | 516          |
|      |                    | XII   | 0,4                | 18,3           | 567          |
|      |                    |       |                    | <b>celkem</b>  | <b>2 983</b> |
| Rok  | $\theta_{is}$ (°C) | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $d\theta$ (°C) | $D$ (d.K)    |
|      |                    | I     | 1,3                | 16,0           | 496          |
|      |                    | II    | - 0,1              | 17,4           | 487          |
|      |                    | III   | 5,8                | 11,5           | 357          |
| 1999 | 17,3               | IV    | 9,9                | 7,4            | 222          |

| Rok | $\theta_{is}$ (°C) | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $d\theta$ (°C) | $D$ (d.K)    |
|-----|--------------------|-------|--------------------|----------------|--------------|
|     |                    | X     | 9,3                | 8,0            | 248          |
|     |                    | XI    | 3,1                | 14,2           | 426          |
|     |                    | XII   | 1,6                | 15,7           | 487          |
|     |                    |       |                    | <b>celkem</b>  | <b>2 723</b> |

Souhrn údajů o spotřebě tepla v jednotlivých letech s počtem denostupňů je v *tab. 38*.

*Tab. 38* Roční spotřeba tepla  $Q_l$  (GJ/a) a spotřeba na jeden denostupeň  $E_D$  (GJ/D) (budova Larsen & Nielsen, 8 podlaží) v letech 1996 až 1999

| Rok  | $D$ (d · K) | $Q_l$ (GJ/a)  | $E_D$ (GJ/D) |
|------|-------------|---------------|--------------|
| 1996 | 3 628       | 2 441         | 0,672        |
| 1997 | 3 604       | 2 107         | 0,585        |
| 1998 | 2 983       | 1 986         | 0,666        |
| 1999 | 2 723       | 2 081         | 0,764        |
|      |             | <b>průměr</b> | <b>0,672</b> |

Průměrná spotřeba tepla budovy za uvedené období je  $Q_l = 2154$  GJ/a = 598,3 MWh/a, takže měrná spotřeba tepla je  $e_v = 39,6$  kWh/(m<sup>3</sup> a). Průměrná spotřeba tepla na jeden denostupeň je  $E_D = 0,672$  GJ/D, přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,063$  GJ/D, tj.  $\pm 9,4$  %.

### (11) Budova BANKS [2.27]

Domy stavební soustavy BANKS mají příčné nosné stěny s rozpory 2,4 m; 3,0 m a 4,2 m. Konstrukční výška je 2,8 m. Nosné panely jsou ze železobetonu o tloušťce 150 mm. Železobetonové příčky mají tloušťku 80 mm. Stropní panely jsou plné o tloušťce 150 mm. Obvodové průčelní a štítové panely mají stejnou tloušťku 290 mm a toto složení: 150 mm vnitřní železobetonová vrstva, 80 mm vnitřní tepelně izolační vrstva z expandovaného polystyrenu a 60 mm vnější železobetonová vrstva. Charakteristické údaje budovy BANKS jsou v *tab. 39*.

*Tab. 39* Charakteristické údaje budovy BANKS (8 podlaží)

| Název veličiny                                | Značka a rozměr                                         |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                             | $o = 87,4$ m                                            |
| Výška budovy                                  | $h = 22,4$ m                                            |
| Základová plocha                              | $A_G = 306,2$ m <sup>2</sup>                            |
| Obestavěný objem                              | $V_o = 6\,858,9$ m <sup>3</sup>                         |
| Celková plocha oken                           | $A_o = 506,2$ (428,5) m <sup>2</sup>                    |
| Poměrná plocha oken typického podlaží         | $a = 0,206$ (0,175) <sup>*)</sup>                       |
| Neprůsvitná plocha svislého obvodového pláště | $A_e = 1\,451,7$ (1 529,3) m <sup>2</sup> <sup>*)</sup> |
| Celková ochlazovaná plocha                    | $\Sigma A_l = 2\,570,2$ m <sup>2</sup>                  |
| Geometrická charakteristika                   | $\Sigma A_l/V_o = 0,375$ 1/m                            |

| Název veličiny                                                                                    | Značka a rozměr                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla neprůsvitné části obvodového pláště<br>• původní stav | $U_{e1} = 0,63 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| • izolace jen štítů                                                                               | $U_{e2} = 0,56 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| • izolace celého objektu                                                                          | $U_{e3} = 0,38 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla střechy                                                                 | $U_s = 0,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |
| Součinitel prostupu tepla podlahy                                                                 | $U_n = 0,77 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |
| Součinitel prostupu oken                                                                          | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$     |
| Vnitřní teplota                                                                                   | $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  |
| Vnější teplota                                                                                    | $\theta_e = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ |

\*) Hodnoty v závorkách platí pro dům se schodišťovým obvodovým panelem se 2 okny 120/90 na 1 podlaží (jako náhrada za celé prosklené schodiště)

Výsledky měření tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění byly získány v Jablonci nad Nisou a jsou uvedeny pro tyto varianty:

**Varianta 1** – představuje výsledky získané v roce 1975 a 1976 u osmipodlažní budovy BANKS s původními tepelně technickými vlastnostmi, jsou uvedeny v *tab. 40*.

*Tab. 40* Spotřeba tepla při vytápění panelového domu BANKS o 8 podlažích a 32 bytových jednotkách v letech 1975 až 1976 (varianta 1)

| Datum                  | $\theta_{em} \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $Q_{id} \text{ (MWh/den)}$ | $Q \text{ (W)}$ |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------|
| 23. 12. – 29. 12. 1975 | - 3,8                                  | 2,652                      | 110 485         |
| 30. 12. – 5. 1. 1976   | - 1,8                                  | 2,2097                     | 92 070          |
| 6. 1. – 12. 1. 1976    | - 2,1                                  | 2,6051                     | 108 540         |
| 13. 1. – 19. 1. 1976   | - 1,0                                  | 2,3144                     | 96 432          |
| 20. 1. – 26. 1. 1976   | - 2,6                                  | 2,5005                     | 104 180         |
| 27. 1. – 2. 2. 1976    | - 4,3                                  | 2,652                      | 110 485         |
| 3. 2. – 9. 2. 1976     | - 9,7                                  | 3,0258                     | 125 990         |
| 10. 2. – 16. 2. 1976   | - 4,0                                  | 2,2911                     | 95 462          |
| 17. 2. – 23. 2. 1976   | - 3,4                                  | 2,8377                     | 118 230         |
| 24. 2. – 2. 3. 1976    | - 3,2                                  | 2,2562                     | 94 089          |
| 3. 3. – 8. 3. 1976     | - 1,3                                  | 2,3841                     | 99 339          |
| 9. 3. – 15. 3. 1976    | - 7,6                                  | 2,6982                     | 112 420         |
| 16. 3. – 22. 3. 1976   | - 5,6                                  | 2,5469                     | 106 120         |
| 23. 3. – 29. 3. 1976   | - 6,8                                  | 2,6167                     | 109 030         |
| 30. 3. – 5. 4. 1976    | 1,7                                    | 2,1864                     | 91 101          |
| 6. 4. – 12. 4. 1976    | 4,4                                    | 1,5119                     | 62 995          |
| 13. 4. – 19. 4. 1976   | 1,2                                    | 2,2795                     | 94 978          |
| 20. 4. – 26. 4. 1976   | 4,6                                    | 1,4305                     | 59 603          |
| 27. 4. – 3. 5. 1976    | 1,8                                    | 2,1632                     | 90 132          |



| Datum                | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{td}$ (MWh/den) | $Q$ (W) |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 4. 5. – 10. 5. 1976  | 2,3                | 2,1283             | 88 678  |
| 11. 5. – 17. 5. 1976 | 10,3               | 0,3838             | 15 991  |
| 18. 5. – 24. 5. 1976 | 8,7                | 0,4419             | 18 414  |

Závislost tepelných ztrát  $Q$  (W) na průměrné teplotě vnějšího vzduchu je dána vztahem

$$Q = -5\,096,4 \cdot \theta_{em} + 86\,585$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -18$  °C vychází maximální tepelná ztráta budovy  $Q = 178\,320$  W a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 17$  °C. Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 181\,195$  W. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 1,6 %, naměřené hodnoty jsou o 1,6 % menší než vypočtené.

**Varianta 2** – je stejná jako varianta 1, avšak budova byla dodatečně izolována a také byly utěsněny zejména lodžiové dřevěné panely. Výsledky měření jsou v *tab. 41*.

*Tab. 41* Spotřeba tepla při vytápění panelového domu BANKS o 8 podlažích a 32 bytových jednotkách v letech 1998 až 2000 (varianta 2)

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{lm}$ (GJ/měs) | $Q_{lm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|---------------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
|               | 1     | 0,1                | 210               | 58 333             | 78 405  |
|               | 2     | 3,2                | 157               | 43 611             | 64 897  |
|               | 3     | 2,4                | 157               | 43 611             | 58 617  |
|               | 4     | 9,4                | 78                | 21 667             | 30 092  |
|               | 5     | 12,9               | 37                | –                  | –       |
| 1998          | 6 – 8 | –                  | 41                | –                  | –       |
|               | 9     | 12,1               | 45                | –                  | –       |
|               | 10    | 7,7                | 117               | 32 500             | 43 683  |
|               | 11    | - 0,2              | 173               | 48 055             | 66 744  |
|               | 12    | - 1,1              | 189               | 52 500             | 70 564  |
|               |       |                    |                   |                    |         |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 007</b>      |                    |         |
|               | 1     | - 0,1              | 184               | 51 111             | 68 698  |
|               | 2     | - 1,4              | 201               | 55 833             | 83 085  |
|               | 3     | 4,1                | 125               | 34 722             | 46 670  |
|               | 4     | 7,8                | 69                | 19 167             | 26 620  |
|               | 5     | –                  | 23                | –                  | –       |
| 1999          | 6 – 8 | –                  | 43                | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 7                 | –                  | –       |
|               | 10    | 8,0                | 92                | 25 555             | 34 349  |
|               | 11    | 1,8                | 130               | 36 111             | 50 154  |

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{lm}$ (GJ/měs) | $Q_{lm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|---------------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
|               | 12    | 0,0                | 168               | 46 667             | 62 724  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 012</b>      |                    |         |
|               | 1     | -1,4               | 200               | 55 555             | 74 671  |
|               | 2     | 1,9                | 143               | 39 722             | 57 072  |
|               | 3     | 3,2                | 140               | 38 889             | 52 270  |
| 2000          | 4     | 10,6               | 57                | 15 833             | 21 991  |
|               | 5     | –                  | 16                | –                  | –       |
|               | 6 – 8 | –                  | 28                | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 37                | –                  | –       |
|               | 10    | 11,1               | 61                | 16 944             | 22 775  |
|               | 11    | 6,3                | 101               | 28 055             | 38 966  |
|               | 12    | 1,4                | 168               | 46 667             | 62 724  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>923</b>        |                    |         |

Závislost tepelných ztrát  $Q$  (W) na průměrné měsíční teplotě má tvar

$$Q = -4\,310,6 \cdot \theta_{em} + 68\,486$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -18$  °C vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 146\,077$  W a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 15,9$  °C. Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 177\,331$  W. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 17,6 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 17,6 % menší než vypočtené. To je poměrně značný rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými tepelnými ztrátami – v porovnání s případy uvedenými výše. Jedním z činitelů ovlivňujících tuto skutečnost je zřejmě poměrně nízká průměrná teplota budovy. V porovnání s variantou 1 je o 1,1 °C nižší. Jestliže by se provedla korekce tepelné ztráty stanovené pro variantu 2 na průměrnou teplotu budovy ve variantě 1, pak se tento rozdíl zmenší na 15,0 %.

**Varianta 3** – je dispozičně stejná jako varianta 1, avšak místo proskleného schodiště mají domy schodišťové panely se 2 okny 120/90 na podlaží. Plocha oken je tak menší – z původní hodnoty  $A_o = 506,1$  m<sup>2</sup> se zmenšila na hodnotu  $A_o = 428,5$  m<sup>2</sup> · a naopak, plocha neprůsvitné části obvodového pláště se zvětšila z původní hodnoty  $A_e = 1\,451,7$  m<sup>2</sup> na  $A_e = 1\,529,3$  m<sup>2</sup>. Budova je dodatečně izolována a lodžiové panely jsou utěsněny. Výsledky měření jsou v tab. 42.

Tab. 42 Spotřeba tepla při vytápění panelového domu BANKS o 8 podlažích a 32 bytových jednotkách v letech 1998 až 2000 (varianta 3)

| Rok  | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{lm}$ (GJ/měs) | $Q_{lm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| 1998 | 1     | 0,1                | 170               | 47 222             | 63 471  |
|      | 2     | 3,2                | 125               | 34 722             | 51 670  |
|      | 3     | 2,4                | 146               | 40 555             | 54 510  |
|      | 4     | 9,4                | 67                | 18 611             | 25 849  |
|      | 5     | 12,9               | 35                | –                  | –       |

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{lm}$ (GJ/měs) | $Q_{lm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|---------------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| 1998          | 6 – 8 | –                  | 31                | –                  | –       |
|               | 9     | 12,1               | 40                | –                  | –       |
|               | 10    | 7,7                | 79                | 21 944             | 29 485  |
|               | 11    | - 0,2              | 166               | 46 111             | 64 043  |
|               | 12    | - 1,1              | 198               | 55 000             | 73 945  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 057</b>      |                    |         |
|               | 1     | - 0,1              | 186               | 51 667             | 69 444  |
|               | 2     | - 1,4              | 191               | 53 055             | 78 951  |
|               | 3     | 4,1                | 148               | 41 111             | 55 257  |
|               | 4     | 7,8                | 99                | 27 500             | 38 194  |
|               | 5     | –                  | 18                | –                  | –       |
| 1999          | 6 – 8 | –                  | 4                 | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 9                 | –                  | –       |
|               | 10    | 8,0                | 103               | 28 611             | 38 456  |
|               | 11    | 1,8                | 159               | 41 167             | 61 342  |
|               | 12    | 0,0                | 179               | 49 722             | 66 831  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 096</b>      |                    |         |
|               | 1     | - 1,4              | 219               | 60 833             | 81 765  |
|               | 2     | 1,9                | 161               | 44 722             | 64 256  |
|               | 3     | 3,2                | 156               | 43 333             | 58 244  |
| 2000          | 4     | 10,6               | 64                | 17 778             | 24 691  |
|               | 5     | –                  | 17                | –                  | –       |
|               | 6 – 8 | –                  | 23                | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 35                | –                  | –       |
|               | 10    | 11,1               | 64                | 17 778             | 24 691  |
|               | 11    | 6,3                | 97                | 26 944             | 37 423  |
|               | 12    | 1,4                | 161               | 44 722             | 64 256  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>997</b>        |                    |         |

Závislost tepelných ztrát  $Q$  (W) na průměrné měsíční teplotě vnějšího vzduchu má tvar

$$Q = -4298,6 \cdot \theta_{em} + 68\,967$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -18$  °C vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 146\,342$  W a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 16$  °C. Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 174\,792$  W. Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je 16,2 %, tj. naměřené hodnoty jsou o 16,2 % menší než vypočtené. Po redukci tepelných ztrát na průměrnou teplotu budovy 17 °C se zmenší rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami na 13,8 %.

**Varianta 4** – je stejná jako varianta 3, avšak s tím rozdílem, že budova má dodatečně tepelně izolované pouze štítové panely (tedy fasádní a lodžiové panely dodatečně izolovány nejsou). Výsledky měření jsou v *tab. 43*.

Tab. 43 Spotřeba tepla při vytápění panelového domu BANKS o 8 podlažích a 32 bytových jednotkách v letech 1998 až 2000 (varianta 4)

| Rok           | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{lm}$ (GJ/měs) | $Q_{lm}$ (kWh/měs) | $Q$ (W) |
|---------------|-------|--------------------|-------------------|--------------------|---------|
| 1998          | 1     | 0,1                | 209               | 58 065             | 78 032  |
|               | 2     | 3,2                | 172               | 47 778             | 71 098  |
|               | 3     | 2,4                | 175               | 48 611             | 65 397  |
|               | 4     | 9,4                | 86                | 23 889             | 33 179  |
|               | 5     | 12,9               | 44                | 12 222             | 16 427  |
|               | 6 – 8 | –                  | 49                | –                  | –       |
|               | 9     | 12,1               | 56                | 15 555             | 21 684  |
|               | 10    | 7,7                | 114               | 31 667             | 42 563  |
|               | 11    | - 0,2              | 186               | 51 667             | 71 759  |
|               | 12    | - 1,1              | 236               | 65 555             | 88 112  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 327</b>      |                    |         |
| 1999          | 1     | - 0,1              | 241               | 66 944             | 89 797  |
|               | 2     | - 1,4              | 204               | 56 667             | 84 325  |
|               | 3     | 4,1                | 162               | 45 000             | 60 484  |
|               | 4     | 7,8                | 101               | 28 055             | 38 966  |
|               | 5     | –                  | 31                | 8 611              | –       |
|               | 6 – 8 | –                  | 10                | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 16                | 4 444              | –       |
|               | 10    | 8,0                | 116               | 32 222             | 43 389  |
|               | 11    | 1,8                | 173               | 48 055             | 66 744  |
|               | 12    | 0,0                | 233               | 64 722             | 86 992  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 287</b>      |                    |         |
|               | 1     | - 1,4              | 244               | 67 778             | 91 099  |
|               | 2     | 1,9                | 186               | 51 667             | 74 234  |
|               | 3     | 3,2                | 200               | 55 555             | 74 671  |
|               | 4     | 10,6               | 70                | 19 444             | 27 006  |
|               | 5     | –                  | 13                | –                  | –       |
|               | 6 – 8 | –                  | 42                | –                  | –       |
|               | 9     | –                  | 53                | 14 722             | –       |
|               | 10    | 11,1               | 87                | 24 167             | 32 482  |
|               | 11    | 6,3                | 143               | 39 722             | 55 170  |
|               | 12    | 1,4                | 211               | 58 611             | 78 778  |
| <b>Celkem</b> |       |                    | <b>1 249</b>      |                    |         |

Závislost tepelných ztrát  $Q$  (W) na průměrných měsíčních teplotách má tvar

$$Q = - 4\,949,5 \cdot \theta_{em} + 82\,023$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$  vychází maximální tepelná ztráta  $Q = 171\,114\text{ W}$  a průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vypočtená tepelná ztráta budovy je  $Q = 170\,726\text{ W}$ . Rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami je  $-0,2\text{ }\%$ , tj. naměřené hodnoty jsou o  $0,2\text{ }\%$  větší než vypočtené. Po redukci tepelných ztrát na průměrnou teplotu budovy  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  se zvětší rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami na hodnotu  $1,4\text{ }\%$ .

Z porovnání tepelných ztrát lze zjistit, že varianta 2 a 3 vykazuje, v důsledku dodatečné tepelné izolace budovy, zmenšení tepelných ztrát proti původnímu stavu o  $15,4$  a  $15,5\text{ }\%$ , zatímco varianta 4 jen o  $2,9\text{ }\%$ . Z toho je zřejmé, že dodatečné tepelné izolování jen štítu budovy nepřináší významný efekt z hlediska zmenšení tepelných ztrát.

Souhrn vypočtených a naměřených hodnot roční spotřeby tepla je uveden v tab. 44.

Tab. 44 Porovnání hodnot roční spotřeby tepla podle výpočtu a měření u jednotlivých variant osmipodlažního panelového domu BANKS o 32 bytových jednotkách

| Varianta | Výpočet (GJ/a) <sup>*)</sup> | Výsledky měření (GJ/a) |
|----------|------------------------------|------------------------|
| 2        | 1 025                        | 1 062                  |
| 3        | 975                          | 1 050                  |
| 4        | 1 188                        | 1 288                  |

<sup>\*)</sup> Hodnoty zahrnují navíc spotřebu tepla v suterénu ( $6\text{ }\%$ ) a v přechodném a letním období ( $10\text{ }\%$ )

Z tab. 44 je zřejmé to, co bylo již konstatováno u tepelných ztrát, a to, že oba dodatečně izolované domy (varianta 2, 3) mají podstatně menší spotřebu tepla než dům, u něhož je dodatečně izolovaný pouze štít (varianta 4).

Z tab. 44 je také vidět, že naměřené hodnoty spotřeby tepla při vytápění jsou o  $3,5$  až  $7,8\text{ }\%$  vyšší než hodnoty vypočtené. To je způsobeno mimo jiné tím, že se vytápění domů uskutečňuje nejen v přechodném, ale dokonce i v letním období, poklesnou-li teploty vnějšího vzduchu pod přijatelnou hodnotu – viz měsíce 6 až 9 v tab. 41 až 43. Dalším důvodem tohoto stavu může být větší infiltrace, než byla uvažována ve výpočtu.

Měrná spotřeba tepla jednotlivých variant je

$$e_{V2} = 43,0\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$$

$$e_{V3} = 42,5\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$$

$$e_{V4} = 52,2\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$$

Měrná spotřeba tepla budovy s původními tepelně technickými vlastnostmi je

$e_{V1} = 53,8\text{ kWh}/(\text{m}^3\text{ a})$ , což znamená, porovná-li se tato hodnota s hodnotami vpředu zjištěnými, že se dosáhlo dodatečným izolováním budov u varianty 2 a 3 podstatného zmenšení měrné spotřeby tepla při vytápění; avšak ani toto zmenšení nezajišťuje spotřebu tepla na úrovni současných požadavků.

#### Poznámka:

Jablonec nad Nisou, kde jsou uvedené varianty osmipodlažního panelového domu BANKS o 32 bytových jednotkách umístěny, leží v oblasti intenzivních větrů, což má vliv na zvýšení tepelné ztráty, připadající na přirozenou infiltraci vzduchu. To potvrzují i výsledky měření výměny vzduchu [2.27]. Proto při následných úpravách byla věnována pozornost zlepšení těsnosti obvodového pláště budovy, zejména těsnosti lodžiových panelů.

## (12) Budova B 70 [2.28]

Stavební soustava B 70 byla určena pro výstavbu bytových domů do 8 podlaží. Rozpon nosných stěn je 2,4 m; 3,6 m a 4,8 m. Konstrukční výška podlaží je 2,8 m. Nosné stěny jsou z železobetonu o tloušťce 150 mm. Obvodové panely o celkové tloušťce 270 mm jsou železobetonové sendviče se střední tepelně izolační vrstvou z pěnového polystyrenu o tloušťce 60 mm (tloušťky jednotlivých vrstev 150/60/60 mm). Střecha budovy je jednoplášťová, izolovaná deskami z expandovaného polystyrenu o tloušťce 50 mm a deskami POLSID. Okna jsou dřevěná, zdvojená, otočná. Dům byl dodatečně izolován. Na dodatečnou izolaci svislých panelů byl použit kontaktní fasádní systém STO-Therm-Classic s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu o tloušťce 60 mm, se sníženou hořlavostí. Charakteristické údaje budovy B 70 jsou v tab. 45.

Tab. 45 Charakteristické údaje budovy B 70 (8 podlaží)

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                               |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                           | $o = 82,3 \text{ m}$                          |
| Základová plocha                            | $A_G = 416,9 \text{ m}^2$                     |
| Výška budovy                                | $h = 22,4 \text{ m}$                          |
| Délka budovy                                | $d = 54,37 \text{ m}$                         |
| Objem budovy                                | $V = 9\,338,5 \text{ m}^3$                    |
| Celková plocha oken                         | $A_o = 573,6 \text{ m}^2$                     |
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $a = 0,17$                                    |
| Plocha svislého obvodového pláště           | $A_e = 1\,270,0 \text{ m}^2$                  |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $\Sigma A_i = 2\,674,4 \text{ m}^2$           |
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_i/V = 0,29 \text{ 1/m}$             |
| Plocha střechy                              | $A_s = 416,19 \text{ m}^2$                    |
| Plocha podlahy nad suterénem                | $A_G = 416,19 \text{ m}^2$                    |
| Součinitel prostupu tepla obvodového pláště | $U_e = 0,71 \text{ (0,36) W/(m}^2\text{K)}^*$ |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$           |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,41 \text{ (0,26) W/(m}^2\text{K)}^*$ |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$           |

\*) Hodnota v závorce platí po provedené dodatečné tepelné izolaci panelů.

V roce 1995 bylo provedeno měření spotřeby tepla a tepelných ztrát panelové budovy B 70 v Ústí n. L. po zateplení – viz tab. 46.

Tab. 46 Spotřeba tepla a tepelné ztráty při vytápění panelového domu B 70 (měření v roce 1995)

| Měsíc | $\theta_{em} \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $D \text{ (d.K)}$ | $Q_{lm} \text{ (GJ/měs)}$ | $Q \text{ (kW)}$ |
|-------|----------------------------------------|-------------------|---------------------------|------------------|
| 1     | -1,6                                   | 660               | 291                       | 108,6            |
| 2     | 3,8                                    | 445               | 202                       | 85,5             |
| 3     | 3,0                                    | 518               | 166                       | 62,0             |
| 4     | 8,5                                    | 336               | 108                       | 41,7             |

| Měsíc         | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d.K)    | $Q_{lm}$ (GJ/měs)         | $Q$ (kW) |
|---------------|--------------------|--------------|---------------------------|----------|
| 5             | –                  | –            | 45                        | –        |
| 9             | –                  | –            | 66                        | –        |
| 10            | 10,6               | 282          | 123                       | 45,9     |
| 11            | 0,6                | 573          | 212                       | 81,8     |
| 12            | - 2,8              | 698          | 247                       | 92,2     |
| <b>Průměr</b> |                    | <b>3 512</b> | <b>1 460<sup>*)</sup></b> |          |

\*) Pro porovnání vypočtených a naměřených hodnot jsou odečteny údaje platné pro pátý a devátý měsíc, takže celková spotřeba tepla v tomto případě je 1349 GJ/a

Závislost tepelných ztrát  $Q$  (kW) na průměrných měsíčních teplotách  $\theta_{em}$  má tvar

$$Q = 88,053 - 4,4647 \cdot \theta_{em}$$

Při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12$  °C je maximální tepelná ztráta  $Q = 141\,630$  W, přičemž průměrná teplota budovy  $\theta_{is} = 19,7$  °C.

Průměrná spotřeba tepla budovy je  $Q_l = 1\,349$  GJ/a, popř. 1 460 GJ/a. Vzhledem k tomu, že při výpočtu se neuvažovala spotřeba tepla připadající na suterénní vytápěné prostory, upravuje se naměřená hodnota vynásobením činitelem 0,94 (podle projektové dokumentace činí spotřeba tepla v těchto prostorech 6 % z celkové spotřeby), a protože ani počet denostupňů nebyl stejný, upraví se dále uvedená hodnota činitelem 1,026 (podíl 3 602/3 512), takže  $Q_l = 1\,301$  GJ/a. Z porovnání naměřených údajů spotřeby tepla při vytápění s vypočtenými vychází úspora tepla jen 4,1 % – což je méně, než bylo stanoveno výpočtem (teoretický rozdíl je 14,7 %).

Měrná spotřeba tepla  $e_v = 38,7$  kWh/(m<sup>3</sup> a).

### (13) Budova PS 69 [2.29]

Stavební soustava PS 69 je panelový systém příčných a výztužných podélných nosných stěn s rozpony stropních panelů 2,4 m; 3,6 m a 4,8 m. Konstrukční výška je 2,8 m. Hodnocená budova je v Přesticích s rozponem 3,6 m a sestává ze dvou sekcí. Obvodové stěny jsou tvořeny sendvičovými parapetními panely a pásy z oken a meziokenních izolačních vložek. Nosné štítové panely jsou sendvičové ve složení: vnitřní betonová vrstva 140 mm, střední tepelně izolační vrstva z expandovaného polystyrenu 40 mm a vnější betonová vrstva 60 mm. Štítové stěny jsou dodatečně tepelně izolovány deskami z minerální plsti na dřevěný rošt. Střecha je dvouplášťová s izolací z minerálních vláken a se vzduchovou vrstvou odvětrávanou do atiky. Stropní panely jsou železobetonové plné o tloušťce 150 mm. Nad technickým podlažím je v podlaží tepelná izolace o tloušťce 20 mm. Okna jsou dřevěná zdvojená. Budova má 6 nadzemních podlaží. Charakteristické údaje jsou v tab. 47.

Tab. 47 Charakteristické údaje budovy PS 69

| Název veličiny      | Značka a rozměr               |
|---------------------|-------------------------------|
| Základová plocha    | $A_G = 326,4$ m <sup>2</sup>  |
| Výška budovy        | $h = 16,8$ m                  |
| Objem budovy        | $V = 5\,483,0$ m <sup>3</sup> |
| Celková plocha oken | $A_o = 427,1$ m <sup>2</sup>  |

| Název veličiny                              | Značka a rozměr                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Poměrná plocha oken typického podlaží       | $a = 0,187$                             |
| Celková ochlazovaná plocha                  | $\Sigma A_j = 2\,008,0 \text{ m}^2$     |
| Geometrická charakteristika                 | $\Sigma A_j/V = 0,366 \text{ 1/m}$      |
| Plocha střechy                              | $A_s = 326,4 \text{ m}^2$               |
| Plocha podlahy nad suterénem                | $A_G = 326,4 \text{ m}^2$               |
| Plocha fasádní stěny                        | $A_{e1} = 337,3 \text{ m}^2$            |
| Plocha lodžiové stěny                       | $A_{e2} = 70,1 \text{ m}^2$             |
| Plocha štítové stěny                        | $A_{e3} = 376,3 \text{ m}^2$            |
| Plocha meziokenní vložky                    | $A_{e4} = 138,2 \text{ m}^2$            |
| Součinitel prostupu tepla oken              | $U_o = 2,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$     |
| Součinitel prostupu tepla fasádní stěny     | $U_{e1} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla lodžiové stěny    | $U_{e2} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla štítové stěny     | $U_{e3} = 0,33 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla meziokenní vložky | $U_{e4} = 1,38 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla střechy           | $U_s = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |
| Součinitel prostupu tepla podlahy           | $U_n = 1,42 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |

Zjištěná spotřeba tepla je v *tab. 48* [2.30].

*Tab. 48* Spotřeba tepla  $Q_t$  (GJ/a) při vytápění budovy PS 69 v letech 1999 až 2001

| Rok          | 1999 | 2000 | 2001 | Průměr |
|--------------|------|------|------|--------|
| $Q_t$ (GJ/a) | 835  | 833  | 848  | 838,67 |

Výpočtem byla stanovena spotřeba tepla  $Q_{1,výp} = 881,2$  (GJ/a). Rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou je 4,8 %. Měrná spotřeba tepla při vytápění je  $e_v = 42,5 \text{ kWh/(m}^3\text{a)}$ .

### 2.2.1.2 Komentář k výsledkům měrné spotřeby tepla panelových budov

Spotřeba tepla při vytápění v prvních typech panelových domů byla často větší než je vpředu uvedeno, a to z toho důvodu, že některé jejich obvodové pláště vykazovaly tepelně technické závady. Z toho důvodu se přistoupilo v dalším období výstavby k opravám a změnám obvodových plášťů panelových budov, takže jejich původní hodnoty tepelných odporů i u stejného typu se mohou různit. Proto je třeba při vyhodnocování spotřeby tepla panelových budov věnovat pozornost skutečnému stavu obvodových plášťů. Pro orientaci v tomto směru uvádíme dále přehled původních tepelně technických vlastností obvodových plášťů panelových budov, popř. po úpravách, kterými byly odstraněny jejich nedostatky.

#### Stručná charakteristika původních tepelně technických vlastností obvodových plášťů panelových budov jednotlivých typů

##### Typ G

První sériově realizovaný typ byl G 40. Obvodové panely byly vrstvené, složené ze škváro-betonu jako nosné vrstvy, a silikorku jako tepelně izolační vrstvy. Tepelný odpor tohoto panelu byl na úrovni cihelného zdiva o tloušťce 450 mm ( $U = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ). Pro výstavbu G 57



byl u tohoto panelu silikork nahrazen pazderobetonem; přestože laboratorní zkoušky potvrdily způsobilost jeho tepelně technických vlastností, při jeho hromadné výrobě docházelo k potížím jednak z důvodu nedodržování objemové hmotnosti škvárobetonu (překračovala se u něj nejvyšší přípustná hodnota objemové hmotnosti – což mělo za následek zvětšení tepelné vodivosti škvárobetonu, a tím zmenšení jeho tepelného odporu), jednak se nedodržovala tloušťka pazderobetonu – což se rovněž projevilo ve zmenšení tepelného odporu.

Z průzkumu na stavbách se zjistilo [2.31], že 96 % kontrolovaných panelů z celkového počtu 400 mělo tloušťku pazderobetonové vrstvy menší než byla návrhová tloušťka, tj. 60 mm. Nejčtenější tloušťka byla v rozmezí 36 až 40 mm. Těmto tloušťkám odpovídá součinitel prostupu tepla  $U = (1,62 \text{ až } 2,07) \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  – tedy hodnota podstatně větší, než se předpokládala.

Tento stav se projevil nejen v hygienických závadách, ale také v podstatně větší tepelné ztrátě budov a spotřebě tepla při vytápění, v porovnání s tradičními cihelnými stavbami. Byla zjištěna spotřeba tepla při vytápění 70,0 až 80,0 kWh/(m<sup>3</sup>a), zatímco u tradičních budov to bylo asi 46,5 kWh/(m<sup>3</sup>a).

Aby se předešlo výše uvedeným problémům, zvětšila se v Severočeském kraji pazderobetonová vrstva na 85 mm a u pražské varianty na 70 mm.

Vedle vrstveného panelu byl vyvinut také jednovrstvý panel ze struskopemzobetonu. První řešení panelu bylo s tloušťkou 240 mm. I v tomto případě se však zjistilo, že není možné zajistit trvale nejvýše přípustnou objemovou hmotnost (1 330 kg/m<sup>3</sup>), a tím tepelnou vodivost na požadované úrovni. To byl důvod ke zvětšení jeho tloušťky na 270 mm. U karlovarské varianty G 57 byl použit k výrobě jednovrstveného panelu keramzit. Ani v tomto případě nebylo možné, ze stejného důvodu jako u struskopemzobetonu, zůstat u tloušťky 240 mm.

Na Ostravsku byl vyvinut typ G OS 64 a vylepšený typ G OS 66. V tomto případě byly použity jednak velkorozměrové plynosilikátové panely – uplatnily se jako průběžné okenní panely, jednak jednovrstvé struskopemzobetonové stěny ve štítech a v suterénu, avšak o tloušťce 300 mm.

I v rámci nových konstrukčních soustav byla vypracována varianta NKS G domu. V tomto případě bylo použito železobetonového sendvičového panelu o tloušťce 290 mm, z toho tepelná izolace z pěnového polystyrenu o tloušťce 60 mm.

Vedle uvedených typů byly ještě používány typy G 55 jako rohové domy, G 32, GV 32, GV 40 a experimentální objekty jako G 56, G 58 a G 59.

### Montovaný skeletový dům

Obvodový plášť v prvních montovaných skeletových bytových domech je tvořen výplňovými panely ve složení: vnější betonová vrstva 15 mm – osmiděrované cihly 140 mm – pilinobeton se štukovou úpravou 65 mm a vnitřní škvárobetonová žebra 30/140 mm. Na stavbě v Táboře bylo použito k výrobě obvodových panelů tvrzené křemeliny o tloušťce 200 mm.

U víceúčelového systému montovaného skeletu byl panel z křemeliny nahrazen vrstveným betonovým panelem s tepelně izolační vložkou z pěnového skla. Panel sendvičového typu má celkovou tloušťku 150 mm. Z toho střední tepelně izolační vrstva z pěnového skla 50 mm, vnější železobetonová vrstva 40 mm a vnitřní vrstva ze struskopemzobetonu 60 mm.

Od roku 1963 přechází montovaný skelet na sendvičový panel o tloušťce 200 mm. Vnitřní vrstva je ze struskoškvárobetonu 100 mm, střední izolační vrstva z expandovaného polystyrenu o tloušťce 40 mm a vnější betonová vrstva 60 mm.

Tepelně izolační schopnost obvodových panelů je na úrovni ekvivalentní tloušťky cihelné stěny 450 mm.

Montovaný skelet obsahuje tedy rovněž několik materiálových variant obvodového pláště. Na rozdíl od panelů G domů jsou stabilnější z hlediska zajišťování předpokládaného tepelného odporu. Mají však větší riziková místa ve stycích a rozích panelů.

### T 05 B až T 08 B

V hromadné výstavbě dodavatelských bytů se uplatnil pouze malorozponový systém T 06 B a středněrozponový systém T 08 B. Představený obvodový plášť umožňoval materiálovou zaměnitelnost a nebyl součástí závazných typových podkladů. Z tohoto důvodu vznikla řada konstrukčních a materiálových variant, a to:

- T 06 B-U (Ústí n. L) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů, průčelních panelů a lodžiových panelů; jejich složení:
  - štitový panel: železobeton 140 mm, expandovaný polystyren 60 mm, železobeton 90 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: železobeton 100 mm, expandovaný polystyren 60 mm, železobeton 60 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,89 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - lodžiový panel: dřevotřískka 17 mm, PE fólie 1,2 mm, Rotaflex + dřevěný rošt 61 mm, dřevo 14 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,98 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .
- T 06 B-PS BU (Brno) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štitový panel: železobeton 130 mm, expandovaný polystyren 60 mm, železobeton 70 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,69 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
  - průčelní panel = štitový panel
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B-KDU (Brno) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štitový panel: struskopemzobeton 300 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,57 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: struskopemzobeton 340 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,42 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B-OS (Ostrava) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štitový panel: struskopemzobeton 375 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,31 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: struskopemzobeton 375 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,31 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B-KV (Karlovy Vary) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štitový panel: železobeton 150 mm, keramzitbeton 240 mm, železobeton 70 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: keramzitbeton 300 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B-OL (Olomouc) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štitový panel: železobeton 140 mm, expandovaný polystyren 80 mm, železobeton 70 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,51 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: expanditbeton 300 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,48 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B (České Budějovice) – svislý obvodový plášť sestává ze štitových panelů a průčelních panelů; jejich složení:

- štítový panel: železobeton 150 mm, křemelina 200 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- průčelní panel: dvouvrstvý keramický 300 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B (Pardubice) – svislý obvodový plášť sestává ze štítových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štítový panel: keramický s betonovou monierkou 300/50 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,33 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: keramický jednovrstvý 320 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,52 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 06 B (Hradec Králové) – svislý obvodový plášť sestává ze štítových panelů a průčelních panelů; jejich složení:
  - štítový panel: železobeton 150 mm, pórobeton 200 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - průčelní panel: pórobeton 200 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,92 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- T 08 B – svislý obvodový plášť sestává ze štítových panelů a parapetních panelů a meziokenní vložky; jejich složení:
  - štítový panel: železobeton 150 mm, expandovaný polystyren 40 mm, železobeton 50 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,91 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - parapetní panel: železobeton 130 mm, expandovaný polystyren 40 mm, železobeton 50 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,92 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - meziokenní vložka: dřevěný rám 16 mm, expandovaný polystyren 21 mm, vzduchová vrstva 28 mm, sklo 6 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 1,02 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

## VVÚ ETA

Svislý obvodový plášť sestává ze štítových panelů a průčelních panelů a meziokenní panel; jejich složení:

- štítový panel: železobeton 150 mm, expandovaný polystyren 40 mm, železobeton 50 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,91 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- průčelní panel: železobeton 100 mm, expandovaný polystyren 40 mm, železobeton 50 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,92 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- meziokenní panel: součinitel prostupu tepla  $U = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

## Larsen & Nielsen

Svislý obvodový plášť sestává ze štítových panelů a průčelních panelů; jejich složení:

- štítový panel vrstvený: železobeton 150 mm, expandovaný polystyren 50 mm, železobeton 60 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- průčelní panel: železobeton 100 mm, expandovaný polystyren 50 mm, železobeton 60 mm; součinitel prostupu tepla  $U = 0,86 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Plochá střešní konstrukce – součinitel prostupu tepla  $U = 0,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

V roce 1977 byla schválena revidovaná ČSN 73 0540 [2.32], ve které se zvýšily podstatným způsobem požadavky na hodnoty tepelného odporu stavebních konstrukcí, a tedy na zmenšení jejich součinitele prostupu tepla. Např. pro výpočtovou teplotu vnějšího vzduchu  $-15^\circ\text{C}$  se požadoval pro svislou stěnovou konstrukci nejmenší tepelný odpor  $R = 0,95 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $U = 0,89 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) proti hodnotě platné před revizí normy  $R = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $U = 1,39 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ).

Na základě požadavků revidované ČSN 73 0540 provedl Studijní a typizační ústav revizi typových podkladů panelových budov. Ta vyústila v řešení obvodových plášťů panelových budov, zajišťujících jejich tepelný odpor na požadované úrovni. U nejrozšířenějšího panelu – železobetonového sendvičového – se tento problém řešil zvětšením tloušťky tepelně izolační vrstvy z expandovaného polystyrenu, a to na 80 mm. Tím se dosáhlo hodnoty součinitele prostupu  $U = 0,59 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , což byla dokonce příznivější hodnota než se požadovala v ČSN 73 0540 – viz vpředu uvedenou hodnotu  $U = 0,89 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

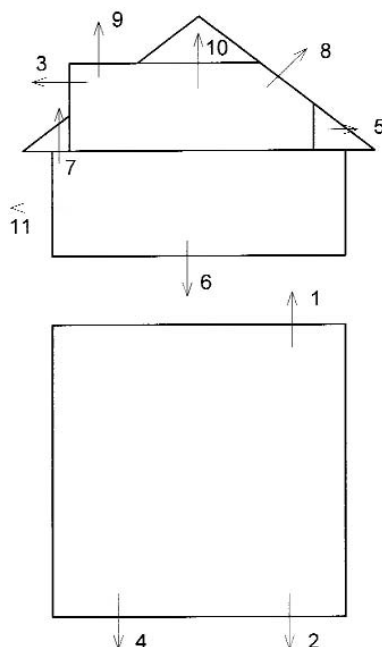
V současné době je již část panelových domů dodatečně tepelně izolována, přinejmenším na štítech – což vede ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění, v porovnání se spotřebou tepla v panelových domech s původními tepelně technickými vlastnostmi, jak je vidět v některých dříve uvedených případech.

### 2.2.1.3 Rodinné domy

#### (14) Rodinný dům na bázi dřeva s vysokým tepelným odporem [2.33]

RD je montovaná stavba na bázi dřeva s podkrovím. Obvodové panely s dřevěným rámem a tepelnou izolací ORSIL o tloušťce 120 mm jsou z vnější strany izolovány zateplovacím systémem ALFATHERM, který má tepelně izolační vrstvu z expandovaného polystyrenu o tloušťce 50 mm. Dům je nepodsklepený, postavený na základové betonové desce. Celkový objem budovy (včetně podkroví) je  $V = 384 \text{ m}^3$ . Celková ochlazovaná plocha  $\Sigma A_j = 353 \text{ m}^2$ .

Geometrická charakteristika budovy je  $\Sigma A_j/V = 0,92$ . Dům je vytápěn teplovodní otopnou soustavou s deskovými otopnými tělesy. Jako zdroj tepla slouží plynový kotel zn. PROTHERM. Teplota vnitřního vzduchu je regulována termostatem, jehož čidlo je umístěno na východní stěně obývacího pokoje 1,5 m nad podlahou. Spotřeba plynu je měřena plynoměrem, umístěným ve zděném krytu na okraji pozemku. Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí je v tab. 49, jejich poloha v budově je na obr. 10.



Obr. 10 Poloha jednotlivých konstrukcí v budově

Tab. 49 Součinitel prostupu tepla  $U$  (W/(m<sup>2</sup>K)) jednotlivých konstrukcí (viz obr. 10)

| Č. | Stavební konstrukce               | $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) |
|----|-----------------------------------|----------------------------|
| 1  | Obvodový panel                    | 0,27                       |
| 2  | Obvodový panel do prostoru garáže | 0,26                       |
| 3  | Obvodová stěna vikýře             | 0,27                       |
| 4  | Štítová stěna podkroví            | 0,31                       |
| 5  | Parapetní stěna podkroví          | 0,33                       |
| 6  | Podlaha na zemině                 | 0,56                       |
| 7  | Strop u římsy                     | 0,24                       |
| 8  | Šikmá střecha                     | 0,27                       |
| 9  | Střecha vikýře                    | 0,34                       |
| 10 | Strop v oblasti hambálek          | 0,28                       |
| 11 | Okna                              | 2,4                        |
| 12 | Dveře                             | 2,6                        |

Výsledky měření tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění v rodinném domě v Kolovratěch jsou vyhodnoceny na základě měření spotřeby plynu, které bylo provedeno od 21. 1. do 1. 4. 1998 – viz tab. 50.

Tab. 50 Spotřeba zemního plynu v období od 21. 1. do 1. 4. 1998 ( $\tau$  – počet hodin odečtu, h;  $M_1$  – hodnota na plynoměru, m<sup>3</sup>;  $M_2$  – rozdíl v následných odečtech, m<sup>3</sup>;  $\pi_c$  – celkový počet hodin mezi jednotlivými odečty, h;  $M_c$  – spotřeba plynu mezi jednotlivými odečty vztažená na hodinu, m<sup>3</sup>/h;  $\theta_e$  – průměrná teplota vnějšího vzduchu, °C)

| Datum       | $\tau$ (h) | $M_1$ (m <sup>3</sup> ZP) | $M_2$ (m <sup>3</sup> ZP) | $\tau_c$ (h) | $M_c$ (m <sup>3</sup> ZP/h) | $\theta_e$ (°C) |
|-------------|------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| 21. 1. 1998 | 9          | 33,4                      | –                         | –            | –                           | –               |
| 4. 2. 1998  | 14         | 117,792                   | 84,392                    | 341          | 0,2475                      | 4,3             |
| 6. 2. 1998  | 16         | 128,223                   | 10,431                    | 50           | 0,2086                      | 0,3             |
| 9. 2. 1998  | 13         | 145,377                   | 17,154                    | 69           | 0,2490                      | 2,3             |
| 11. 2. 1998 | 14         | 154,099                   | 8,722                     | 49           | 0,1780                      | 7,6             |
| 12. 2. 1998 | 16         | 159,050                   | 4,951                     | 26           | 0,1900                      | 10,1            |
| 19. 2. 1998 | 11         | 192,025                   | 32,975                    | 163          | 0,2020                      | 8,6             |
| 26. 2. 1998 | 13         | 222,742                   | 30,717                    | 170          | 0,1810                      | 7,0             |
| 1. 3. 1998  | 18         | 239,790                   | 17,048                    | 77           | 0,2210                      | 5,6             |
| 10. 3. 1998 | 10         | 291,532                   | 51,742                    | 208          | 0,2480                      | 6,4             |
| 14. 3. 1998 | 14         | 320,292                   | 28,760                    | 100          | 0,2876                      | 0,7             |
| 18. 3. 1998 | 16         | 349,800                   | 29,508                    | 98           | 0,3010                      | 5,3             |
| 19. 3. 1998 | 16         | 356,393                   | 6,593                     | 24           | 0,2750                      | 3,1             |
| 1. 4. 1998  | 15         | 421,009                   | 64,616                    | 312          | 0,2070                      | 5,2             |

Při uvažování výhřevnosti zemního plynu 34 MJ/m<sup>3</sup> [2.34] a účinnosti plynového kotle  $\eta = 0,84$  [2.35] jsou vyčísleny hodnoty tepelného příkonu  $Q$  (kW) a spotřeba tepla vztažená na jeden denostupeň – viz tab. 51.

Tab. 51 Tepelná ztráta  $Q$  (kW) a spotřeba tepla při vytápění vztažená na jeden denostupeň  $E_D$  (kWh/D)

| Datum         | $\theta_{em}$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $Q$ (kW) | $E_D$ (kWh/D) |
|---------------|--------------------|----------------------------|----------|---------------|
| 4. 2. 1998    | 4,3                | 15,7                       | 1,95     | 2,98          |
| 6. 2. 1998    | 0,3                | 19,7                       | 1,65     | 2,00          |
| 9. 2. 1998    | 2,3                | 17,7                       | 1,97     | 2,67          |
| 11. 2. 1998   | 7,6                | 12,4                       | 1,41     | 2,73          |
| 12. 2. 1998   | 10,1               | 10,1                       | 1,50     | 3,64          |
| 19. 2. 1998   | 8,6                | 11,4                       | 1,60     | 3,37          |
| 26. 2. 1998   | 7,0                | 13,0                       | 1,43     | 2,64          |
| 1. 3. 1998    | 5,6                | 14,4                       | 1,75     | 2,92          |
| 10. 3. 1998   | 6,4                | 13,6                       | 1,97     | 3,47          |
| 14. 3. 1998   | 0,7                | 19,3                       | 2,28     | 2,83          |
| 18. 3. 1998   | 5,3                | 14,7                       | 2,38     | 3,88          |
| 19. 3. 1998   | 3,1                | 16,9                       | 2,17     | 3,08          |
| 1. 4. 1998    | 5,2                | 14,8                       | 1,64     | 2,66          |
| <b>Průměr</b> |                    |                            |          | <b>2,99</b>   |

Celková spotřeba tepla při vytápění, při uvažování počtu denostupňů  $D = 3\,600$ , je  $Q_t = 10\,764$  kWh/a; měrná spotřeba tepla při vytápění je  $e_v = 28,0$  kWh/(m<sup>3</sup>a). Tato hodnota, zcela náhodně, je totožná s vypočtenou hodnotou (výpočetem byla stanovena hodnota  $e_v = 28,0$  kWh/(m<sup>3</sup>a), takže rozdíl obou hodnot měrné spotřeby tepla je nulový. Průměrná hodnota spotřeby tepla na jeden denostupeň je  $E_D = 2,99$  kWh/D, přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,468$  kWh/D, tj.  $\pm 15,6$  %.

**Poznámka:**

Rodinný dům v době měření nebyl ještě trvale obydlen, takže se neprojevil plně vliv tepelných zisků z vnitřních zdrojů tepla na tepelném stavu vnitřního prostředí. Je velmi pravděpodobné, že při trvalém obydlení bude spotřeba tepla při vytápění nižší než zjištěná hodnota.

**(15) Dvougenerační rodinný dům [2.36]**



Foto 1 Rodinný dům v Kunraticích

Rodinný dům, umístěný v Kunraticích, je na *foto 1*. Dům je podsklepen a má 2 obytná podlaží. V prvním obytném podlaží je kuchyně, obývací pokoj, 2 ložnice, WC, lázeň a spíž. Druhé obytné podlaží je řešeno obdobně. V suterénu je umístěna garáž, prádelna, sušárna, kotelná a do konce roku 1995 sklad pevného paliva (koks). V lednu 1996 byl dům připojen na rozvod zemního plynu a vybaven kotlem na zemní plyn o příkonu 24 kW s regulačním zařízením Komextherm. Současně byl osazen zásobníkový ohřívač na přípravu teplé vody. Celková spotřeba plynu byla odečítána na hlavním plynoměru, spotřeba plynu pro ohřev teplé vody na podružném plynoměru. Rozdíl údajů hlavního a podružného plynoměru v příslušných časových intervalech sloužil pro vyhodnocení spotřeby plynu při vytápění. V kuchyních jsou instalovány elektrické sporáky.

Obvodové zdivo domu je dvojrstvé z pórobetonových tvárníc o celkové tloušťce 250 mm a přízdívky z cihel CDm o tloušťce 115 mm. Celková tloušťka obvodového zdiva je 410 mm. Okna v obytných místnostech jsou dvojitá, dřevěná, v koupelně a ve spíži zdvojená; na schodišti jsou použity skleněné tvárnice.

Plochá střecha je dvouplášťová s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu a škvárovým násypem o průměrné tloušťce 120 mm. Podlaha nad nevytápěným suterénem má součinitele prostupu tepla  $U_n = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Rodinný dům je vytápěn jednotrubkovou vytápěcí soustavou s ležatým rozvodem, umístěným podél vnitřního obvodu vnějšího zdiva. Charakteristické údaje domu jsou v *tab. 52*.

Tab. 52 Charakteristické údaje rodinného domu

| Název veličiny                            | Značka a rozměr                                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                         | $o = 51,4 \text{ m}$                             |
| Konstrukční výška obytných podlaží        | $h = 5,6 \text{ m}$                              |
| Základová plocha                          | $A_G = 137,2 \text{ m}^2$                        |
| Celková plocha oken                       | $A_o = 30,2 \text{ m}^2$                         |
| Plocha průsvitné části (bez ráků)         | 64 %                                             |
| Poměrná plocha okna                       | $a = 0,22$                                       |
| Plocha oken orientovaných k J             | $A_{oJ} = 15,5 \text{ m}^2$                      |
| Plocha oken orientovaných k V/Z           | $A_{oVZ} = 8,1 \text{ m}^2$                      |
| Plocha oken orientovaných k S             | $A_{oS} = 6,6 \text{ m}^2$                       |
| Objem budovy                              | $V_o = 768,3 \text{ m}^3$                        |
| Vnitřní objem vytápěných prostor          | $V = 533 \text{ m}^3$                            |
| Plocha neprůsvitného svislého pláště      | $A_e = 257,5 \text{ m}^2$                        |
| Celková délka okenních spár               | $\Sigma L = 117,9 \text{ m}$                     |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn | $U_e = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$      |
| (alternativně uvažovány hodnoty)          | $U_e = 0,6; 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ |
| Součinitel prostupu tepla oken (dvojitá)  | $U_o = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$       |
| Okna v příslušenství (zdvojená)           | $U_{op} = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$    |
| Součinitel prostupu tepla střechy         | $U_s = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$      |
| Součinitel prostupu tepla podlahy         | $U_n = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$       |
| Plocha obytných místností                 | $A_1 = 73,1 \text{ m}^2$                         |



| Název veličiny           | Značka a rozměr           |
|--------------------------|---------------------------|
| Plocha koupelny          | $A_2 = 4,95 \text{ m}^2$  |
| Plocha předsíně          | $A_3 = 14,10 \text{ m}^2$ |
| Plocha schodiště a spíže | $A_4 = 14,50 \text{ m}^2$ |

V roce 1998 byla provedena rekonstrukce domu – viz *foto 2*. V obou obytných podlažích byla rozšířena plocha koupelen na úkor sousedních místností. Ve druhém obytném podlaží byla provedena změna dispozice, zatímco v prvním podlaží zůstala v původním stavu. Dřevěná okna byla nahrazena plastovými. Při rekonstrukci budovy byla provedena dodatečná tepelná izolace kontaktním systémem deskami z pěnového polystyrenu o tloušťce 50 mm.



*Foto 2* Dům po rekonstrukci

Nejrozsáhlejší úpravou při rekonstrukci domu bylo vytvoření podkrovní s válcovou střechou. Základem této úpravy byly spřažené dřevěné vazníky 150/60 mm s maximálním rozponem 10,2 m, spočívající na střední nosné zdi a na okrajích zakotvené na obvodovém dřevěném rámu. Tloušťka tepelné izolace střechy 210 mm je rozdělena do dvou vrstev, a to mezi vazníky 150 mm a mezi příčnými latěmi 60 mm. Krytinu střechy tvoří plech titan-zinek na prkenný záklop s asfaltovou lepenkou. Z vnitřní strany je tepelná izolace zaklopena sádkartonovými deskami, které tvoří současně stropní podhled v podkrovní. Čelní štítové stěny podkrovní byly dozděny cihlami POROTHERM o tloušťce 400 mm. Před obývacím pokojem ve druhém podlaží byla v části balkonu vytvořena zimní zahrada, jejíž vnější plášť tvoří okenní panely v plastových rámech s otvíratelnými křídly. Charakteristické údaje budovy po rekonstrukci jsou v *tab. 53*.

*Tab. 53* Charakteristické údaje rodinného domu po rekonstrukci

| Název veličiny                     | Značka a rozměr            |
|------------------------------------|----------------------------|
| Ochlazovaný obvod                  | $o = 51,22 \text{ m}$      |
| Konstrukční výška obytných podlaží | $h = 8,2 \text{ m}$        |
| Základová plocha                   | $A_G = 139,72 \text{ m}^2$ |



| Název veličiny                                           | Značka a rozměr                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Celková plocha oken                                      | $A_o = 48,27 \text{ m}^2$               |
| Poměrná plocha okna                                      | $a = 0,115$                             |
| Objem budovy                                             | $V_o = 1\,146,0 \text{ m}^3$            |
| Plocha neprůsvitného svislého pláště                     | $A_{e1} = 261,3 \text{ m}^2$            |
| Plocha zděné plochy v podkroví                           | $A_{e2} = 68,4 \text{ m}^2$             |
| Plocha bočních stěn                                      | $A_{e3} = 6,0 \text{ m}^2$              |
| Součinitel prostupu tepla dodatečně izolované stěny      | $U_{e1} = 0,38 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla cihelného zdiva v podkroví     | $U_{e2} = 0,27$                         |
| Součinitel prostupu tepla stěn a bočních stěn v podkroví | $U_{e3} = 0,45$                         |
| Součinitel prostupu tepla oken                           | $U_o = 1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$     |
| Součinitel prostupu tepla válcové střechy                | $U_s = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$    |
| Součinitel prostupu tepla podlahy                        | $U_n = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$     |
| Celková ochlazovaná plocha                               | $A = 693,4 \text{ m}^2$                 |
| Geometrická charakteristika budovy                       | $A/V = 0,605$                           |

Při vyhodnocení spotřeby tepla při vytápění a ohřevu teplé vody byly uplatněny hodnoty výhřevnosti paliv a účinnosti podle *tab. 54*.

*Tab. 54* Výhřevnost a účinnost koksů a zemního plynu

| Veličina   | Palivo       |                                 |
|------------|--------------|---------------------------------|
|            | Koks (MJ/kg) | Zemní plyn (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| Výhřevnost | 25,96        | 34,0                            |
| Účinnost   | 0,64         | 0,85                            |

Spotřeba tepla při vytápění se tedy vyhodnotí ve třech úrovních:

- při použití koksů,
- při použití zemního plynu před rekonstrukcí domu,
- při použití zemního plynu po rekonstrukci domu.

**a)** Spotřeba tepla při použití koksů

Údaje o spotřebě koksů v jednotlivých měsících otopného období 1992/1993, 1993/1994 a 1994/1995 jsou v *tab. 55*.

*Tab. 55* Spotřeba koksů  $M$  (kg/měs) v letech 1992 až 1995 ( $M_{\text{den}}$  je spotřeba za den (kg/den),  $\theta_{\text{em}}$  je průměrná měsíční teplota vnějšího vzduchu (°C),  $D$  = počet denostupňů ( $d \cdot K$ ),  $M_D$  je spotřeba koksů na denostupeň (kg/D)

| Otopné období | Měsíc | $M$<br>(kg/měs) | $M_{\text{den}}$<br>(kg/den) | $\theta_{\text{em}}$<br>(°C) | $D$<br>(d · K) | $M_D$<br>(kg/D) |
|---------------|-------|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|
|               | X     | 864             | 27,87                        | 7,4                          | 11,4           | 2,44            |
|               | XI    | 1 164           | 38,80                        | 4,5                          | 14,3           | 2,71            |
|               | XII   | 1 635           | 52,74                        | -0,2                         | 19,0           | 2,77            |
| 1992/1993     | I     | 1 602           | 51,68                        | 2,0                          | 16,8           | 3,07            |

| Otopné období           | Měsíc | $M$<br>(kg/měs) | $M_{\text{den}}$<br>(kg/den) | $\theta_{\text{em}}$<br>(°C) | $D$<br>(d · K) | $M_D$<br>(kg/D) |
|-------------------------|-------|-----------------|------------------------------|------------------------------|----------------|-----------------|
|                         | II    | 1 701           | 60,75                        | -2,5                         | 21,3           | 2,85            |
|                         | III   | 1 701           | 38,61                        | 3,4                          | 15,4           | 2,51            |
|                         | IV    | 678             | 22,60                        | 10,9                         | 7,9            | 2,86            |
|                         | X     | 819             | 25,42                        | 8,3                          | 10,5           | 2,42            |
|                         | XI    | 1 317           | 43,90                        | 1,0                          | 17,8           | 2,47            |
|                         | XII   | 1 635           | 52,64                        | 3,5                          | 15,3           | 3,44            |
| 1993/1994               | I     | 1 425           | 45,97                        | 3,0                          | 15,8           | 2,91            |
|                         | II    | 1 353           | 48,32                        | -0,1                         | 18,9           | 2,56            |
|                         | III   | 1 164           | 37,55                        | 6,9                          | 11,9           | 3,16            |
|                         | IV    | 793             | 26,43                        | 8,7                          | 10,1           | 2,62            |
|                         | X     | 858             | 27,68                        | 7,0                          | 11,8           | 2,34            |
|                         | XI    | 1 104           | 36,80                        | 6,7                          | 12,1           | 3,04            |
|                         | XII   | 1 632           | 52,64                        | 2,5                          | 16,3           | 3,23            |
| 1994/1995               | I     | 1 596           | 51,48                        | -0,4                         | 19,2           | 2,68            |
|                         | II    | 1 041           | 37,18                        | 4,9                          | 13,9           | 2,67            |
|                         | III   | 1 041           | 33,58                        | 3,3                          | 15,5           | 2,17            |
|                         | IV    | 816             | 27,20                        | 9,4                          | 9,4            | 2,89            |
| <b>Průměrná hodnota</b> |       |                 |                              |                              |                | <b>2,75</b>     |

Z tab. 55 se stanoví závislost spotřeby koksu na průměrné teplotě vnějšího vzduchu, tj.

$$M_{\text{den}} = 51,891 - 2,7599 \cdot \theta_{\text{em}} \text{ (kg/den)}$$

Po převedení na hodinu je

$$M_h = 2,162 - 0,115 \cdot \theta_{\text{em}} \text{ (kg/h)}$$

a po převedení na kW (hodnoty ve vztahu se vynásobí výhřevností 25,96 MJ/kg – viz tab. 54 a převedou se na kW při využití vztahu kWh = 3,6 MJ) má rovnice tepelných ztrát tvar

$$Q = 15,591 - 0,829 \cdot \theta_{\text{em}}$$

Průměrná vnitřní teplota budovy je  $\theta_{\text{im}} = 18,8$  °C a maximální tepelná ztráta budovy, při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12$  °C, při použití koksu jako paliva:

$$Q = 25,539 \text{ kW}$$

Účinnost spalování koksu je  $\eta = 0,64$ , takže maximální tepelná ztráta budovy (tj. tepelná ztráta jako vlastnost budovy nebo tepelná ztráta spojená s vlastnostmi budovy) je  $Q_b = 16,34$  kW.

Z tab. 55 vyplývá, že průměrná spotřeba koksu na jeden denostupeň je  $M_D = 2,75$  kg/D, přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,468$  kg/D, tj.  $\pm 15,6$  %. Po převedení této hodnoty na kWh (podobným postupem jako u tepelné ztráty) a při uvažování výše uvedené účinnosti získáme hodnotu  $E_D = 12,69$  kWh/D.

**b) Spotřeba tepla při použití zemního plynu před rekonstrukcí domu**

Výsledky měření spotřeby zemního plynu v otopném období 1997/1998 jsou v tab. 56.

Tab. 56 Spotřeba zemního plynu  $ZP$  ( $\text{m}^3/\text{den}$ ) v otopném období 1997/1998 ( $\theta_{\text{em}}$  je průměrná teplota vnějšího vzduchu v daném intervalu ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $D$  = počet denostupňů ( $\text{d} \cdot \text{K}$ ),  $ZP_D$  je spotřeba na denostupeň ( $\text{m}^3/D$ ))

| Interval                  | $ZP$ ( $\text{m}^3/\text{den}$ ) | $\theta_{\text{em}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $D$ ( $\text{d} \cdot \text{K}$ ) | $ZP_D$ ( $\text{m}^3/D$ ) |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 27. 9. 1997 <sup>*)</sup> | –                                | –                                           | –                                 | –                         |
| 12. 10. 1997              | 8,31                             | 13,1                                        | 5,2                               | 1,60                      |
| 26. 10. 1997              | 15,21                            | 5,1                                         | 13,2                              | 1,15                      |
| 9. 11. 1997               | 18,50                            | 2,8                                         | 15,5                              | 1,19                      |
| 23. 11. 1997              | 18,70                            | 3,2                                         | 15,1                              | 1,24                      |
| 7. 12. 1997               | 22,58                            | 2,2                                         | 16,1                              | 1,40                      |
| 21. 12. 1997              | 23,50                            | 0,7                                         | 17,6                              | 1,33                      |
| 4. 1. 1998                | 20,34                            | 3,7                                         | 14,6                              | 1,39                      |
| 18. 1. 1998               | 20,61                            | 4,2                                         | 14,1                              | 1,46                      |
| 1. 2. 1998                | 27,98                            | -2,0                                        | 20,3                              | 1,38                      |
| 15. 2. 1998               | 22,95                            | 1,9                                         | 16,4                              | 1,40                      |
| 1. 3. 1998                | 16,11                            | 7,2                                         | 11,1                              | 1,45                      |
| 15. 3. 1998               | 18,42                            | 4,7                                         | 13,6                              | 1,35                      |
| 29. 3. 1998               | 19,05                            | 3,5                                         | 14,8                              | 1,29                      |
| 12. 4. 1998               | 9,31                             | 10,6                                        | 7,7                               | 1,21                      |
| 26. 4. 1998               | 10,30                            | 9,1                                         | 9,2                               | 1,12                      |
| 8. 5. 1998                | 4,05                             | 15,7                                        | 2,6                               | 1,56                      |
| <b>Průměrná hodnota</b>   |                                  |                                             |                                   | <b>1,345</b>              |

<sup>\*)</sup> Jde o čtrnáctidenní interval.

Z hodnot v tab. 56 se stanoví závislost spotřeby zemního plynu na průměrné teplotě vnějšího vzduchu

$$ZP_{\text{den}} = 24,401 - 1,3354 \cdot \theta_{\text{em}} (\text{m}^3/\text{den})$$

a po převedení na kW (uvažuje se výhřevnost  $ZP$ :  $34 \text{ MJ}/\text{m}^3$  – viz tab. 54) je

$$Q = 9,605 - 0,525 \cdot \theta_{\text{em}}$$

Průměrná vnitřní teplota budovy je  $\theta_{\text{im}} = 18,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a maximální tepelná ztráta budovy, při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , při použití zemního plynu jako paliva:

$$Q = 15,905 \text{ kW.}$$

Účinnost spalování zemního plynu se uvažuje  $\eta = 0,85$ , takže maximální tepelná ztráta jako vlastnost budovy je  $Q = 13,52 \text{ kW}$ .

Z tab. 56 lze zjistit, že spotřeba zemního plynu na jeden denostupeň je  $ZP_D = 1,345 \text{ m}^3/D$ , přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,135 \text{ m}^3/D$ , tj.  $\pm 10,0 \%$ . Po převedení této hodnoty na kWh a při uvažování vpředu uvedené účinnosti se získá hodnota  $E_D = 10,80 \text{ kWh}/D$ .

Spotřeba zemního plynu byla vyhodnocena také z rozdílu počátečního a konečného stavu plynoměru. Otopné období 1997/1998 začalo 28. 9. 1997 a skončilo 8. 5. 1998, tj. trvalo cel-

kem 222 dnů s průměrnou teplotou vnějšího vzduchu  $\theta_e = 5,3$  °C. Počet denostupňů tedy byl  $D = 222 (18,3 - 5,3) = 2886$ .

Rozdíl počátečního a konečného stavu plynoměru – tedy celková spotřeba zemního plynu za dané období – byla: 3 862,784 m<sup>3</sup> a při přepočtu na denostupeň  $ZP_D = 1,338$  m<sup>3</sup>/D. Z porovnání spotřeby zemního plynu stanoveného ve čtrnáctidenních intervalech (1,345 m<sup>3</sup>/D) a spotřeby stanovené jako rozdíl počátečního a konečného stavu (1,338 m<sup>3</sup>/D) vyplývá, že rozdíl mezi těmito hodnotami je 0,5 %.

c) Spotřeba tepla při použití zemního plynu po rekonstrukci domu

Výsledky měření spotřeby zemního plynu v otopném období 1999/2000 jsou v tab. 57.

Tab. 57 Spotřeba zemního plynu  $ZP$  (m<sup>3</sup>/den) v otopném období 1997/1998 ( $\theta_{em}$  je průměrná teplota vnějšího vzduchu v daném intervalu (°C),  $D$  = počet denostupňů (d · K),  $ZP_D$  je spotřeba na denostupeň (m<sup>3</sup>/D)

| Interval                  | $ZP$ (m <sup>3</sup> /den) | $\theta_{em}$ (°C) | $D$ (d · K) | $ZP_D$ (m <sup>3</sup> /D) |
|---------------------------|----------------------------|--------------------|-------------|----------------------------|
| 26. 9. 1997 <sup>*)</sup> | –                          | –                  | –           | –                          |
| 10. 10. 1999              | 10,90                      | 10,1               | 7,8         | 1,40                       |
| 24. 10. 1999              | 13,80                      | 7,8                | 10,9        | 1,27                       |
| 7. 11. 1999               | 11,30                      | 9,4                | 8,5         | 1,33                       |
| 21. 11. 1999              | 23,87                      | 1,6                | 16,3        | 1,46                       |
| 5. 12. 1999               | 22,10                      | 2,7                | 15,2        | 1,45                       |
| 19. 12. 1999              | 20,29                      | 3,1                | 14,8        | 1,37                       |
| 2. 1. 2000                | 24,82                      | -1,1               | 19,0        | 1,31                       |
| 16. 1. 2000               | 22,80                      | -0,7               | 18,6        | 1,22                       |
| 30. 1. 2000               | 25,20                      | -1,4               | 19,3        | 1,30                       |
| 13. 2. 2000               | 17,84                      | 5,6                | 12,3        | 1,45                       |
| 27. 2. 2000               | 21,79                      | 1,5                | 16,4        | 1,33                       |
| 12. 3. 2000               | 16,59                      | 5,1                | 12,8        | 1,30                       |
| 26. 3. 2000               | 15,75                      | 4,4                | 13,5        | 1,17                       |
| 9. 4. 2000                | 12,81                      | 6,2                | 11,7        | 1,09                       |
| 22. 4. 2000               | 7,56                       | 12,1               | 5,8         | 1,37                       |
| <b>Průměrná hodnota</b>   |                            |                    |             | <b>1,321</b>               |

<sup>\*)</sup> Jde o čtrnáctidenní interval.

Z hodnot v tab. 57 se stanoví závislost spotřeby zemního plynu na průměrné teplotě vnějšího vzduchu

$$ZP_{den} = 23,543 - 1,313 \cdot \theta_{em} \text{ (m}^3\text{/den)}$$

a po převedení na kW (uvažuje se výhřevnost  $ZP$ : 34 MJ/m<sup>3</sup> – viz tab. 54) je

$$Q = 9,265 - 0,517 \cdot \theta_{em}$$

Průměrná vnitřní teplota budovy je  $\theta_{im} = 17,9$  °C a maximální tepelná ztráta budovy, při výpočtové teplotě vnějšího vzduchu  $\theta_e = -12$  °C, při použití zemního plynu jako paliva:

$Q = 15,469 \text{ kW}$ . Účinnost spalování zemního plynu se uvažuje  $\eta = 0,85$ , takže maximální tepelná ztráta jako vlastnost budovy je  $Q = 13,15 \text{ kW}$ .

Z tab. 57 lze zjistit, že spotřeba zemního plynu na jeden denostupeň je  $ZP_D = 1,321 \text{ m}^3/D$ , přičemž směrodatná odchylka je  $\pm 0,101 \text{ m}^3/D$ , tj.  $\pm 7,7 \%$ . Po převedení této hodnoty na kWh a při uvažování vpředu uvedené účinnosti se získá hodnota  $E_D = 10,60 \text{ kWh/D}$ .

Spotřeba zemního plynu byla vyhodnocena také z rozdílu počátečního a konečného stavu plynoměru. Otopné období 1999/2000 začalo 26. 9. 1999 a skončilo 22. 4. 2000, tj. trvalo celkem 205 dnů s průměrnou teplotou vnějšího vzduchu  $\theta_e = 4,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Počet denostupňů tedy byl  $D = 205 (17,9 - 4,4) = 2\,767$ .

Rozdíl počátečního a konečného stavu plynoměru – tedy celková spotřeba zemního plynu za dané období – byla:  $3\,656,252 \text{ m}^3$  a při přepočtu na denostupeň  $ZP_D = 1,321 \text{ m}^3/D$ . Z porovnání spotřeby zemního plynu stanoveného ve čtrnáctidenních intervalech ( $1,321 \text{ m}^3/D$  a spotřeby stanovené jako rozdíl počátečního a konečného stavu ( $1,321 \text{ m}^3/D$ ) vyplývá, že rozdíl mezi těmito hodnotami není žádný (což je náhoda, že jsou výsledky zcela shodné).

Vzhledem k tomu, že spotřeba tepla, vztažená na jeden stupeň  $E_D$ , je vyhodnocena v jednotlivých variantách při různých rozdílech průměrných vnitřních a vnějších teplot a poslední varianta zahrnuje také změnu objemu budovy, je provedena transformace zjištěných hodnot, čímž se výsledky mohou porovnat za stejných podmínek. Jednotlivé varianty jsou charakterizovány následujícími údaji:

- a)  $E_{Da} = 12,69 \text{ kWh/D}$ ;  $V = 768,3 \text{ m}^3$ ;  $\Delta\theta = 18,8 - 4,3 = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- b)  $E_{Db} = 10,80 \text{ kWh/D}$ ;  $V = 768,3 \text{ m}^3$ ;  $\Delta\theta = 18,3 - 5,3 = 13,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- c)  $E_{Dc} = 10,60 \text{ kWh/D}$ ;  $V = 1146,0 \text{ m}^3$ ;  $\Delta\theta = 17,9 - 4,4 = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Transformace údajů se provede k údajům platným pro variantu ad a), přičemž vliv objemu budovy se eliminuje převedením hodnot  $E_D$  na  $\text{m}^3$ . Takže v případě

- ad a) je  $E_{Da} = 16,5 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot D)$ ,
- ad b) je  $E_{Db} = 14,1 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot D)$ ,
- ad c) je  $E_{Dc} = 9,2 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot D)$ ,

Rozdíl ve spotřebě tepla, vzniklý v důsledku záměny koksu za zemní plyn (čímž se získala možnost dokonalejší regulace dodávky tepla a větší účinnost spalování paliva), je

$$\Delta_{ab} = 14,5 \%$$

rozdíl mezi variantou a a variantou c, která zahrnuje zlepšení tepelně technických vlastností obvodového pláště a oken budovy, a také výhodnější geometrii budovy, je

$$\Delta_{ac} = 44,2 \%,$$

rozdíl mezi variantou b a variantou c je

$$\Delta_{bc} = 34,8 \%.$$

Zlepšení tepelně technických vlastností obvodového pláště a oken budovy a realizování nejvýhodnější geometrie budovy z hlediska tepelných ztrát znamená zmenšení spotřeby tepla při vytápění rodinného domu o 34,8 %.

#### Poznámka:

V rámci hodnocení rodinného domu z hlediska tepelné ztráty se vyšetřoval také vliv možného kolísání hodnoty součinitele prostupu tepla obvodové stěny na tepelné ztráty budovy (v původním stavu – tedy před rekonstrukcí), a to v rozmezí  $U = 0,6; 0,7 \text{ a } 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , přičemž hodnota  $U = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  je průměrná hodnota. Pro jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla se zjistily následující hodnoty tepelné ztráty budovy:

- a) při  $U = 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  vychází tepelná ztráta budovy  $Q_c = 14\,490 \text{ W}$ ,  
 b) při  $U = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  vychází tepelná ztráta budovy  $Q_c = 13\,006 \text{ W}$ ,  
 c) při  $U = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  vychází tepelná ztráta budovy  $Q_c = 13\,748 \text{ W}$ .

Dané rozmezí součinitelů prostupu tepla  $U = (0,6 \text{ až } 0,8) \text{ W/(m}^2\text{K)}$  způsobuje rozptyl tepelné ztráty budovy v rozmezí  $\pm 5,4 \%$  kolem hodnoty platné při  $U = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

### (16) Řadový rodinný dům [2.37]

Budova je dvoupodlažní řadový dům v Mladé Boleslavi. Obvodové stěny jsou z plynosilikátových tvárnic o tloušťce 300 mm. Dům byl postaven v roce 1987. Do roku 1993 byl dům vytápěn kotlem na pevné palivo. Průměrná roční spotřeba paliva byla 50 q černého uhlí a 2 m<sup>3</sup> dřeva. Při účinnosti  $\eta = 0,65$ , výhřevnosti černého uhlí 24 MJ/kg a výhřevnosti dřeva 15,5 MJ/kg vychází roční spotřeba tepla 24 900 kWh/a.

V roce 1993 byla provedena záměna zdroje tepla – místo kotle na pevné palivo byl instalován elektrický přímotopný kotel o výkonu 13,5 kW. Domácnost byla plně elektrizována, včetně ohřevu teplé vody. Zároveň byly postupně prováděny stavební úpravy ke zmenšení tepelných ztrát budovy, a to:

- těsnění oken
- umístění reflexní fólie za otopná tělesa
- instalace termostatu pro elektrický kotel
- zateplení podhledu pěnovým polystyrenem o tloušťce 30 mm
- zateplení ložnice z vnitřní strany deskami z minerálních vláken o tloušťce 40 mm a obložení sádkartonovými deskami
- zateplení obývací ložnice z vnější strany pěnovým polystyrenem s dřevěným obkladem
- zlepšení tepelně technických vlastností střechy perlitem (2 m<sup>3</sup>) nafoukaným do dutiny střechy (tloušťka perlitu asi 20 mm).

Hodnoty součinitelů prostupu tepla:

- původní stav – obvodové stěny:  $U = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , střechy  $U = 0,51 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a podlahy; na zemině  $U = 1,09 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- po provedených úpravách: obvodové stěny  $U = 0,41 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , střechy  $U = 0,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Výsledky měření: spotřeby elektrického proudu v letech 1994 až 1997 jsou v tab. 58. Je zde také roční spotřeba pro přípravu teplé vody, na vaření, osvětlení apod. Tyto údaje jsou zjištěny jako průměrné hodnoty z období, kdy se budova nevytápěla.

Tab. 58 Spotřeba elektrického proudu v letech 1994 až 1997 ( $E_c$  – celková spotřeba (kWh/a);  $E_{\text{dom}}$  = spotřeba domácnosti (mimo vytápění) (kWh/a);  $E_v$  – spotřeba při vytápění (kWh/a))

| Označení spotřeby        | Spotřeba v roce (kWh/a) |        |        |        |        |
|--------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                          | 1994                    | 1995   | 1996   | 1997   | Průměr |
| $E_c$ (kWh/a)            | 18 225                  | 19 315 | 19 765 | 17 400 | 18 676 |
| $E_{\text{dom}}$ (kWh/a) | 6 040                   | 6 960  | 3 820  | 2 840  | 4 915  |
| $E_v$ (kWh/a)            | 12 185                  | 12 355 | 15 945 | 14 560 | 13 761 |

Uvažuje-li se účinnost přímotopu  $\eta = 0,98$ , pak průměrná spotřeba tepla při vytápění budovy za období 1994 až 1997 je  $E_v = 13\,486 \text{ kWh/a}$ .

Spotřeba tepla při vytápění budovy je menší o 45,8 % v důsledku elektrizování domácnosti a zlepšených tepelně technických vlastností, v porovnání se spotřebou před elektrizací.

## 2.2.1.4 Budovy zdravotnické a školní

### (17) Poliklinika Praha-Prosek [2.38]

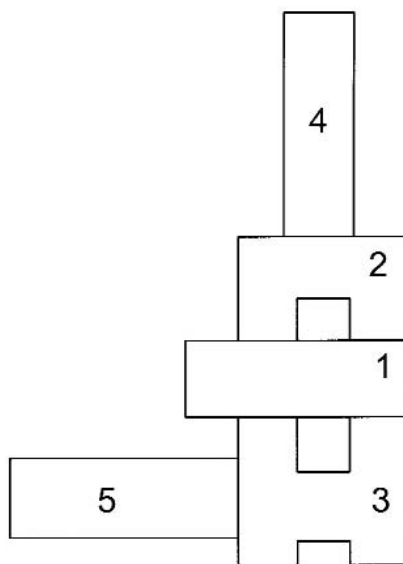
Poliklinika se skládá z několika vzájemně propojených budov s různým počtem podlaží. Dispoziční řešení celého souboru staveb je na *obr. 11*. Hlavní budova (sekce 1) má 4 podlaží s nástavbou, sekce 2 a 3 s atriem mají dvě podlaží, sekce 4 a 5 mají jedno podlaží. Nosný systém budovy je železobetonový skelet. Obvodový plášť budovy se skládá z keramických parapetních panelů a dozdívek z pórobetonových tvárníc a cihel CDM. Okenní otvory jsou vyplněny celohliníkovými okny systém FEAL. Okna jsou v základním provedení sestavena do pásů, přerušovaných sloupy nosné konstrukce. Kotvení osazovacích rámu po obvodě je ve spodní části na ocelové destičky, které jsou součástí keramického panelu. V základní skladbě je v osazovacím rámu ve spodní části celohliníkové okno, v horní části neprůsvitný panel s tepelnou izolací z pěnového polyuretanu o tloušťce 60 mm.

Základní šířka modulu osazovaného rámu je 1200 mm, na kraji 1000 mm.

Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla pórobetonového zdiva, keramického panelu, cihelných dozdívek a panelu FEAL byla uvažována  $U = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a kovová okna zdvojená se dvěma skly  $U = 3,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Ve výkresových podkladech, které byly k dispozici, nejsou údaje o složení střešních konstrukcích posledního podlaží a podlah. Na základě průzkumu lze uvažovat u střešní konstrukce  $U = 0,95 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a u podlahy  $U = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Obestavěný prostor budovy je  $V = 58\,783 \text{ m}^3$ , celková ochlazovaná plocha  $\Sigma A_j = 16\,525 \text{ m}^2$ , takže geometrická charakteristika polikliniky  $(\Sigma A_j/V) = 0,28 \text{ l/m}$ .

Výsledky měření spotřeby tepla při vytápění polikliniky v jednotlivých měsících jsou v *tab. 59*. Vzhledem k tomu, že spotřeba tepla při vytápění byla měřena spolu se spotřebou tepla pro ohřev teplé vody, je nutno toto množství tepla odečíst. K jeho stanovení byl použit „obvyklý postup“, tj. zjistila se spotřeba tepla pro ohřev teplé vody v měsících, ve kterých se budovy nevytápěly (červen až srpen). Bylo zjištěno, že průměrná spotřeba tepla pro ohřev teplé vody za měsíc je  $171\,310 \text{ GJ/měs.}$



*Obr. 11* Poliklinika Prosek

Tab. 59 Výsledky měření spotřeby tepla ( $Q_c$  – celková spotřeba tepla při vytápění a ohřevu TV,  $Q_{vyt}$  – spotřeba tepla při vytápění,  $Q_z$  – tepelná ztráta budov)

| Měsíc | $\theta_{em}$<br>(°C) | $Q_c$<br>(GJ) | $Q_{vyt}$ |         | $Q_z$<br>(kW) |
|-------|-----------------------|---------------|-----------|---------|---------------|
|       |                       |               | (GJ)      | (kWh)   |               |
| I     | 1,4                   | 1 713 550     | 1 542 240 | 428 400 | 575,800       |
| II    | 4,5                   | 1 411 340     | 1 240 030 | 344 453 | 512,579       |
| III   | 4,7                   | 1 402 320     | 1 231 010 | 341 947 | 459,606       |
| IV    | 10,8                  | 901 430       | 730 120   | 202 811 | 281,682       |
| X     | 9,2                   | 818 510       | 647 200   | 197 778 | 241,637       |
| XI    | 1,5                   | 1 742 610     | 1 571 300 | 436 472 | 606,211       |
| XII   | 0,4                   | 1 586 570     | 1 415 260 | 393 128 | 528,397       |

Z hodnot uvedených v tab. 59 vychází celková spotřeba tepla při vytápění

$Q_t = 2\,344\,989 \text{ kWh/a} = 2\,345 \text{ MWh/a}$ . Závislost tepelných ztrát na průměrné měsíční teplotě vnějšího vzduchu  $Q = f(\theta_{em})$  má tvar:

$$Q = 612,233 - 33,222 \cdot \theta_{em}$$

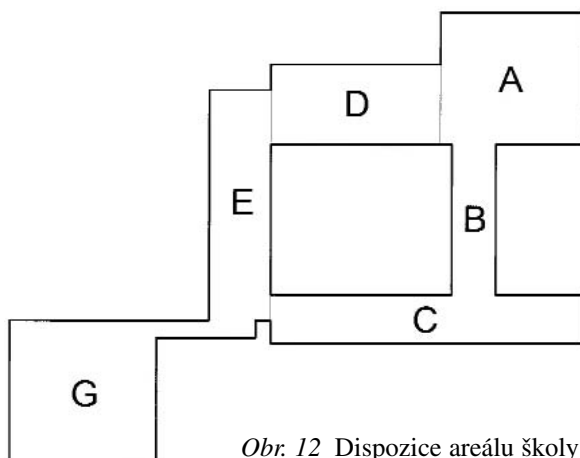
Maximální tepelná ztráta při teplotě  $\theta_e = -12^\circ\text{C}$  je  $Q_{max} = 1\,011 \text{ kW}$ , měrná spotřeba tepla při vytápění je  $e_v = 39,9 \text{ kWh/(m}^3 \text{ a)}$ .

Spotřeba tepla při vytápění stanovená výpočtem je  $2\,253 \text{ MWh/a}$ . Z porovnání vypočítaných a naměřených hodnot spotřeby tepla při vytápění je vidět, že naměřené hodnoty jsou nepatrně vyšší než vypočítané (rozdíl je asi 4,1 %), což je pravděpodobně způsobeno i tím, že zatímco výpočet se vztahuje na vytápění v měsících říjen až duben, naměřené hodnoty obsahují ještě další teplo, které bylo spotřebované při vytápění budov v květnu a v září.

### (18) Budova ZDŠ [2.39]

Areál základní devítileté školy Donovalská se nachází v Praze na Jižním Městě. Škola sestává ze tří dvoupodlažních pavilonů A, B, C a třípodlažních pavilonů D, E, přičemž pavilon G byl přistaven dodatečně. Posouzení samostatného pavilonu G bylo provedeno v roce 2001.

Dispozice areálu školy je naznačena na obr. 12.



Obr. 12 Dispozice areálu školy



Nosné konstrukce tvoří montovaný železobetonový skelet. Technické podlaží má minimální výšku a slouží pro technické rozvody. Konstrukční výška typického podlaží je 3,6 m. Schodiště jsou montovaná, železobetonová. Stropy jsou ze železobetonových panelů, v několika místech jsou výjimečně monolitické.

Obvodový plášť nadzemních podlaží je vybudován z prvků FEAL-VAR M3, upravených pro použití na nosné železobetonové konstrukce typu Konstruktiva. Členění fasády je převážně v modulech 1,2 a 0,6 m. Základem obvodového pláště je panel FEAL s tepelnou izolací z pěnového polyuretanu o tloušťce 80 mm v kovovém obalu. Povrch panelu je zčásti obložen keramickými obkládačkami, osazenými suchou cestou do hliníkových profilů. Systém obvodového pláště je doplněn horizontálními a vertikálními slunolamy. Štíty pavilonů jsou zhotoveny z keramických panelů o tloušťce 300 mm. V roce 1999 a 2000 byly tyto štítové panely zateplený z vnější strany tepelnou izolací Royfield a obloženy lamelami Al s povrchovou úpravou. V suterénu tvoří obvodový plášť železobetonové panely, obložené obkládačkami z kameniny. Ploché střechy jsou jednoplášťové o součiniteli prostupu tepla  $U_s = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Okna jsou kovová, spojená se systémem obvodového pláště FEAL.

Základní škola je vytápěna z blokové plynové teplovodní kotelny. Topná voda je z kotelny vedena venkovním kanálem do pavilonu E a suterénu a odtud do předávací stanice, umístěné v přízemí pavilonu A. Z této předávací stanice je samostatně upraven byt školníka s vlastním otopným režimem a dodatečně přistavený pavilon G.

Všechny učebny v jednotlivých pavilonech a tělocvična byly před úpravou provedenou v roce 1997 vytápěny teplou vodou, regulovanou centrálně z blokové kotelny. Protože bloková kotelná dodává teplo z největší části pro vytápění bytů v sídlišti, byly provozní režim a regulace teplé vody prováděny podle potřeb bytových domů. Před úpravou regulace bylo vytápění školy provozováno od 6.00 h do 22.00 h s útlumem v nočních hodinách.

Škola má však jiný provozní režim, takže je v ní možno začít s útlumem již v odpoledních nebo večerních hodinách, popř. tlumit provoz o sobotách a nedělích. Po projednání s dodavatelem tepla byly provedeny ve strojovně školy změny s možností centrálního doregulování otopného režimu školy v závislosti na teplotě venkovního vzduchu, která je snímána čidlem, umístěným na severní straně budovy. Tato regulace nepostihuje vliv tepelně technických vlastností obvodového pláště budovy, ani vliv slunečního svitu při různé orientaci vůči světovým stranám, ani vliv vnitřních zdrojů tepla z pobývajících osob. Pro doregulování vnitřní teploty vzduchu v jednotlivých místnostech byly u otopných těles osazeny termostatické ventily. Všechna tato opatření se projevila ve významném snížení spotřeby tepla při vytápění.

Tab. 60 Spotřeba tepla školní budovy pro jednotlivá otopná období

| Otopné období | Měsíc | $\theta_{em}$ (°C) | $Q_{tm}$ (GJ/měs) | $Q_t$ (GJ/a) | $D$ (d · K) | $E_D$ (GJ/D) |
|---------------|-------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|
| 1995/1996     | X     | 8,3                | 413               |              |             |              |
|               | XI    | 1,5                | 831               |              |             |              |
|               | XII   | - 1,6              | 1 105             |              |             |              |
|               | I     | - 2,0              | 1 205             | 4 449        | 3 090       | 1,44         |
|               | II    | - 2,9              | 127               |              |             |              |
|               | III   | 0,6                | 139               |              |             |              |
|               | IV    | 9,3                | 629               |              |             |              |

| Otopné období | Měsíc | $\theta_{em}$<br>(°C) | $Q_{lm}$<br>(GJ/měs) | $Q_l$<br>(GJ/a) | $D$<br>(d · K) | $E_D$<br>(GJ/D) |
|---------------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1996/1997     | X     | 9,9                   | 134                  |                 |                |                 |
|               | XI    | 5,1                   | 481                  |                 |                |                 |
|               | XII   | - 4,1                 | 1 543                |                 |                |                 |
|               | I     | - 3,8                 | 777                  | 4 455           | 2 832          | 1,57            |
|               | II    | 3,6                   | 561                  |                 |                |                 |
|               | III   | 5,3                   | 472                  |                 |                |                 |
|               | IV    | 6,2                   | 487                  |                 |                |                 |
| 1997/1998     | X     | 7,0                   | 209                  |                 |                |                 |
|               | XI    | 3,3                   | 426                  |                 |                |                 |
|               | XII   | 1,9                   | 617                  |                 |                |                 |
|               | I     | 1,4                   | 374                  |                 |                |                 |
|               | II    | 4,5                   | 494                  |                 |                |                 |
|               | III   | 4,7                   | 392                  | 2 688           | 2 544          | 1,06            |
|               | IV    | 10,8                  | 176                  |                 |                |                 |
| 1998/1999     | X     | 9,2                   | 179                  |                 |                |                 |
|               | XI    | 1,4                   | 548                  |                 |                |                 |
|               | XII   | 0,4                   | 698                  |                 |                |                 |
|               | I     | 1,3                   | 386                  | 2 856           | 2 689          | 1,06            |
|               | II    | - 0,1                 | 609                  |                 |                |                 |
|               | III   | 5,8                   | 274                  |                 |                |                 |
|               | IV    | 9,9                   | 162                  |                 |                |                 |
| 1999/2000     | X     | 9,3                   | 115                  |                 |                |                 |
|               | XI    | 3,1                   | 356                  |                 |                |                 |
|               | XII   | 1,6                   | 299                  |                 |                |                 |
|               | I     | - 0,6                 | 542                  | 1 931           | 2 488          | 0,78            |
|               | II    | 3,6                   | 227                  |                 |                |                 |
|               | III   | 4,6                   | 262                  |                 |                |                 |
|               | IV    | 11,8                  | 130                  |                 |                |                 |

Podle výkazu školy byla vyhodnocena roční spotřeba tepla při vytápění školní budovy pro otopná období 1995/1996 až 2000/2001 – viz *tab. 60*. Pro každé otopné období je vypočtena současně spotřeba tepla v GJ, vztažená na 1 denostupeň pro střední teplotu budovy 16,5 °C.

Z popisu opatření provedených ve školní budově je zřejmé, že lze zaznamenat z hlediska naměřené spotřeby tepla při vytápění tři období:

- původní stav (období 1995/1996 a 1996/1997),
- stav po regulaci (1997/1998 a 1998/1999),
- stav po zateplení (1999/2000).

Podle *tab. 60* je spotřeba tepla vztažená na jeden denostupeň a připadající na jednotlivá období v *tab. 61*.

Tab. 61 Souhrn údajů z tab. 60 o spotřebě tepla připadající na jeden denostupeň a jednotlivá období (průměrné hodnoty)

| Období       | A     | B    | C    |
|--------------|-------|------|------|
| $E_D$ (GJ/D) | 1,505 | 1,06 | 0,78 |

Zavedení regulace a změna režimu vytápění ve škole znamenala zmenšení spotřeby tepla při vytápění o 29,6 % a po zateplení o 48,2 % proti původnímu stavu; zmenšení spotřeby tepla po zateplení, v porovnání se stavem po regulaci, je 26,4 %.

Výpočtem, který zahrnoval také tepelné zisky ze slunečního záření a tepelné zisky z pobývajících osob, byla zjištěna spotřeba tepla při vytápění připadající na jeden denostupeň  $E_D = 0,93$  GJ/D.

Protože s tepelnými zisky je možno počítat po zavedení regulace, vychází podle výpočtu úspora tepla v důsledku jejich využití 38,2 %. V porovnání s výsledkem získaným měřením je to o 8,6 % více. To znamená, že výpočet nadhodnocuje tepelné zisky proti naměřeným hodnotám. Proto je třeba při jejich stanovování zachovat jistou obezřetnost (na toto téma, tj. zda se význam tepelných zisků nepřeceňuje, se poukazuje např. v [2.40].

#### Poznámka:

Další opatření ke zmenšení spotřeby tepla bylo provedeno v roce 2001. Opatření spočívalo v osazení regulačních zařízení v jednotlivých pavilonech, což umožňuje programovat v nich teplotu podle potřeby, např. tělocvičnu i ve večerních hodinách, družinu v odpoledních hodinách apod.

### 2.2.1.5 Souhrn rozdílů vypočítaných a naměřených tepelných ztrát

Porovnání vypočítaných a naměřených tepelných ztrát je významné proto, že se získá přehled o tom, jak se shoduje „teorie a praxe“, tj. do jaké míry odpovídají předpoklady (vstupní údaje) uplatněné v návrhu a při realizaci dané budovy zjištěné skutečnosti. Pokud je rozdíl vypočítaných a naměřených tepelných ztrát větší než je přípustné, je nutno hledat příčiny (což bylo u některých vpředu uvedených případů provedeno – např. se zjistilo, že zatímco výpočet byl vztážen – zcela přirozeně – na otopné období, ve skutečnosti se budovy vytápěly i mimo otopné období). Zároveň se na základě porovnání vypočítaných a naměřených tepelných ztrát přesvědčujeme, že výpočet a ani měření není zatíženo nějakou náhodnou chybou.

Souhrn jejich rozdílů je v tab. 62. Rozdíly  $\Delta Q$  (%) jsou vyjádřeny v procentech a stanoveny podle vztahu

$$\Delta Q = ((Q_{\text{vyp}} - Q_{\text{exp}}) \cdot 100) / Q_{\text{vyp}}$$

Tab. 62 Rozdíl mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami tepelných ztrát

| Č. | Budova           | $\Delta Q$ (%)      |
|----|------------------|---------------------|
| 1  | T 02 B           | 8,0                 |
| 2  | T 16             | 1,7                 |
| 3  | T 16 S (3 sekce) | 7,0                 |
| 4  | T 16 S (4 sekce) | - 1,7 <sup>*)</sup> |
| 5  | G 40             | 9,1                 |
| 6  | T 06 B           | 4,5                 |

| Č. | Budova                    | $\Delta Q$ (%)     |
|----|---------------------------|--------------------|
| 8  | T 08 B                    | 4,5                |
| 10 | L & N                     | 2,8                |
| 11 | BANKS, V1 <sup>**) </sup> | 1,6                |
|    | BANKS, V2 <sup>**) </sup> | 15,0               |
|    | BANKS, V3 <sup>**) </sup> | 13,8               |
|    | BANKS, V4 <sup>**) </sup> | -1,4 <sup>*)</sup> |
| 13 | PS 69                     | 4,8                |

<sup>\*)</sup> Záporné hodnoty značí, že naměřené hodnoty jsou větší než vypočítané

<sup>\*\*)</sup>  V1 až V4 značí variantu

Z tab. 62 je vidět, že rozpětí odchylek mezi naměřenými údaji a vypočtenými údaji je 1,7 až 15,0 % a že ve většině případů jsou vypočítané hodnoty větší než naměřené hodnoty – tedy, že uplatněné způsoby výpočtu tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění budov jsou na straně bezpečnosti, takže skýtají záruku, že nedojde v důsledku výpočtu k nežádoucím problémům při zásobování budov teplem a dále, že hodnocení budov z hlediska spotřeby tepla při vytápění je v přijatelných mezích.

### 2.2.1.6 Stupeň energetické náročnosti hodnocených budov

V ČSN 73 0540 se uvádí klasifikace energetické náročnosti budov podle stupně energetické náročnosti SEN (%), daného vztahem:

$$SEN = (100 \cdot e_V) / e_{VN} \quad (2.4)$$

kde  $e_V$  je zjištěná hodnota měrné spotřeby tepla (kWh/(m<sup>3</sup>a)) a  $e_{VN}$  je požadovaná hodnota měrné spotřeby tepla (kWh/(m<sup>3</sup>a)) – viz [2.41].

Tab. 63 Klasifikace energetické náročnosti budov (ČSN 73 0540)

| Stupeň energetické náročnosti budov<br>SEN (%) | Klasifikace energetické náročnosti budov | Slovní vyjádření klasifikace budovy |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
| ≤ 40                                           | A                                        | Mimořádně úsporná                   |
| ≤ 60                                           | B                                        | Velmi úsporná                       |
| ≤ 80                                           | C                                        | Úsporná                             |
| ≤ 100                                          | D                                        | Vyhovující                          |
| ≤ 120                                          | E                                        | Nevyhovující                        |
| ≤ 150                                          | F                                        | Výrazně nevyhovující                |
| > 150                                          | G                                        | Mimořádně nevyhovující              |

V tab. 64 je uveden přehled měrné spotřeby tepla hodnocených budov a jejich klasifikace podle tab. 63.

Tab. 64 Stupeň energetické náročnosti hodnocených budov

| Č. | Budova              | $e_v(\text{kWh}/(\text{m}^3\text{a}))$ | SEN(%) | Třída | Poznámka                                             |
|----|---------------------|----------------------------------------|--------|-------|------------------------------------------------------|
| 1  | T 02 B              | 34,3                                   | 110    | E     |                                                      |
| 2  | T 16                | 43,6                                   | 165    | G     |                                                      |
| 3  | T 16 S<br>(3 sekce) | 53,4                                   | 185    | G     |                                                      |
| 4  | T 16 S<br>(4 sekce) | 47,7                                   | 169    | G     |                                                      |
| 5  | G 40                | 49,7                                   | 163    | G     |                                                      |
| 6  | T 06 B              | 53,4                                   | 175    | G     |                                                      |
|    |                     | 47,2                                   | 155    | G     | Po provedení úpravy OS a její regulace <sup>*)</sup> |
| 8  | T 08 B              | 48,1                                   | 165    | G     |                                                      |
| 9  | VVÚ ETA             | 49,8                                   | 184    | G     |                                                      |
| 10 | L & N               | 39,6                                   | 141    | F     | Vnější stěna s 60 mm EPS <sup>**)</sup>              |
| 11 | BANKS, V1           | 53,8                                   | 177    | G     | Původní stav                                         |
|    | BANKS, V2           | 43,0                                   | 141    | F     | Dodatečná izolace OP <sup>***)</sup>                 |
|    | BANKS, V3           | 42,5                                   | 140    | F     | V2+výměna zaskleného schodiště panely                |
|    | BANKS, V4           | 52,5                                   | 173    | G     | Dodatečná izolace štítů                              |
| 12 | B 70                | 38,7                                   | 137    | F     |                                                      |
| 13 | PS 69               | 42,5                                   | 141    | F     |                                                      |
| 14 | RD                  | 28,0                                   | 63     | C     | Vysoký tepelný odpor OP <sup>***)</sup>              |

<sup>\*)</sup> OS – otopná soustava

<sup>\*\*)</sup> EPS – expandovaný polystyren

<sup>\*\*\*)</sup> OP – obvodový plášť

Z tab. 64 je zřejmé, že z hlediska současných požadavků na spotřebu tepla při vytápění byly panelové domy s původními tepelně technickými vlastnostmi výrazně, popř. až mimořádně nevyhovující. V době jejich výstavby však žádné kritérium pro hodnocení budov z hlediska spotřeby tepla při vytápění neplatilo. Takové kritérium bylo zavedeno až v revidované ČSN 73 0540 v roce 1979. Požadovalo se v ní, aby bytové domy neměly spotřebu tepla při vytápění větší než 9,3 MWh/ (měrný byt, rok); protože měrný byt se uvažoval o objemu 200 m<sup>3</sup>, pak po převedení na měrnou spotřebu tepla se obdrží  $e_v = 46,5 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{a})$ .

Z pohledu tohoto kritéria jsou už hodnoty  $e_v$  v tab. 64 přijatelnější, i když ne ve všech případech vyhovující. Nicméně, situace se zlepšila tím, že byla provedena revize typových podkladů panelových domů, a to tak, aby jejich realizace po této revizi zajišťovala všechny požadavky ČSN 73 0540/1979, včetně požadavku na spotřebu tepla při vytápění.

Poněkud jiná klasifikace budov, založená na přímém vyjádření měrné spotřeby tepla při vytápění, je uvedena v [2.42] – viz tab. 65. Hodnoty v tab. 65 vycházejí z údajů WSV0 95 [2.43] a vztahují se na podíl ochlazované plochy obvodových konstrukcí k obestavěnému objemu 0,6 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Tab. 65 Klasifikace budov z hlediska spotřeby tepla při vytápění podle [2.42] ( $e_{VA}$  je měrná spotřeba tepla [kWh/(m<sup>2</sup>a)])

| Kategorie                       | Rozmezí             | $e_{VA}$ (kWh/(m <sup>2</sup> a)) |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Quazi-nulové domy <sup>*)</sup> | dolní hranice       | 0                                 |
|                                 | horní hranice       | 5                                 |
| Nízkoenergetické domy           | dolní hranice       | 5                                 |
|                                 | horní hranice       | 50                                |
| Energeticky úsporné domy        | dolní hranice       | 50                                |
|                                 | horní hranice       | 70                                |
| Běžná výstavba                  | WSVO,95             | 75                                |
|                                 | aktuální stav v SRN | 180                               |

<sup>\*)</sup> Tyto domy jsou označovány také jako „ultra-nízkoenergetické domy“ nebo „plus-domy“ – viz [2.42]

V rámci této klasifikace patří panelové domy v ČR, v porovnání se stavem v SRN, do kategorie „běžná výstavba – aktuální stav“. V tab. 64 je uvedena také hodnota měrné spotřeby tepla rodinného domu – viz položku 14; tento dům lze zařadit, podle tab. 65, mezi domy energeticky úsporné – což je v souladu i s klasifikací v ČSN 73 0540.

V Rakousku se uvádí pro hodnocení energetického stavu budovy veličina „energetické číslo obálky budovy“, s označením LEK [2.44]. Je to bezrozměrná charakteristika, která je dána průměrnou hodnotou součinitele prostupu tepla vnějších konstrukcí, vynásobeného 10 a vztahového ke geometrii budovy. Veličina LEK se stanoví ze vztahu:

$$LEK = U_m \cdot \frac{300}{2 + \ell_c} \quad (2.5)$$

kde  $U_m$  je průměrná hodnota součinitele prostupu tepla vnějších stěn (W/(m<sup>2</sup>K)),  
 $\ell_c$  charakteristická délka budovy (m); stanoví se ze vztahu

$$\ell_c = V_B/A_B,$$

$V_B$  obestavěný vytápěný prostor budovy (m<sup>3</sup>),  
 $A_B$  plocha vnějších konstrukcí (m<sup>2</sup>).

Podle hodnoty LEK se hodnotí úroveň tepelné ochrany budov [2.45] – viz tab. 66.

Tab. 66 Hodnocení úrovně tepelné ochrany budov v Rakousku podle hodnoty LEK (B 8110 – viz [2.46])

| Hodnota LEK    | Úroveň tepelné ochrany                   |
|----------------|------------------------------------------|
| LEK > 100      | Zcela nepřijatelná tepelná ochrana       |
| 100 ≥ LEK < 70 | Minimální požadavky podle B 8110 (1952)  |
| 70 ≥ LEK < 50  | Požadavky podle B 8110 (1983)            |
| 50 ≥ LEK < 40  | Tepelná ochrana podle dohody z roku 1990 |
| 40 ≥ LEK < 30  | Podstatně zvýšená tepelná ochrana        |
| 30 ≥ LEK < 20  | Energeticky úsporný dům                  |
| LEK ≤ 20       | Nízkoenergetický dům                     |

Např. T 16 S se čtyřmi sekcemi má průměrnou hodnotu součinitele prostupu tepla  $U_m = 1,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a charakteristickou délku budovy  $\ell_c = 3,4 \text{ m}$ , takže  $\text{LEK} = 81,1$ . Podle této hodnoty by patřil typ T 16 S do skupiny „minimální požadavky z roku 1952“; z čehož plyne, že odpovídá požadavkům uplatňovaným v Rakousku v té době (tzn., že požadavky u nás a v Rakousku se nelišily). Totéž lze konstatovat i pro období 1983. Např. typ Larsen & Nielsen má hodnotu  $\text{LEK} = 61,9$ .

## 2.2.2 Spotřeba tepla při ohřevu teplé vody

Skutečná roční spotřeba tepla při ohřevu teplé vody (TV, dříve „teplé užitkové vody“ se zkratkou TV) kolísá v poměrně širokých mezích, v závislosti na počtu osob v bytě, způsobu ohřevu a zvyklostech uživatelů bytů. Podle údajů Pražské plynárenské, a. s., [2.47] se předpokládá u individuálních spotřebitelů v bytech a rodinných domech roční spotřeba zemního plynu, v závislosti na velikosti zdroje, v rozmezí (300 až 500)  $\text{m}^3/\text{a}$ .

Při uvažování horní hranice průměrné spotřeby zemního plynu  $500 \text{ m}^3/\text{a}$  účinnosti přípravy TV:  $\eta = 0,80$  a výhřevnosti plynu  $34 \text{ MJ/m}^3$  [2.48], vychází roční spotřeba tepla při ohřevu TV ve výši  $13\,600 \text{ MJ/a}$ , tj.  $3\,777 \text{ kWh/a}$ . Podle ČSN 06 0320 [2.49] se obdrží pro průměrný byt  $Q_{\text{TV}} = 3 \cdot 250 \cdot 4,5 + 3 \cdot 100 \cdot 6 = 5\,175 \text{ kWh/a}$ . U rozlehlých vícepodlažních bytových objektů jsou naměřené hodnoty ještě vyšší, jak se o tom přesvědčíme z následujících výsledků.

### (1) Dvanáctipodlažní dům VVÚ ETA

Bytový dům má 331 bytů. Průměrný obestavěný prostor jednoho bytu je  $237 \text{ m}^3$ . Spotřeba tepla při ohřevu TV byla zjištěna na základě odečtu separátních měřidel v bojlerové stanici. Údaje o spotřebě tepla v letech 1982 až 1986 jsou v *tab. 67*.

*Tab. 67* Roční spotřeba tepla  $Q_{\text{TV}}$  (MWh/(byt.a)) při ohřevu TV

| Rok           | $Q_{\text{TV}}$ (MWh/(byt.a)) |
|---------------|-------------------------------|
| 1982          | 7,20                          |
| 1983          | 7,09                          |
| 1984          | 7,23                          |
| 1985          | 7,35                          |
| 1986          | 6,91                          |
| <b>Průměr</b> | <b>7,16</b>                   |

Průměrná spotřeba tepla  $Q_{\text{TV}}$  v jednotlivých měsících u téhož objektu je v *tab. 68* [2.50].

*Tab. 68* Spotřeba tepla  $Q_{\text{TV}}$  při ohřevu TV v jednotlivých měsících pro celý dům (MWh/(dům.měs)) a na byt (MWh/(byt.měs))

| Měsíc | $Q_{\text{TV}}$ |                 |
|-------|-----------------|-----------------|
|       | (MWh/(dům.měs)) | (MWh/(byt.měs)) |
| I     | 235,34          | 0,711           |
| II    | 222,43          | 0,672           |
| III   | 236,00          | 0,713           |

| Měsíc                | $Q_{TV}$        |                 |
|----------------------|-----------------|-----------------|
|                      | (MWh/(dům.měs)) | (MWh/(byt.měs)) |
| IV                   | 208,53          | 0,630           |
| V                    | 204,89          | 0,619           |
| VI                   | 179,40          | 0,542           |
| VII                  | 125,12          | 0,378           |
| VIII                 | 104,60          | 0,316           |
| IX                   | 160,20          | 0,484           |
| X                    | 213,16          | 0,644           |
| XI                   | 213,14          | 0,653           |
| XII                  | 256,86          | 0,776           |
| <b>Celkem za rok</b> | <b>2 363,34</b> | <b>7,14</b>     |

Pro porovnání je proveden výpočet spotřeby tepla při ohřevu TV podle ČSN 06 0320. Uvažuje se přitom 250 všedních dnů a 115 sobot, nedělí a svátků. Obestavěný prostor průměrného bytu je 273 m<sup>3</sup>. Počet osob v průměrném bytě se uvažuje ve dvou variantách: a) 3 osoby, b) 3,5 osoby. V případě ad a) vychází roční spotřeba tepla při ohřevu TV 5,17 MWh/(byt.a) a v případě ad b) 6,04 MWh/(byt.a). Tyto hodnoty jsou nižší než hodnoty skutečné spotřeby – viz *tab. 67*, popř. *tab. 68*.

## (2) Osmipodlažní dům T 08 B

Dům má 31 bytových jednotek. Průměrný obestavěný prostor jednoho bytu je 202 m<sup>3</sup>.

Všechny byty jsou třípokojové. Zjištěná spotřeba tepla při ohřevu TV v roce 1995 je v *tab. 69*.

*Tab. 69* Spotřeba tepla  $Q_{TV}$  při ohřevu TV v jednotlivých měsících pro celý dům (MWh/(dům.měs)) a na byt (MWh/(byt.měs))

| Měsíc                | $Q_{TV}$        |                 |
|----------------------|-----------------|-----------------|
|                      | (MWh/(dům.měs)) | (MWh/(byt.měs)) |
| I                    | 19,30           | 0,622           |
| II                   | 17,19           | 0,555           |
| III                  | 17,83           | 0,575           |
| IV                   | 19,25           | 0,621           |
| V                    | 18,30           | 0,590           |
| VI                   | 15,72           | 0,507           |
| VII                  | 10,63           | 0,343           |
| VIII                 | 15,90           | 0,513           |
| IX                   | 15,60           | 0,503           |
| X                    | 17,23           | 0,556           |
| XI                   | 17,45           | 0,563           |
| XII                  | 19,01           | 0,613           |
| <b>Celkem za rok</b> | <b>203,43</b>   | <b>6,56</b>     |



Z porovnání výsledků získaných pro budovu VVÚ ETA a T 08 B je zřejmé, že v T 08 B je spotřeba tepla při ohřevu TV menší o 8,1 % než v budově VVÚ ETA. Tento rozdíl je způsoben mj. tím, že existuje mezi nimi podstatný rozdíl v délce rozvodného potrubí. Zatímco VVÚ ETA má obestavěný prostor 78 400 m<sup>3</sup>, má T 08 B obestavěný prostor 6 260 m<sup>3</sup>. V důsledku toho je také tepelná ztráta rozvodného potrubí větší. Vedle toho je také obestavěný prostor průměrného bytu v budově VVÚ ETA o 17,3 % větší než v budově T 08 B.

### (3) Pětipodlažní cihlový dům

Dům má tři sekce. Počet bytů v domě je 29, počet nájemníků 72. Na jeden průměrný byt připadá 2,5 obyvatel. V roce 1996 byla provedena v domě výměna kotle na koks za kotel na zemní plyn. Spotřeba plynu pro vytápění i ohřev TV byla měřena společným plynoměrem, takže spotřeba plynu pro ohřev TV mohla být měřena jen v letních měsících.

Podle [2.51] je denní spotřeba TV v bytových domech o nedělích 0,152 m<sup>3</sup>/(byt.den) s tím, že ve všední dny je až o 50 % menší. Z toho plyne, že průměrná spotřeba TV v bytových domech je 0,1 m<sup>3</sup>/(byt.den).

V tab. 70 jsou uvedeny hodnoty spotřeby zemního plynu v době od 12. 5. do 13. 9. 1996, kdy dům už nebyl vytápěn. V této tabulce je dále uvedeno v příslušných časových intervalech množství tepla, potřebného k ohřevu TV z počáteční teploty na teplotu 55 °C (viz ČSN 06 0320). Toto množství tepla je dáno vztahem

$$Q_{TV} = c \cdot \rho \cdot \Delta V_{TV} \cdot \Delta t \quad (2.6)$$

kde  $c$  je měrná tepelná kapacita vody; při uvažování průměrné teploty vody 32,5 °C je  $c = 4,199 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ ,

$\rho$  hustota vody,  $\rho = 994,8 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,

$\Delta V_{TV}$  objemový průtok vody (m<sup>3</sup>) v příslušném časovém intervalu  $\Delta t$  (týden, den ... apod.),

$\Delta t$  rozdíl teploty vody na vstupu a výstupu (K); uvažuje se  $\Delta t = 55 - 10 = 45 \text{ K}$ .

Po dosazení uvedených číselných údajů do vztahu (2.6) se získá vztah

$$Q_{TV} = 187,972 \cdot \Delta V_{TV} \quad (2.7)$$

Ze spotřebovaného zemního plynu se získá množství tepla

$$Q_{ZP} = 34 \cdot \Delta M$$

kde číselná hodnota 34 je výhřevnost zemního plynu (MJ/m<sup>3</sup>);  $\Delta M$  je spotřeba zemního plynu v příslušném časovém intervalu  $\Delta t$ .

Účinnost při ohřevu TV je dána vztahem

$$\eta = \frac{Q_{TV}}{Q_{ZP}}$$

Naměřené hodnoty spotřeby zemního plynu v době mimo otopné období, získané teplo, objemový průtok vody a teplo spotřebované k ohřevu TV jsou v tab.70.

Tab. 70 Spotřeba zemního plynu  $\Delta M$  ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ), získané teplo  $Q_{\text{ZP}}$  ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ), spotřeba teplé vody  $\Delta V_{\text{TV}}$  ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ), spotřeba tepla pro ohřev  $Q_{\text{TV}}$  ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ) a účinnost  $\eta$  ( $M$  množství plynu ( $\text{m}^3$ );  $V$  množství vody ( $\text{m}^3$ ))

| Datum       | Spotřeba ZP          |                                        |                                            | Spotřeba TV          |                                                    |                                            | $\eta(-)$ |
|-------------|----------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|
|             | $M$ ( $\text{m}^3$ ) | $\Delta M$ ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ) | $Q_{\text{ZP}}$ ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ) | $V$ ( $\text{m}^3$ ) | $\Delta V_{\text{TV}}$ ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ) | $Q_{\text{TV}}$ ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ) |           |
| 12. 5. 1999 | 53 290               | –                                      | –                                          | 767                  | –                                                  | –                                          | –         |
| 31. 5. 1999 | 54 273               | 983                                    | 33 442                                     | 839                  | 72                                                 | 13 534                                     | 0,40      |
| 19. 6. 1999 | 55 090               | 823                                    | 27 982                                     | 908                  | 69                                                 | 12 970                                     | 0,46      |
| 30. 6. 1999 | 55 508               | 418                                    | 14 212                                     | 949                  | 41                                                 | 7 707                                      | 0,54      |
| 13. 7. 1999 | 55 954               | 446                                    | 15 164                                     | 987                  | 38                                                 | 7 143                                      | 0,47      |
| 28. 7. 1999 | 56 470               | 516                                    | 17 544                                     | 1 033                | 46                                                 | 8 647                                      | 0,49      |
| 23. 8. 1999 | 57 247               | 777                                    | 26 418                                     | 1 097                | 64                                                 | 12 030                                     | 0,52      |
| 13. 9. 1999 | 57 928               | 681                                    | 23 154                                     | 1 161                | 64                                                 | 12 030                                     | 0,52      |

Na základě hodnot v tab. 70 lze zjistit, že množství TV, vztažené na byt a den je  $0,109 \text{ m}^3/(\text{byt}.\text{den})$ . V [2.51] se uvádí pro bytové domy průměrná hodnota  $0,098 \text{ m}^3/(\text{byt}.\text{den})$ . Z hodnot v tab. 70 dále vyplývá, že spotřeba tepla při ohřevu TV (zajištěná spotřebovaným zemním plynem) je  $4,93 \text{ kWh}/(\text{osobu}.\text{den})$ . Podle ČSN 06 0320 vychází spotřeba tepla při průměrném počtu 2,5 osoby na byt, spotřeba tepla  $4,31 \text{ kWh}/(\text{osobu}.\text{den})$ .

#### (4) Dvougenerační rodinný dům

Dům má dvě podlaží a je obýván čtyřmi dospělými a třemi dětmi. Spotřeba plynu pro ohřev TV byla měřena samostatně podružným plynoměrem, instalovaným před zásobníkový ohřeváč. Vyhodnocení spotřeby zemního plynu pro ohřev TV bylo provedeno pro tři časové úseky:

- celoroční období – viz tab. 71 (přibližně měsíční odečty),
- otopné období – viz tab. 72 (týdenní odečty),
- letní období – viz tab. 73 (týdenní odečty).

Toto rozdělení časových úseků pro vyhodnocení účinnosti ohřevu TV bylo provedeno proto, že se zjistilo, že v důsledku různých tepelných ztrát v izolovaném rozvodném potrubí, kterým se TV přivádí do koupelen a proudící nevytápěnou garáží, je vyšší v letním období než v zimním.

Tab. 71 Spotřeba zemního plynu  $\Delta M$  ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ), získané teplo  $Q_{\text{ZP}}$  ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ), spotřeba teplé vody  $\Delta V_{\text{TV}}$  ( $\text{m}^3/\Delta\tau$ ), spotřeba tepla pro ohřev  $Q_{\text{TV}}$  ( $\text{MJ}/\Delta\tau$ ) a účinnost  $\eta$  v jednotlivých měsících celého roku ( $M$  množství plynu ( $\text{m}^3$ );  $V$  množství vody ( $\text{m}^3$ ))

| Datum      | Spotřeba ZP          |                                        |                                            | Spotřeba TV          |                                                    |                                            | $\eta(-)$ |
|------------|----------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|
|            | $M$ ( $\text{m}^3$ ) | $\Delta M$ ( $\text{m}^3/\text{měs}$ ) | $Q_{\text{ZP}}$ ( $\text{MJ}/\text{měs}$ ) | $V$ ( $\text{m}^3$ ) | $\Delta V_{\text{TV}}$ ( $\text{m}^3/\text{měs}$ ) | $Q_{\text{TV}}$ ( $\text{MJ}/\text{měs}$ ) |           |
| 4. 5. 1997 | 163,494              | –                                      | –                                          | 17,189               | –                                                  | –                                          | –         |
| 1. 6. 1997 | 198,185              | 34,691                                 | 1 179,49                                   | 21,540               | 4,36                                               | 819,54                                     | 0,69      |
| 6. 7. 1997 | 235,878              | 37,69                                  | 1 281,66                                   | 26,58                | 5,03                                               | 945,44                                     | 0,74      |
| 3. 8. 1997 | 262,532              | 26,65                                  | 906,24                                     | 30,27                | 3,69                                               | 694,54                                     | 0,77      |
| 7. 9. 1997 | 296,257              | 33,72                                  | 1 146,65                                   | 35,42                | 5,15                                               | 967,85                                     | 0,84      |

| Datum         | Spotřeba ZP           |                                     |                      | Spotřeba TV           |                                          |                      | $\eta(-)$   |
|---------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------|
|               | $M$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta M$<br>(m <sup>3</sup> /měs) | $Q_{ZP}$<br>(MJ/měs) | $V$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V_{TV}$<br>(m <sup>3</sup> /měs) | $Q_{TV}$<br>(MJ/měs) |             |
| 5. 10. 1997   | 329,369               | 33,11                               | 1 125,81             | 40,24                 | 4,82                                     | 905,88               | 0,80        |
| 2. 11. 1997   | 365,103               | 35,73                               | 1 214,95             | 45,05                 | 4,81                                     | 903,38               | 0,74        |
| 7. 12. 1997   | 412,761               | 44,66                               | 1 518,37             | 50,40                 | 5,35                                     | 1 006,01             | 0,66        |
| 4. 1. 1998    | 450,579               | 40,57                               | 1 379,58             | 55,19                 | 4,79                                     | 901,20               | 0,65        |
| 1. 2. 1998    | 480,579               | 37,24                               | 1 226,23             | 59,45                 | 4,26                                     | 800,94               | 0,63        |
| 1. 3. 1998    | 529,515               | 41,94                               | 1 425,82             | 64,32                 | 4,86                                     | 914,66               | 0,64        |
| 5. 4. 1998    | 579,431               | 49,92                               | 1 627,14             | 70,20                 | 5,89                                     | 1 106,38             | 0,65        |
| 3. 5. 1998    | 615,412               | 35,981                              | 1 223,35             | 74,85                 | 4,64                                     | 872,36               | 0,71        |
| <b>Průměr</b> |                       |                                     |                      |                       |                                          |                      | <b>0,71</b> |

Tab. 72 Spotřeba zemního plynu  $\Delta M$  (m<sup>3</sup>/Δτ), získané teplo  $Q_{ZP}$  (MJ/Δτ), spotřeba teplé vody  $\Delta V_{TV}$  (m<sup>3</sup>/Δτ), spotřeba tepla pro ohřev  $Q_{TV}$  (MJ/Δτ a účinnost  $\eta$  v otopném období – týdenní intervaly ( $M$  množství plynu (m<sup>3</sup>);  $V$  množství vody (m<sup>3</sup>))

| Datum        | Spotřeba ZP           |                                       |                        | Spotřeba TV           |                                            |                        | $\eta(-)$ |
|--------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------|-----------|
|              | $M$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta M$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{ZP}$<br>(MJ/týden) | $V$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V_{TV}$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{TV}$<br>(MJ/týden) |           |
| 8. 10. 1997  | 328,234               | –                                     | –                      | 40,078                | –                                          | –                      | –         |
| 12. 10. 1997 | 335,336               | 7,102                                 | 241,470                | 41,035                | 0,957                                      | 179,89                 | 0,74      |
| 19. 10. 1997 | 348,953               | 8,856                                 | 301,104                | 42,302                | 1,267                                      | 238,16                 | 0,79      |
| 26. 10. 1997 | 348,953               | 4,761                                 | 161,870                | 42,897                | 0,595                                      | 111,84                 | 0,69      |
| 2. 11. 1997  | 363,376               | 14,423                                | 490,302                | 44,781                | 1,884                                      | 354,14                 | 0,72      |
| 9. 11. 1997  | 373,557               | 10,181                                | 346,150                | 46,053                | 1,272                                      | 239,10                 | 0,69      |
| 16. 11. 1997 | 378,270               | 4,713                                 | 160,240                | 46,579                | 0,526                                      | 98,87                  | 0,62      |
| 23. 11. 1997 | 390,365               | 12,095                                | 411,230                | 48,051                | 1,472                                      | 276,69                 | 0,67      |
| 30. 11. 1997 | 399,440               | 9,075                                 | 308,550                | 49,132                | 1,081                                      | 203,20                 | 0,66      |
| 7. 12. 1997  | 407,930               | 8,490                                 | 288,660                | 50,164                | 1,032                                      | 193,99                 | 0,67      |
| 14. 12. 1997 | 418,101               | 10,171                                | 345,810                | 51,402                | 1,238                                      | 232,71                 | 0,67      |
| 21. 12. 1997 | 427,609               | 9,508                                 | 323,270                | 52,518                | 1,116                                      | 209,72                 | 0,65      |
| 28. 12. 1997 | 438,629               | 11,020                                | 374,680                | 53,802                | 1,284                                      | 241,35                 | 0,64      |
| 4. 1. 1998   | 448,489               | 9,860                                 | 335,240                | 55,023                | 1,221                                      | 229,51                 | 0,68      |
| 11. 1. 1998  | 457,315               | 8,826                                 | 300,080                | 55,931                | 0,908                                      | 170,68                 | 0,57      |
| 18. 1. 1998  | 466,385               | 9,050                                 | 307,700                | 57,023                | 1,092                                      | 205,26                 | 0,67      |
| 25. 1. 1998  | 476,416               | 10,051                                | 341,730                | 58,220                | 1,197                                      | 225,00                 | 0,66      |
| 1. 2. 1998   | 486,809               | 10,393                                | 353,36                 | 59,379                | 1,159                                      | 217,86                 | 0,62      |
| 8. 2. 1998   | 497,490               | 10,681                                | 363,150                | 60,558                | 1,179                                      | 221,62                 | 0,61      |
| 15. 2. 1998  | 508,446               | 10,956                                | 372,500                | 61,861                | 1,303                                      | 244,93                 | 0,66      |
| 22. 2. 1998  | 517,962               | 9,516                                 | 323,540                | 62,981                | 1,120                                      | 210,53                 | 0,63      |

| Datum         | Spotřeba ZP           |                                       |                        | Spotřeba TV           |                                            |                        | $\eta(-)$   |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------|-------------|
|               | $M$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta M$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{ZP}$<br>(MJ/týden) | $V$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V_{TV}$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{TV}$<br>(MJ/týden) |             |
| 1. 3. 1998    | 528,433               | 10,471                                | 356,010                | 64,181                | 1. 200                                     | 225,56                 | 0,63        |
| 8. 3. 1998    | 539,998               | 11,565                                | 393,210                | 65,478                | 1,297                                      | 243,80                 | 0,62        |
| 15. 3. 1998   | 548,619               | 8,621                                 | 293,110                | 66,598                | 1,120                                      | 210,53                 | 0,72        |
| 22. 3. 1998   | 558,003               | 9,384                                 | 319,050                | 67,680                | 1,082                                      | 203,38                 | 0,64        |
| 29. 3. 1998   | 568,837               | 10,834                                | 368,350                | 68,965                | 1,285                                      | 241,54                 | 0,65        |
| 5. 4. 1998    | 578,205               | 9,368                                 | 318,510                | 70,049                | 1,084                                      | 203,76                 | 0,64        |
| <b>Průměr</b> |                       |                                       |                        |                       |                                            |                        | <b>0,66</b> |

Tab. 73 Spotřeba zemního plynu  $\Delta M$  (m<sup>3</sup>/Δτ), získané teplo  $Q_{ZP}$  (MJ/Δτ), spotřeba teplé vody  $\Delta V_{TV}$  (m<sup>3</sup>/Δτ), spotřeba tepla pro ohřev  $Q_{TV}$  (MJ/Δτ a účinnost  $\eta$  v letním období – týdenní intervaly ( $M$  množství plynu (m<sup>3</sup>);  $V$  množství vody (m<sup>3</sup>))

| Datum         | Spotřeba ZP           |                                       |                        | Spotřeba TV           |                                            |                        | $\eta(-)$   |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------|-------------|
|               | $M$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta M$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{ZP}$<br>(MJ/týden) | $V$ (m <sup>3</sup> ) | $\Delta V_{TV}$<br>(m <sup>3</sup> /týden) | $Q_{TV}$<br>(MJ/týden) |             |
| 1. 6. 1997    | 198,185               | –                                     | –                      | 21,549                | –                                          | –                      | –           |
| 8. 6. 1997    | 205,943               | 7,758                                 | 263,77                 | 22,449                | 0,950                                      | 178,57                 | 0,67        |
| 15. 6. 1997   | 212,086               | 6,143                                 | 208,86                 | 23,291                | 0,792                                      | 148,87                 | 0,71        |
| 22. 6. 1997   | 220,403               | 8,317                                 | 288,78                 | 24,482                | 1,191                                      | 223,87                 | 0,77        |
| 29. 6. 1997   | 228,698               | 8,295                                 | 282,03                 | 25,607                | 1,125                                      | 211,47                 | 0,75        |
| 6. 7. 1997    | 235,878               | 7,180                                 | 244,12                 | 26,579                | 0,972                                      | 182,71                 | 0,75        |
| 13. 7. 1997   | 242,558               | 6,680                                 | 227,12                 | 27,517                | 0,938                                      | 176,92                 | 0,78        |
| 20. 7. 1997   | 248,719               | 6,161                                 | 209,47                 | 28,298                | 0,780                                      | 146,62                 | 0,70        |
| 27. 7. 1997   | 255,190               | 6,471                                 | 220,01                 | 29,225                | 0,928                                      | 174,44                 | 0,79        |
| 3. 8. 1997    | 262,532               | 7,342                                 | 249,63                 | 30,274                | 1,049                                      | 197,18                 | 0,79        |
| 10. 8. 1997   | 270,307               | 7,775                                 | 264,35                 | 31,442                | 1,168                                      | 219,55                 | 0,83        |
| 17. 8. 1997   | 275,446               | 5,139                                 | 174,73                 | 32,166                | 0,724                                      | 136,09                 | 0,79        |
| 24. 8. 1997   | 281,353               | 5,907                                 | 200,84                 | 33,072                | 0,861                                      | 101,84                 | 0,80        |
| 31. 8. 1997   | 288,963               | 7,610                                 | 258,74                 | 34,241                | 1,214                                      | 228,20                 | 0,88        |
| 7. 9. 1997    | 296,257               | 7,294                                 | 247,99                 | 35,423                | 1,182                                      | 222,20                 | 0,90        |
| 14. 9. 1997   | 304,692               | 8,435                                 | 286,79                 | 36,771                | 1,348                                      | 253,38                 | 0,88        |
| 21. 9. 1997   | 312,415               | 7,723                                 | 262,58                 | 37,890                | 1,119                                      | 210,34                 | 0,80        |
| 28. 9. 1997   | 320,627               | 8,212                                 | 279,21                 | 39,017                | 1,127                                      | 211,84                 | 0,76        |
| 5. 10. 1997   | 329,369               | 8,742                                 | 277,23                 | 40,242                | 1,225                                      | 230,26                 | 0,77        |
| <b>Průměr</b> |                       |                                       |                        |                       |                                            |                        | <b>0,79</b> |

Z tab. 73 vyplývá, že celoroční spotřeba zemního plynu je 450 m<sup>3</sup>/a pro celou budovu.

Podle údajů Pražské plynárenské je roční maximální spotřeba plynu 500 m<sup>3</sup>/a. Výsledky měření tomuto údaji dost dobře vyhovují.

Z *tab. 73* dále vyplývá, že průměrná spotřeba TV činí  $0,073 \text{ m}^3/(\text{byt}.\text{den})$ . V tomto případě byla zjištěna u dvougeneračního rodinného domu hodnota spotřeby o něco nižší, než se uvádí pro bytové domy (tj. hodnota  $0,098 \text{ m}^3/(\text{byt}.\text{den})$  [2.51].

Průměrná roční spotřeba tepla při ohřevu TV, vztažená na osobu a den, podle ČSN 06 0320, je  $1,67 \text{ kWh}/(\text{osobu}.\text{den})$ , což je hodnota podstatně menší, než se v této normě uvádí pro bilanční účely (jde o hodnotu  $4,5 \text{ kWh}/(\text{osobu}.\text{den})$ ). Při průměrném počtu 3,5 osob na průměrný byt vychází roční spotřeba tepla při ohřevu TV ve výši  $2,13 \text{ MWh}/(\text{byt}.\text{a})$ .

Průměrná celoroční účinnost spotřeby tepla při ohřevu TV je podle *tab. 71* rovna  $\eta = 0,71$ . V otopném období je účinnost  $\eta = 0,66$  (viz *tab. 72*), v letním období je  $\eta = 0,79$  (viz *tab. 73*). V otopném období je účinnost spotřeby tepla při ohřevu TV podstatně menší než v letním období. To je způsobeno zejména většími tepelnými ztrátami rozvodného potrubí, které prochází nevytápěnou garáží před vstupem do koupelen, v porovnání s tepelnými ztrátami v letním období. Teplota vzduchu v nevytápěné garáží je v otopném období nižší než v letním období. Např. v prosinci byla v garáží zjištěna teplota vzduchu  $7,0^\circ\text{C}$  a v lednu  $8,5^\circ\text{C}$ , zatímco v červnu  $16,5^\circ\text{C}$  a v září  $17,5^\circ\text{C}$ .

V *tab. 74* se uvádí vztah mezi spotřebou TV a spotřebou studené vody ve stejném časovém úseku (1 týden), při odečtech prováděných ve 22 h. V *tab. 75* je totéž, avšak odečty jsou provedeny v 8 h ráno a ve 14denních intervalech. V obou případech se dochází ke stejným výsledkům. Podíl spotřeby TV a spotřeby studené vody činí 50 % [2.52].

*Tab. 74* Vztah mezi spotřebou teplé vody  $\Delta V_{TV}$  ( $\text{m}^3/\text{týden}$ ) a spotřebou studené vody  $\Delta V_{SV}$  ( $\text{m}^3/\text{týden}$ ) v dvougeneračním domě (týdenní odečty, odečet ve 22 h;  $V_{TV}$  ( $\text{m}^3$ );  $V_{SV}$  ( $\text{m}^3$ )) jsou hodnoty teplé a studené vody na vodoměrech;  $p_{TS} = \Delta V_{TV}/\Delta V_{SV}$  je podíl teplé a studené vody)

| Datum        | TV                    |                                           | SV                    |                                           | $p_{TS} (-)$ |
|--------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------|
|              | $V_{TV} (\text{m}^3)$ | $\Delta V_{TV} (\text{m}^3/\text{týden})$ | $V_{SV} (\text{m}^3)$ | $\Delta V_{SV} (\text{m}^3/\text{týden})$ |              |
| 5. 10. 1997  | 40,242                | –                                         | 308,526               | –                                         | –            |
| 12. 10. 1997 | 41,322                | 1,080                                     | 310,749               | 2,216                                     | 0,49         |
| 19. 10. 1997 | 42,481                | 1,159                                     | 312,794               | 2,052                                     | 0,56         |
| 26. 10. 1997 | 45,578                | 1,103                                     | 315,235               | 2,441                                     | 0,45         |
| 2. 11. 1997  | 45,048                | 1,464                                     | 317,848               | 2,613                                     | 0,56         |
| 9. 11. 1997  | 46,128                | 1,080                                     | 320,001               | 2,153                                     | 0,50         |
| 16. 11. 1997 | 47,138                | 1,010                                     | 322,103               | 2,102                                     | 0,48         |
| 23. 11. 1997 | 48,266                | 1,128                                     | 324,324               | 2,221                                     | 0,51         |
| 30. 11. 1997 | 49,304                | 1,038                                     | 326,600               | 2,276                                     | 0,46         |
| 7. 12. 1997  | 50,400                | 1,096                                     | 328,691               | 2,091                                     | 0,52         |
| 14. 12. 1997 | 51,522                | 1,122                                     | 331,005               | 2,314                                     | 0,48         |
| 21. 12. 1997 | 52,684                | 1,162                                     | 333,187               | 2,182                                     | 0,53         |
| 28. 12. 1997 | 53,928                | 1,244                                     | 335,635               | 2,449                                     | 0,51         |
| 4. 1. 1998   | 55,194                | 1,266                                     | 337,947               | 2,311                                     | 0,55         |
| 11. 1. 1998  | 56,051                | 0,857                                     | 339,947               | 1,993                                     | 0,44         |

| Datum         | TV             |                             | SV             |                             | $p_{TS} (-)$ |
|---------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|--------------|
|               | $V_{TV} (m^3)$ | $\Delta V_{TV} (m^3/týden)$ | $V_{SV} (m^3)$ | $\Delta V_{SV} (m^3/týden)$ |              |
| 18. 1. 1998   | 57,230         | 1,179                       | 342,276        | 2,336                       | 0,50         |
| 25. 1. 1998   | 58,367         | 1,137                       | 344,702        | 2,426                       | 0,47         |
| 1. 2. 1998    | 59,455         | 1,088                       | 347,085        | 2,277                       | 0,48         |
| 8. 2. 1998    | 60,372         | 1,277                       | 349,619        | 2,534                       | 0,50         |
| 15. 2. 1998   | 61,996         | 1,264                       | 352,304        | 2,685                       | 0,47         |
| 22. 2. 1998   | 63,126         | 1,130                       | 354,359        | 2,055                       | 0,55         |
| 1. 3. 1998    | 64,321         | 1,195                       | 356,764        | 2,405                       | 0,50         |
| 8. 3. 1998    | 65,597         | 1,276                       | 359,200        | 2,436                       | 0,52         |
| 15. 3. 1998   | 66,771         | 1,174                       | 361,454        | 2,254                       | 0,52         |
| 22. 3. 1998   | 67,886         | 1,115                       | 363,625        | 2,171                       | 0,51         |
| 29. 3. 1998   | 69,150         | 1,264                       | 366,378        | 2,753                       | 0,46         |
| 5. 4. 1998    | 70,207         | 1,057                       | 368,635        | 2,257                       | 0,47         |
| 12. 4. 1998   | 71,394         | 1,187                       | 371,347        | 2,712                       | 0,44         |
| 19. 4. 1998   | 72,798         | 1,404                       | 374,051        | 2,704                       | 0,52         |
| <b>Průměr</b> |                |                             |                |                             | <b>0,50</b>  |

Tab. 75 Vztah mezi spotřebou teplé vody  $\Delta V_{TV}$  ( $m^3/14$  dní) a spotřebou studené vody  $\Delta V_{SV}$  ( $m^3/14$  dní) v dvougeneračním domě (14denní odečty, odečet v 8 h;  $V_{TV}$  ( $m^3$ );  $V_{SV}$  ( $m^3$ ) jsou hodnoty teplé a studené vody na vodoměrech;  $p_{TS} = \Delta V_{TV}/\Delta V_{SV}$  je podíl teplé a studené vody)

| Datum        | TV             |                                      | SV             |                                      | $p_{TS} (-)$ |
|--------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------|
|              | $V_{TV} (m^3)$ | $\Delta V_{TV} (m^3/14 \text{ dní})$ | $V_{SV} (m^3)$ | $\Delta V_{SV} (m^3/14 \text{ dní})$ |              |
| 5. 10. 1997  | 40,078         | -                                    | 308,154        | -                                    | -            |
| 19. 10. 1997 | 42,302         | 2,224                                | 312,494        | 4,340                                | 0,51         |
| 2. 11. 1997  | 44,781         | 2,479                                | 317,436        | 4,942                                | 0,50         |
| 16. 11. 1997 | 46,579         | 1,798                                | 321,774        | 4,338                                | 0,41         |
| 30. 11. 1997 | 49,132         | 2,253                                | 326,280        | 4,506                                | 0,56         |
| 14. 12. 1997 | 51,402         | 2,270                                | 330,584        | 4,304                                | 0,53         |
| 28. 12. 1997 | 53,802         | 2,400                                | 335,384        | 4,800                                | 0,50         |
| 11. 1. 1998  | 55,931         | 2,129                                | 339,745        | 4,361                                | 0,49         |
| 25. 1. 1998  | 58,220         | 2,289                                | 344,425        | 4,680                                | 0,49         |
| 8. 2. 1998   | 60,558         | 2,338                                | 349,371        | 4,946                                | 0,47         |
| 22. 2. 1998  | 62,981         | 2,423                                | 354,116        | 4,745                                | 0,51         |
| 8. 3. 1998   | 65,478         | 2,497                                | 358,998        | 4,882                                | 0,51         |
| 22. 3. 1998  | 67,680         | 2,202                                | 363,300        | 4,302                                | 0,51         |

| Datum         | TV             |                                      | SV             |                                      | $p_{TS} (-)$ |
|---------------|----------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|--------------|
|               | $V_{TV} (m^3)$ | $\Delta V_{TV} (m^3/14 \text{ dní})$ | $V_{SV} (m^3)$ | $\Delta V_{SV} (m^3/14 \text{ dní})$ |              |
| 5. 4. 1998    | 70,049         | 2,369                                | 368,389        | 5,089                                | 0,46         |
| 19. 4. 1998   | 72,606         | 2,557                                | 373,728        | 5,339                                | 0,48         |
| <b>Průměr</b> |                |                                      |                |                                      | <b>0,50</b>  |

### Komentář k naměřeným výsledkům

Z uvedených výsledků je zřejmé, že hodnoty spotřeby tepla při ohřevu teplé vody zjištěné experimentálně a výpočtem podle ČSN 06 0320 se dost odlišují. Zejména u bytových domů se samostatnou kotelnou a u rodinných domů jsou naměřené hodnoty spotřeby tepla při ohřevu teplé vody nižší, než stanovené podle citované normy.

Ukazuje se, že spotřeba tepla při ohřevu teplé vody je ovlivněna řadou činitelů – tedy nejen počtem osob v bytě, jak se to předpokládá v ČSN 06 0320. Významnou úlohu zde hraje zejména způsob přípravy TV, kvalita tepelné izolace rozvodného potrubí, dodržování předepsané teploty vody, zvyklosti odběru vody uživateli bytů apod.

Tendence ke zmenšování spotřeby tepla při ohřevu TV vedla již před léty k závěrům, že je nutné zavést, jako zásadní opatření, měřidla spotřeby TV v jednotlivých bytech (tento problém je v současné době již v podstatě vyřešen). Měření spotřeby tepla při ohřevu TV v jednotlivých bytech bylo poprvé uskutečněno na sídlišti v Ostravě-Porubě. Zde bylo zjištěno, že spotřeba tepla při ohřevu TV byla v důsledku tohoto opatření, zmenšena o 41 % [2.53]. Podobné zkušenosti jsou známy i ze zahraničí. Např. se uvádějí švédské zkušenosti: prokazují se úspory tepla (40 až 50 %) po zavedení měřičů TV [2.54].

Z tab. 71 a 72 je vidět, že spotřeba tepla při ohřevu TV v letních měsících, zejména v červenci a srpnu, je o něco nižší než v zimních měsících. Je to způsobeno tím, že v průběhu otopného období je průměrná teplota vzduchu v garáži 12,1 °C, zatímco mimo otopné období je rovna 16,2 °C.

Skutečnost, že je v letních měsících spotřeba tepla při ohřevu TV nižší než v zimních měsících, je v protikladu s ustanovením uvedeným v ČSN 06 0320, ve kterém se uvádí, že v letním období je možno hodnoty výpočtové spotřeby tepla při ohřevu TV zvýšit, podle rozlehlosti zařízení, a to až o 1/3. Poznamenáváme však, že toto ustanovení v revidované ČSN 06 0320:1998 již není.

## 2.3 Souhrnná energetická náročnost výstavby a provozu budov

V předcházejících částech se probíraly jednotlivé druhy energie spotřebovávané v průběhu výstavby a provozu budov. Souhrnná spotřeba je tedy dána součtem

$$ESB = EVB + EPB \quad (2.8)$$

Hodnoty EVB se mohou stanovit podle údajů popsaných v kap. 2.1, hodnoty EPB z údajů v kap. 2.2. Např. v tab. 13 je vyhodnocena výrobní energetická náročnost panelového domu VVÚ ETA. Na byt připadá výrobní energie 17,975 tnp, což se rovná 146,33 MWh.

Protože bytů je v tomto případě 126, pak na celý dům je to 18 437,58 MWh. Objem budovy je 41 585,15 m<sup>3</sup>, takže výrobní měrná spotřeba energie je

$$e_{VE} = 18\,437,58 / 41\,585,15 = 0,4434 \text{ MWh/m}^3 = 443,4 \text{ kWh/m}^3$$

Z naměřených údajů provozní energetické náročnosti vyplývá – viz *tab. 34* – že měrná spotřeba provozní energetické náročnosti, při uvažování životnosti budovy 80 roků, je (po provedené redukci – viz kap. 2.2):

$$e_{PE} = 3\,984 \text{ kWh/m}^3$$

Podíl výrobní a provozní energetické náročnosti je  $\varepsilon = 11,1 \%$ .

V [2.3] se uvádí výrobní energetická náročnost pro několik typů panelových budov – viz *tab. 76*.

*Tab. 76* Výrobní energetická náročnost některých typů panelových budov ( $E_V$  – celé budovy (MJ) a v (kWh) a měrná spotřeba  $e_{VE}$  (kWh/m<sup>3</sup>)[2.3]

| Typ     | Celá budova |        | Měrná spotřeba        |
|---------|-------------|--------|-----------------------|
|         | (MJ)        | (kWh)  | (kWh/m <sup>3</sup> ) |
| T 06 B  | 302 314     | 83 976 | 477,1                 |
| T 08 B  | 313 700     | 87 139 | 492,3                 |
| VVÚ ETA | 353 992     | 98 331 | 568,4                 |
| L & N   | 307 885     | 85 524 | 472,5                 |

V části 2.2 zjistíme pro uvedené typy provozní energetickou náročnost. Po jejich přepočtu zjistíme provozní měrnou spotřebu energie pro jednotlivé typy panelových domů – viz *tab. 77*, kde jsou zároveň i hodnoty výrobní měrné spotřeby energie z *tab. 76*, a také podíl výrobní a provozní energetické náročnosti.

*Tab. 77* Podíl výrobní  $e_{EV}$  a provozní  $e_{PE}$  energetické náročnosti některých typů panelových budov a jejich podíl  $\varepsilon$

| Typ     | $e_{EV}$ (kWh/m <sup>3</sup> ) | $e_{EP}$ (kWh/m <sup>3</sup> ) | $\varepsilon$ (%) |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| T 06 B  | 477,1                          | 3 776                          | 12,6              |
| T 08 B  | 492,3                          | 3 848                          | 12,8              |
| VVÚ ETA | 568,4                          | 3 984                          | 14,3              |
| L & N   | 472,5                          | 3 168                          | 14,9              |

Dochází zde k určitému rozdílu v podílu výrobní a provozní energetické náročnosti u typu VVÚ ETA v porovnání s předcházejícím výsledkem. Vyšší podíl výrobní energetické náročnosti u posledních dvou typů panelových budov v *tab. 77* proti dvěma horním typům v téže tabulce je vysvětlitelný tím, že uvedené dva poslední typy mají větší tepelný odpor než první dva typy.

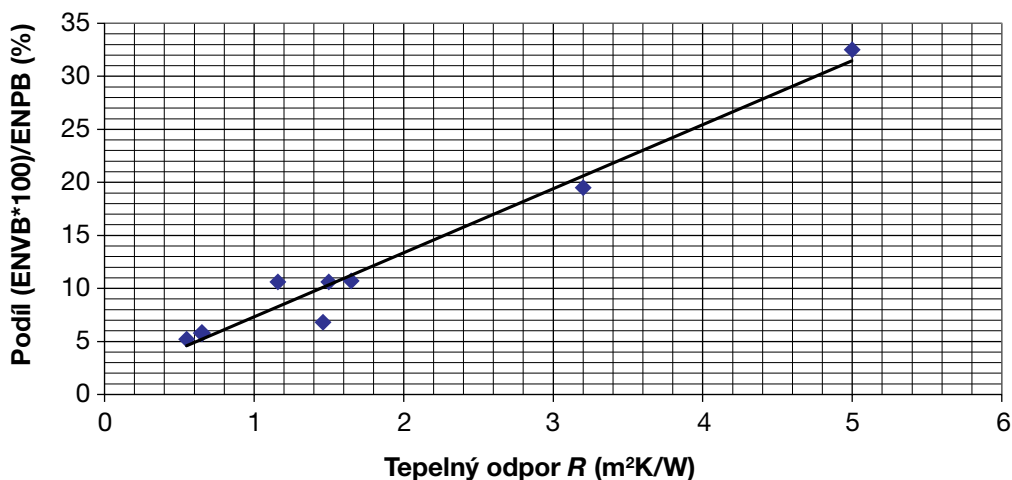
V *tab. 78* jsou uvedeny hodnoty energetické náročnosti výrobní a provozní pro různé druhy obvodových stavebních konstrukcí. Je zde zachycen stav s proměnlivými hodnotami tepelného odporu a také energetická náročnost stavební konstrukce v případě, že je uvažován velmi vysoký tepelný odpor ( $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).



Tab. 78 Porovnání energetické náročnosti vybraných obvodových konstrukcí; 1 – cihelná zeď 375 mm; 2 – panel z plynosilikátu 300 mm; 3 – panel keramický 30 mm; 4 – panel keramický 300 mm s 50 mm EPS; 5 – ŽBP 240 mm s 80 mm EPS; 6 – ŽBP 300 mm s 80 mm EPS; 7 – ŽBP 240 mm se 140 mm EPS; 8 – ŽBP 290 mm s 240 mm EPS (EPS – expandovaný polystyren, ŽBP – železobetonový panel,  $R$  – tepelný odpor konstrukce ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ),  $U$  – součinitel prostupu tepla ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), ENVB – výrobní energie ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), ENPB – provozní energie ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), podíl (= ENVB/ENPB)

| Veličina                                | Konstrukce č. |        |        |        |        |        |       |       |
|-----------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                                         | 1             | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7     | 8     |
| $R$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )          | 0,55          | 1,46   | 0,65   | 1,16   | 1,65   | 1,5    | 3,2   | 5,0   |
| $U$ ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) | 1,39          | 0,61   | 1,22   | 0,75   | 0,55   | 0,6    | 0,31  | 0,2   |
| EVb ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )          | 1 222         | 840    | 1 435  | 1 618  | 1 205  | 1 296  | 1 229 | 1 326 |
| EPb ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )          | 28 336        | 12 428 | 24 894 | 15 284 | 11 304 | 12 277 | 6 316 | 4 075 |
| $\varepsilon$ (%)                       | 5,2           | 6,8    | 5,8    | 10,6   | 10,7   | 10,6   | 19,5  | 32,5  |

Podíl energetické náročnosti výrobní a provozní (v procentech) pro uvedené konstrukce je uveden v závislosti na tepelném odporu konstrukcí na obr. 13.



Obr. 13 Podíl výrobní a provozní energetické náročnosti různých konstrukcí v závislosti na tepelném odporu

Z obr. 13 je vidět, že pro vyhodnocené konstrukce je závislost podílu energetické náročnosti výrobní a provozní  $\varepsilon$  (%) lineární, takže platí

$$\varepsilon = 1,2661 + 6,0364 \cdot R \quad (2.9)$$

V tomto případě lze říci, že se zvětšujícím se tepelným odporem konstrukce se zvětšuje podíl výrobní energetické náročnosti, vztažený na provozní energetické náročnosti. Při současných hodnotách tepelných odporů vychází tento podíl kolem 14 %, zatímco při velmi vysoké hodnotě tepelného odporu ( $R = 5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) to je už kolem 30 %.

Pokud jde o energetickou bilanci tepelně izolačního materiálu použitého pro obvodovou stěnu budovy, je možno vycházet z následující úvahy: využití tepelně izolačního materiálu v obvodové stěně budovy je výhodné tehdy, když je spotřeba tepla k pokrytí tepelné ztráty budovy menší než spotřeba energie k výrobě daného množství tepelně izolačního materiálu, tzn., že je splněna podmínka

$$EPB < EVB \quad (2.10)$$

Jestliže budeme uvažovat 1 m<sup>2</sup> stěny (stavební konstrukce), pak roční spotřeba energie pro provoz budovy se může stanovit ze vztahu

$$EPB = 0,024 \cdot D \cdot U = 0,024 \cdot D \cdot (1/(R_i + d/\lambda + R_e)) \quad (2.11)$$

kde EPB je v (kWh/(m<sup>2</sup>a)),

$D$  počet denostupňů ( $d \cdot K$ ),

$U$  součinitel prostupu tepla stěny (stavební konstrukce) (W/(m<sup>2</sup>K)),

$R_i, R_e$  odpory při přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně konstrukce (obvykle  $R_i + R_e = 0,168 \text{ m}^2\text{K/W}$ ),

$\lambda$  tepelná vodivost tepelné izolace (W/(mK)),

$d$  tloušťka tepelné izolace (m).

Výrobní energetická náročnost se často vztahuje na 1 tunu příslušného materiálu. Potom výrobní energetická náročnost pro určitou tloušťku stěny  $d$  je

$$EVB = (EM_t/3,6) \cdot \rho \cdot d \quad (2.12)$$

kde EVB je v (kWh/m<sup>2</sup>)

$EM_t$  výrobní energetická náročnost materiálu (GJ/t),

$\rho$  objemová hmotnost materiálu (kg/m<sup>3</sup>).

Uvažujeme:  $D = 3\,600 \text{ d} \cdot K$ ;  $R_i + R_e = 0,168 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Dosadí-li se tyto hodnoty do vztahu (2.11), pak se získá vztah

$$EPB = 86,4 \cdot (1/(0,168 + d/\lambda)) \quad (2.13)$$

Takže podmínka (2.10) se může vyjádřit takto:

$$86,4 \cdot (1/(0,168 + d/\lambda)) < (EM_t/3,6) \cdot \rho \cdot d \quad (2.14)$$

z něhož lze stanovit odpovídající tloušťku tepelně izolačního materiálu, při níž je výhodné jeho uplatnění v obvodové stěně budovy z hlediska energetické bilance.

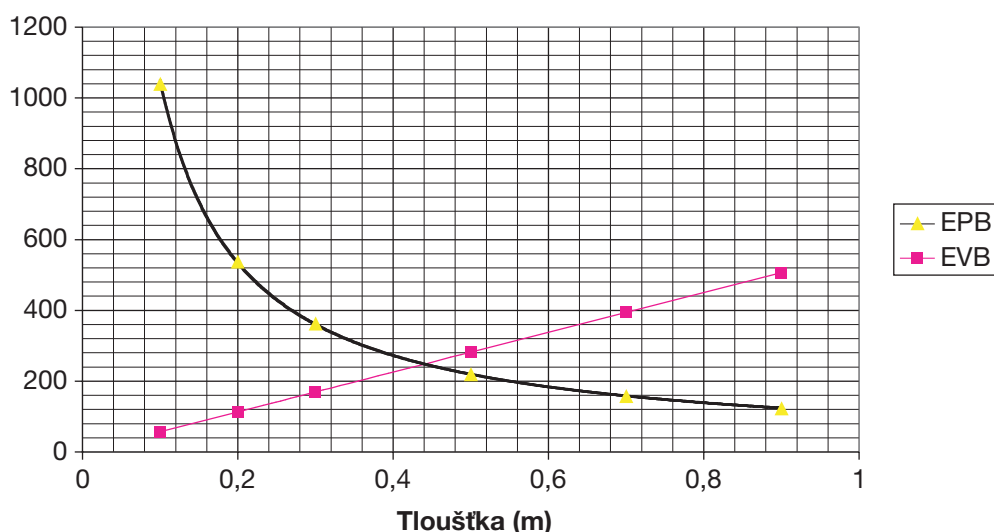
### Příklad:

Pro ilustraci uvádíme jednoduchý příklad energetické bilance expandovaného polystyrenu (EPS) při jeho použití jako obvodové stěny budovy, tj. bilanci průběhu provozní spotřeby energie při vytápění a jeho výrobní energie, a to v závislosti na tloušťce  $d$  (m). Výrobní energie EPS je podle tab. 4 rovna: 81 GJ/t, což představuje, při uvažování objemové hmotnosti EPS  $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ , 562,5 kWh/m<sup>3</sup>, přičemž se počítá s životností stěny z EPS – 30 let a plochou stěny 1 m<sup>2</sup>. Výsledky jsou, v závislosti na tloušťce stěny  $d$  (m), v tab. 79.

Tab. 79 Energetická bilance expandovaného polystyrenu použitého jako obvodová stěna budovy ( $d$  – tloušťka (m),  $U$  – součinitel prostupu tepla stěny ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ), EPB – provozní energetická náročnost ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ let})$ ), EVB – výrobní energetická náročnost ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ))

|                                                        |           |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $d$ (m)                                                | 0,1       | 0,2      | 0,3      | 0,5      | 0,7      | 0,9      |
| $U$ ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ )                | 0,40103   | 0,207505 | 0,139963 | 0,084775 | 0,060801 | 0,047397 |
| EPB ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ let})$ ) | 1 039,469 | 537,8528 | 362,7842 | 219,7372 | 157,5965 | 122,8539 |
| EVB ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )                        | 56,25     | 112,5    | 168,75   | 281,25   | 393,75   | 506,25   |

Hodnoty energetické bilance EPS stanovené v tab. 79 jsou znázorněny v grafu na obr. 14.



Obr. 14 Energetická bilance EPS

Z tab. 79 a z obr. 14 je vidět, že se vzrůstající tloušťkou EPS velmi rychle klesá spotřeba tepla při vytápění (provozní energetická náročnost – EPB), avšak zároveň vzrůstá výrobní energetická náročnost – EVB. Stejně hodnoty obou druhů energetické náročnosti se dosahuje při tloušťce  $d_{\text{rov}} \approx 0,44 \text{ m}$ . Z toho plyne, že z hlediska bilance provozní a výrobní energetické náročnosti je výhodná tloušťka obvodové stěny z expandovaného polystyrenu tehdy, když je větší než  $d_{\text{pps}} > 0,44 \text{ m}$ , protože až teprve od této tloušťky se spotřebuje při jejím použití v obvodové stěně menší množství energie při provozu než se vložilo do její výroby (tento závěr platí, samozřejmě, pro tyto konkrétní podmínky).

Uvedený příklad je nutno chápat jako ilustraci energetické bilance výrobní a provozní energetické náročnosti tepelné izolačního materiálu, protože její stanovení je zjednodušeno – jak se můžeme přesvědčit z popisu této problematiky v kap. 2.1 a 2.2, kde jsou vyjmenovány všechny podstatné vlivy, působící na energetickou bilanci. Tento příklad ukazuje další pohled na řešení problému tepelné izolace budov, který je zřejmě tím významnější, čím větší množství tepelné izolačního materiálu je ve stavebních konstrukcích.

Poznamenáváme však, že úplné a rozhodující řešení dimenzování tepelně technických vlastností obvodových plášťů na základě jejich výrobní a provozní energetické náročnosti

není zatím ani možné, protože nejsou k dispozici dostatečné podklady ze všech fází jejich existence, tj. výroby, dopravy, skladování, montáže, opravy, údržby, popř. likvidace a recyklace.

V této spojitosti vzniká otázka, zda je možné vyjádřit efektivnost tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov jen na základě energetické bilance jejich výrobní a provozní energetické náročnosti a nahradit tak vyhodnocování ekonomické efektivnosti. Zřejmě by to bylo možné za předpokladu, že by se všechny činnosti s tím spojené vyjádřily energeticky. To by však znamenalo, že energetika by nahradila ekonomiku.

V žádném případě nelze vycházet z energetické bilance, zahrnující výrobní a provozní energetickou náročnost stavebních konstrukcí, při jejich řešení z hlediska základních požadavků, kladených na ně ve vztahu k požadovanému tepelnému stavu vnitřního prostředí budov, tak jak jsou popsány v kap. 1.

## 2. 4 Literatura

- [2.1] KOBELKA, L.: Energetický problém jako charakteristika vývoje okolí ovlivňujícího rozvoj stavění. Pozemní stavby 8, 1979
- [2.2] FISCHER, J.: Neue wärme – und feuchtigkeits – technische Berechnungsverfahren zur Dimensionierung von Aussenbauteilen. Berlin, 1969
- [2.3] DLESEK, V.: Minimalizace energetické náročnosti v pozemních stavbách. SNTL Praha, ALFA, Bratislava, 1984
- [2.4] ŠIKULA, M.: Energetická náročnost některých stavebních konstrukcí a materiálů. Stavivo č. 7/8, 1984
- [2.5] JANŮ, K.: Zprůmyslnění stavebnictví. NTL, Praha, 1960
- [2.6] HROMNÍKOVÁ, M.: Doprava vo výrobnom procese stavebných konštrukcií. Pozemní stavby 4, 1974
- [2.7] MIČÁNKOVÁ, A.: Příspěvek ke stanovení energetické náročnosti při provádění staveb. Pozemní stavby 4, 1984
- [2.8] VOTRUBA, J.: Problémy bezkolizního spojování lehkých dílců. Pozemní stavby 1, 1979
- [2.9] MAČEJ, J. – BALENT, L.: Demontovatelná silikátová halová soustava. Pozemní stavby 10, 1990
- [2.10] PUME, D.: Rozebíratelné železobetonové konstrukce v zahraničí. Pozemní stavby 1, 1990
- [2.11] VIMMR, V.: Rozebíratelné železobetonové konstrukce a jejich styky. In: Sborník konference Styky a spáry betonových konstrukcí. DT Plzeň, 1987
- [2.12] Ochrana životního prostředí úsporami energie. Publikace číslo 93/2/c. SEVEN, Praha
- [2.13] CHITTUSSI, J.: Energetická náročnost realizace montované bytové jednotky. Pozemní stavby 3, 1983
- [2.14] Metodika pro tvorbu komplexních měrných spotřeb na vybrané výrobky. EGÚ 11 04 31 10/1981
- [2.15] HLAVÁČEK, L.: Energetická náročnost dopravy. Plánované hospodářství 7/1982
- [2.16] Dělna přepravní práce 1981. Hospodářské noviny 22/1982
- [2.17] STEHLÍK, B.: Investiční energetická náročnost výstavby. Pozemní stavby 11, 1985
- [2.18] KUČERA, P.: Energetický audit objektu T 02 B. Aut. energ. auditor, 2002

- [2.19] Vyhodnocení ekonomické efektivity prostředků vynaložených na regeneraci a modernizaci blokopanelových domů T 16/T 16 S. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2001
- [2.20] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
- [2.21] Stavební fyzika, energetika, požární bezpečnost panelových domů. Díl 1. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1997
- [2.22] Komplexní energetické a ekonomické vyhodnocení jednotlivých objektů T 06 B. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.23] Stavební fyzika, energetika, požární bezpečnost panelových domů. Díl 2. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1997
- [2.24] Komplexní energetické a ekonomické vyhodnocení jednotlivých objektů T 08 B. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.25] Komplexní energetické a ekonomické vyhodnocení jednotlivých objektů VVÚ ETA. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.26] Vyhodnocení ekonomické efektivity prostředků vynaložených na regeneraci a modernizaci panelových domů Larsen & Nielsen. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.27] Vyhodnocení ekonomické efektivity prostředků vynaložených na regeneraci a modernizaci panelových domů BANKS. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2001
- [2.28] Vyhodnocení ekonomické efektivity prostředků vynaložených na regeneraci a modernizaci panelových domů B 70. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.29] Vyhodnocení ekonomické efektivity prostředků vynaložených na regeneraci a modernizaci panelových domů PS 69. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2000
- [2.30] KUČERA, P.: Energetický audit bytového domu PS 69. Aut. energ. auditor, 2002
- [2.31] MRLÍK, F.: Příčiny nedostatků domů z hlediska tepelné izolačního. In: Sborník o tepelné, zvukové a vodotěsné izolaci montovaných staveb. ČSVTS, Praha 1964
- [2.32] ČSN 73 0540:1979 Tepelné technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov. Ná-zvosloví. Požadavky a kritéria
- [2.33] Vyhodnocení spotřeby tepla na vytápění objektu s vysokou izolační schopností. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1998
- [2.34] GAVOR, J. – ŠTĚPÁN, V.: Konkurenceschopnost paliv a energií po 1. 7. 1998 z pohledu konečného spotřebitele. Energie 2/98
- [2.35] Úspory paliv a energie v otázkách a odpovědích. SEI Praha, ČR, 1997
- [2.36] Vyhodnocení energetické efektivity realizovaných opatření ke zmenšení spotřeby energie. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1997
- [2.37] Vyhodnocení spotřeby tepla na vytápění objektu tepelně izolovaného na současné normové úrovni. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1998
- [2.38] Poliklinika (Prosek) „Předběžné hodnocení z hlediska tepelných ztrát a roční spotřeby tepla“. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1999
- [2.39] Teoretické a experimentální zhodnocení školního montovaného objektu ZDŠ Donovalská ulice na Jižním Městě z hlediska tepelných ztrát, roční spotřeby tepla a ekonomické efektivity opatření ke zmenšení spotřeby tepla. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 2002
- [2.40] Vliv slunečního záření se nepřiměřeně přeceňuje – diskuze v časopisu Deutsches Ingenieur Blatt 9/99 (překlad v: Tepelná ochrana budov 5/2000)
- [2.41] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách
- [2.42] HUMM, O.: Nízkoenergetické domy (překlad z němčiny). Grada Publishing, 1999
- [2.43] Wärmeschutzverordnung, 1995 (předpis o tepelné ochraně v SRN)
- [2.44] PANZHAUSER, E. – TYWONIAK, J.: Výpočtové hodnocení energetické náročnosti budov

- [2.45] FANTL, K. – PANZHAUSER, E. – Wunderer, E: Der österreichische Gebäude – Energieausweis. Energiepass. Technische Universität, Wien, 1996
- [2.46] Önorm B 8110-1 Wärmeschutz im Hochbau. 1998
- [2.47] Pražské plynárenské, a. s., Informace, 1997
- [2.48] GAVOR, J. – ŠTĚPÁN, V.: Konkurenceschopnost paliv a energií po 1. 7. 1998
- [2.49] ČSN 06 0320 Ohřívání užitkové vody. Navrhování a projektování, 1986
- [2.50] ŘEHÁNEK, J. – JANOUŠ, A.: Spotřeba tepla pro přípravu teplé užitkové vody v bytových domech. Energie 1/97
- [2.51] FANTYŠ, J. – SLÁDKOVÁ, R. – VALENTA, V.: Hospodárná příprava teplé užitkové vody v bytových budovách. ČEA, 1995
- [2.52] Experimentální ověření spotřeby tepla pro přípravu teplé užitkové vody. Výzkumná zpráva CSI, a. s., Praha, 1998
- [2.53] Podmínky pro snižování spotřeby tepla pro vytápění v bytových domech. Studie. STÚ Praha, 1976
- [2.54] HÖGLUND, I. – JOHNSON, B.: Energy conservation measures for existing buildings. CIB Symposium Watford, 1976

### 3. Způsoby výpočtu tepelných ztrát, spotřeby tepla a množství primárního paliva

Pro provoz budov a jejich užívání je třeba mít určité množství energie, kterou tvoří energie pro vytápění (klimatizaci), větrání, ohřev teplé vody, osvětlení, provoz různých domácích spotřebičů a u výrobních a průmyslových budov pro technologické účely. Z uvedených potřeb energie se však budeme věnovat jen energii potřebné pro vytápění, větrání a ohřev teplé vody.

#### 3.1 Způsob stanovení spotřeby tepla při vytápění

##### 3.1.1 ČSN EN 832 [3.1]

Způsob výpočtu umožňuje stanovit:

- tepelnou ztrátu při vytápění budovy s konstantní teplotou,
- potřebné množství energie za rok, které je nutné k udržování požadované vnitřní teploty,
- roční potřebu energie, kterou je potřeba dodat do budovy otopnou soustavou.

Budova se přitom může rozdělit na několik zón, jsou-li v ní požadované teploty rozdílné. Výpočet se může dále provádět po měsících, nebo pro celé otopné období. Způsob výpočtu platí pro nové budovy. Může se však uplatnit také pro existující budovy – v tomto případě jsou v Příloze A v ČSN EN 832 doplňkové pokyny.

##### a) Stanovení hranic a zón

Hranice vytápěného prostoru tvoří stěny, poslední podlaží a plochá střecha nebo střecha oddělující vytápěný prostor od nevytápěného prostoru nebo od vnějšího vzduchu.

Vytápěný prostor se může, je-li to účelné, rozdělit na více teplotních oblastí – zón. Jestliže se však vytápěný prostor vytápí na stejnou teplotu a když jsou vnitřní zisky a zisky ze slunečního záření relativně malé nebo téměř stejné pro rozdělenou budovu, provádí se výpočet pro budovu uvažovanou jako jedna zóna.

Rozdělení na více zón není nutné, když:

- požadované teploty v jednotlivých zónách se neliší o více než 4 K a podíl ztrát a zisků je menší než 0,4
- dveře mezi jednotlivými zónami budou pravděpodobně otevřené
- zóna je malá a při výpočtu lze očekávat, že nevznikne větší chyba při stanovení celkové tepelné ztráty budovy větší než 5 %, uvažuje-li se jako jedna zóna. V takových případech platí výpočetní postup pro jednu zónu, a to i tehdy, když požadované teploty nejsou shodné. Jako vnitřní teplota se použije hodnota stanovená podle vztahu:

$$\theta_i = \frac{\sum_z H_z \cdot \theta_{iz}}{\sum_z H_z} \quad (3.1)$$

kde  $\theta_{iz}$  je požadovaná teplota zóny  $z$ ,  
 $H_z$  jednotková tepelná ztráta zóny  $z$ .

##### b) Výpočtové údaje

Pokud nejsou k dispozici příslušné evropské normy, používají se údaje národních norem nebo jiné podklady. V informativních přílohách této normy jsou číselné údaje, popř. způsoby výpočtu, na jejichž základě je možno požadované hodnoty stanovit.

Pokud jde o rozměry budovy, v ČSN EN ISO 13789 [3.2] se přednostně doporučuje používání vnějších rozměrů, zejména v počáteční fázi navrhování budovy. Chyba, vzniklá zanedbáním energetického vlivu tepelných mostů, je v tomto případě zpravidla nejmenší.

Výpočtové údaje vztažené k budově:

- $V$  vytápěný prostor,
- $C$  vnitřní tepelná kapacita vytápěné zóny nebo
- $\tau$  časová konstanta vytápěné zóny,
- $\eta_h$  účinnost vytápěcí soustavy.

**Poznámka:**

Buď je udáno  $C$  nebo  $\tau$ , nikdy obě hodnoty současně.

**c) Vstupní údaje pro výpočet tepelné ztráty**

Prostup tepla je charakterizován jednotkovou tepelnou ztrátou prostupem  $H_T$  stanovenou podle EN ISO 13789.

Pro výpočet tepelné ztráty větráním jsou potřebné tyto údaje:

- $V_v$  objemový tok větracího vzduchu,
- $n_d$  výpočtová intenzita výměny vzduchu nebo
- $n_{50}$  intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa nebo
- $V_d$  návrhový objemový tok vzduchu dodávaný větracím zařízením,
- $\eta_v$  účinnost systému zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu.

**d) Vstupní údaje pro výpočet tepelných zisků**

Průměrná hodnota vnitřních tepelných zisků  $\Phi_i$  se vztahuje k časovému úseku výpočtu.

Pro zasklené části obvodového pláště budovy musejí být pro každou orientaci (svislou jižní, severní atd. a vodorovnou) stanoveny:

- $A$  plocha otvorů (oken a dveří) v obvodovém plášti,
- $F_F$  redukční činitel okenního rámu; podíl plochy průsvitné části okna k ploše  $A$ ,
- $F_C$  redukční činitel slunečních clon; redukce pronikání slunečního záření v důsledku trvalé sluneční clony,
- $F_S$  redukční činitel stínění; průměrná hodnota zastíněného podílu plochy  $A$ .

**Poznámky:**

1. Pohlcující plochy, ze kterých se nedostává energie přímo do vytápěného prostoru (např. sluneční kolektory připojené na oddělený zásobník tepla nebo fotovoltaické články), v této části výpočtu neuvažují. Taková zařízení se považují za součást vytápěcí soustavy.
2. Doplňkové údaje je třeba získat o těch částech budovy, které obsahují otopné zařízení a prvky akumulující sluneční energii – jako jsou transparentní izolace, větrané sluneční stěny, zimní zahrady apod. Dále je třeba získat informace pro výpočet účinku přerušovaného vytápění – viz odpovídající přílohy.

**e) Klimatické údaje**

- měsíční nebo roční průměrné teploty vnějšího vzduchu  $\theta_e$  (°C),
- měsíční nebo roční globální sluneční záření na plochu v každém směru  $I_{sj}$  (J/m<sup>2</sup>).

**f) Údaje o chování uživatelů**

$\theta_i$  požadovaná vnitřní teplota (°C); pokud se má zohlednit vliv přerušovaného vytápění, je třeba uplatnit doplňkové údaje, které jsou v příloze J v EN ISO 13789.

**g) Celková tepelná ztráta**

- ga) Celková tepelná ztráta jednozónové budovy**  $Q_t$  s konstantní vnitřní teplotou  $\theta_i$  (°C) a konstantní teplotou vnějšího vzduchu  $\theta_e$  (°C) v daném časovém období  $t$  (např. měsíc, otopné období aj.) se stanoví ze vztahu



$$Q_i = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad (3.2)$$

kde  $H$  je jednotková tepelná ztráta budovy (W/K). Platí pro ni vztah

$$H = H_T + H_V \quad (3.3)$$

kde  $H_T$  je jednotková tepelná ztráta prostupem (W/K),  $H_V$  je jednotková tepelná ztráta větráním (W/K).

**gb) Jednotková tepelná ztráta prostupem je**

$$H_T = L_D + L_S + H_U \quad (3.4)$$

kde  $L_D$  je tepelná propustnost obvodového pláště oddělujícího vytápěný prostor od nevytápěného (W/K),  $L_S$  je tepelná propustnost zeminou v ustáleném stavu (W/K),  $H_U$  je tepelná ztráta prostupem nevytápěného prostoru (W/K).

Pro výpočet  $L_D$  platí postup uvedený v ČSN EN ISO 13789:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k \ell_k \psi_k + \sum_j \chi_j \quad (3.5)$$

nebo

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k L_k^{2D} \ell_k + \sum_j L_j^{3D} \quad (3.6)$$

kde  $A_i$  je plocha prvku  $i$  obvodového pláště ( $m^2$ ) (rozměry oken a dveří se uvažují jako rozměry otvoru ve stěně),

$U_i$  součinitel prostupu tepla prvku  $i$  obvodového pláště; stanoví se podle ČSN EN ISO 6946 [3.3], jedná-li se o neprůsvitné prvky, nebo podle ČSN EN ISO 10077-1, jedná-li se o zasklené prvky [3.4] (W/( $m^2K$ )),

$\ell_k$  délka lineárního tepelného mostu  $k$  (m),

$\psi_k$  lineární součinitel prostupu tepla tepelného mostu  $k$ , (W/(m K)) (převzeme se buď z ČSN EN ISO 14683 [3.5], nebo se vypočítá podle ČSN EN ISO 10211-1 [3.6]),  
 $\chi_j$  bodový součinitel prostupu tepla tepelného mostu  $j$  (W/K) (bodové tepelné mosty jsou obvykle součástí rovinných prvků, takže jsou zahrnuty v jejich součiniteli prostupu tepla – z čehož plyne, že se s nimi pak v hodnotě  $L_D$  nepočítá),

$L_k^{2D}$  lineární tepelná propustnost stanovená na základě řešení dvourozměrného teplotního pole (W/(m K)) (vypočítá se podle postupu uvedeného v ČSN EN ISO 10211-1),

$L_j^{3D}$  bodová tepelná propustnost stanovená na základě řešení trojrozměrného teplotního pole (W/K) (vypočítá se podle postupu uvedeného v ČSN EN ISO 10211-1).

Součet se provede pro všechny stavební prvky, které oddělují vnitřní a vnější prostředí. Jestliže je hlavní izolační vrstva souvislá a má ve všech místech stejnou tloušťku, mohou být lineární a bodové tepelné propustnosti zanedbány v případě, že jsou použity vnější rozměry. Za hlavní izolační vrstvu se považuje vrstva s největším tepelným odporem, hraničící s potenciálními tepelnými mosty.

Jestliže je součinitel prostupu tepla prvku proměnlivý (např. okna s roletami uzavíranými v noci), vypočítají se nejvyšší a nejnižší hodnoty.

#### Poznámky:

1. Hodnoty lineárních součinitelů prostupu tepla tepelných mostů  $\psi_k$  jsou uvedeny také v katalogu tepelných mostů v ČSN EN ISO 14683 [3.5]. Detaily tepelných mostů jsou seskupeny podle typů a se čtyřmi umístěními hlavní izolační vrstvy (což je vrstva s největším tepelným odporem). Ta může být umístěna na

- vnější straně
- uvnitř
- na vnitřní straně
- rovnoměrně po celém průřezu.

Hodnoty  $\psi_k$  se musejí uvažovat vždy ve spojitosti se zvolenými rozměry – uvažují se

- vnější rozměry, měřené mezi konečnými vnějšími povrchy obvodových prvků budovy
  - celkové vnitřní rozměry, měřené mezi konečnými vnitřními povrchy obvodových prvků budovy (tedy včetně tloušťky vnitřních stavebních prvků)
  - vnitřní rozměry, měřené konečnými vnitřními povrchy v každé místnosti budovy (tedy s vyloučením tloušťky existujících vnitřních dělicích stěn). Např. u koutu izolovaného na vnější straně a počítá-li se s vnějšími rozměry, je  $\psi = -0,05$ , počítá-li se s vnitřními rozměry, je  $\psi = 0,15$ .
2. Jako další možnost nahrazení výpočtu lineárního součinitele prostupu tepla tepelného mostu  $\psi_k$  nebo použití tabulárních hodnot z katalogu, je uplatnění konstantní přírážky  $\Delta U_{TM}$  (W/(m<sup>2</sup>K)). Ta je rovna  $\Delta U_{TM} = 0,1$  W/(m<sup>2</sup>K) a v případě, že jde o budovy, u kterých se přihlíželo k řešení tepelných mostů, je možno použít hodnotu  $\Delta U_{TM} = 0,05$  W/(m<sup>2</sup>K) [3.7], tepelná ztráta tepelných mostů  $H_{TM}$  (K), se pak stanoví ze vztahu:

$$H_{TM} = \Delta U_{TM} \cdot A \quad (3.7)$$

kde  $A$  je plocha všech uvažovaných ochlazovaných konstrukcí (m<sup>2</sup>).

Tepelná propustnost zeminy  $L_S$  se stanoví podle postupu uvedeného v ČSN EN ISO 13370 [3.8] nebo v [1.4].

Jednotková tepelná ztráta prostupem mezi vytápěnými prostory a vnějším prostředím, mezi nimiž jsou nevytápěné prostory,  $H_U$ , se stanoví ze vztahu:

$$H_U = L_{iu} \cdot b, \quad \text{kde } b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (3.8)$$

kde  $L_{iu}$  je tepelná propustnost mezi vytápěným a nevytápěným prostorem (W/K); stanoví se jako součet tepelné propustnosti stěn mezi vytápěným a nevytápěným prostorem  $L_{Diu}$  a tepelné ztráty zeminou  $L_{Siu}$ , tj.  $L_{iu} = L_{Diu} + L_{Siu}$ ,

$H_{iu}$  jednotková tepelná ztráta z vytápěného prostoru do nevytápěného prostoru (W/K),

$H_{ue}$  jednotková tepelná ztráta z nevytápěného prostoru do vnějšího prostředí (W/K).

#### Poznámka:

Redukční činitel  $b$  ve vztahu (3.8) zohledňuje odlišnost teploty nevytápěného prostoru od teploty vnějšího prostředí.

Jednotkové tepelné ztráty prostupem mezi vytápěnými prostory a vnějším prostředím, mezi nimiž jsou nevytápěné prostory, zahrnují nejen tepelnou ztrátu prostupem, ale i větráním. Pro tepelnou ztrátu větráním v tomto případě platí:

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu} \quad \text{a} \quad H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue} \quad (3.9)$$

Tepelné propustnosti  $L_{iu}$  a  $L_{ue}$  se stanoví podle vztahů (3.5) nebo (3.6), jednotkové tepelné ztráty větráním  $H_{V,iu}$  a  $H_{V,ue}$  se stanoví ze vztahů:

$$H_{V,iu} = \rho \cdot c \cdot V_{iu} \quad \text{a} \quad H_{V,ue} = \rho \cdot c \cdot V_{ue} \quad (3.10)$$

kde  $\rho$  je hustota vzduchu (kg/m<sup>3</sup>),

$c$  měrná tepelná kapacita vzduchu (Wh/(kg K)),

$V_{iu}$  tok vzduchu mezi vytápěným a nevytápěným prostorem (m<sup>3</sup>/h),

$V_{ue}$  tok vzduchu mezi nevytápěným prostorem a vnějším prostředím (m<sup>3</sup>/h).

Při dosazování příslušných údajů do vpředu uvedených vztahů je nutno dbát na účel stanovených tepelných ztrát:

1. Je-li je účelem výpočtu odhad roční spotřeby tepla při vytápění, mají se pro výpočet použít nejvhodnější vstupní údaje.
2. Je-li je účelem výpočtu charakterizovat vlastnosti budovy z hlediska prostupu tepla – jako deklarace vlastností „výrobku“, nebo posouzení splnění požadovaných hodnot vyjádřených ve formě jednotkové tepelné ztráty prostupem, musí se použít dále uvedené hodnoty. Výsledek výpočtu je pak nezávislý na umístění a využití budovy. Jde o následující veličiny a jejich hodnoty:
  - Tepelná propustnost zeminy – použije se ustálená tepelná propustnost  $L_S$  a přitom se uvažuje tepelná vodivost zeminy  $\lambda = 2,0 \text{ W/(m K)}$ .
  - Jestliže je hodnota součinitele prostupu tepla stavebního prvku proměnlivá, použije se největší hodnota.
  - Objemový tok vzduchu nevytápěných prostor – aby nebyly podceněny ztráty prostupem tepla, předpokládá se mezi vytápěným a nevytápěným prostorem tok vzduchu nulový, tj.

$$V_{iu} = 0$$

Tok vzduchu mezi nevytápěným prostorem a vnějším prostředím se vypočítá ze vztahu:

$$V_{ue} = V_u \cdot n_{ue} \quad (3.11)$$

kde  $n_{ue}$  je obvyklá intenzita výměny vzduchu mezi nevytápěným prostorem a vnějším prostředím ( $\text{h}^{-1}$ ),

$V_u$  objem vzduchu v nevytápěném prostoru ( $\text{m}^3$ ).

Intenzita výměny vzduchu  $n_{ue}$  se zjistí z *tab. 80*.

**Tab. 80** Obvyklá intenzita výměny vzduchu mezi nevytápěným prostorem a vnějším prostředím (ČSN EN 832)

| Č. | Úroveň těsnosti                                                                                               | $n_{ue} (\text{h}^{-1})$ |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1  | Žádné dveře a okna, všechny spáry mezi stavebními prvky jsou dobře utěsněny, žádné otvory pro průchod vzduchu | 0                        |
| 2  | Všechny spáry mezi stavebními prvky jsou dobře utěsněny, žádné větrací otvory                                 | 0,5                      |
| 3  | Všechny spáry mezi stavebními prvky jsou dobře utěsněny, malé větrací otvory                                  | 1                        |
| 4  | Lokální otevřené propojení nebo trvale otevřené větrací otvory                                                | 5                        |
| 5  | Četná místa otevřeného propojení nebo větší a četné trvale otevřené větrací otvory                            | 10                       |

### Poznámka:

Jestliže je známa intenzita výměny vzduchu  $n_{50}$  při rozdílu tlaku 50 Pa nebo je známa ekvivalentní plocha větracího otvoru  $A_1$ , může se intenzita výměny vzduchu  $n_{ue}$  stanovit podle empirického vztahu:

$$n (\text{h}^{-1}) = \frac{n_{50}}{20} \text{ nebo } n (\text{h}^{-1}) = \frac{A_1 (\text{cm}^2)}{10 \cdot V_u (\text{m}^3)} \quad (3.12)$$

a pak se použije intenzita výměny vzduchu rovná nejbližší hodnotě v *tab. 80*.

### gc) Jednotková tepelná ztráta větráním

Jednotková tepelná ztráta větráním  $H_V$  se stanoví ze vztahu:

$$H_V = V \cdot \rho_a \cdot c_a \quad (3.13)$$

kde  $V$  je objemový tok vzduchu v budově (zahrnuje i výměnu vzduchu v nevytápěných prostorech),

$(\rho_a \cdot c_a)$  objemová tepelná kapacita; uvažuje se  $(\rho_a \cdot c_a) = 1\,200 \text{ J/(kg K)}$ , jestliže je tok vzduchu v  $\text{m}^3/\text{s}$ ; jestliže je tok vzduchu v  $\text{m}^3/\text{h}$ , pak  $(\rho_a \cdot c_a) = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$ .

Objemový tok vzduchu se může stanovit na základě intenzity výměny vzduchu  $n$ , pokud je známa:

$$V = V_m \cdot n \quad (3.14)$$

kde  $V_m$  je objem vytápěného prostoru ( $\text{m}^3$ ).

Při hodnocení energetické náročnosti budov, tj. při výpočtu potřeby tepla při vytápění, se používá jednotná hodnota intenzity výměny vzduchu  $n = 0,5 \text{ (h}^{-1}\text{)}$  – viz [3.9].

#### Poznámky:

1. Požadovanou intenzitu výměny vzduchu předepisuje ČSN 73 0540-2 [1.1].
2. Postup výpočtu intenzity výměny vzduchu při použití mechanických systémů větrání je popsán v ČSN EN 832 v čl. 5.2.4 a při použití mechanických větracích systémů s výměníky tepla v ČSN EN 832 v čl. 5.2.5.

### h) Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky  $Q_g$  tvoří vnitřní tepelné zisky  $Q_i$  a zisky ze slunečního záření  $Q_s$ :

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (3.15)$$

#### ha) Vnitřní tepelné zisky $Q_i$

Zahrnují všechny zisky, které se ve vytápěných prostorech vyvíjejí z jiných zdrojů než z vytápěcích soustav, např.

- metabolické teplo lidí,
- teplo od spotřebičů a osvětlovacích zařízení,
- čisté zisky z užitkové a odpadní vody.

Průměrné měsíční nebo roční hodnoty se stanoví ze vztahu:

$$Q_i = (\Phi_{ih} + (1 - b) \cdot \Phi_{iu}) \cdot t = \Phi_i \cdot t \quad (3.16)$$

kde  $\Phi_{ih}$  je průměrný tepelný zisk z vnitřních zdrojů ve vytápěné zóně,  
 $\Phi_{iu}$  průměrný tepelný zisk z vnitřních zdrojů v nevytápěné zóně,  
 $\Phi_i$  průměrný tepelný zisk z vnitřních zdrojů,  
 $b$  činitel daný vztahem (3.8).

#### Poznámka:

Existují podstatné rozdíly mezi různými domácnostmi a různými klimatickými zónami, a proto by měly být tyto hodnoty uvedeny v národních normách. Nejsou-li k dispozici, doporučuje se uvažovat  $5 \text{ W na m}^2$  podlahové plochy vytápěné zóny. V tomto případě jsou vnitřní tepelné zisky dány vztahem

$$\psi_i = 5 \cdot A_{VP} \quad (3.17)$$

kde  $A_{VP}$  je podlahová plocha vytápěné zóny ( $\text{m}^2$ ).

### hb) Zisky ze slunečního záření

Pro daný časový úsek se zisky ze slunečního záření stanoví ze vztahu

$$Q_s = \sum_j I_{sj} \cdot \sum_n A_{snj} \quad (3.18)$$

kde první součet se vztahuje na všechny směry  $j$  a druhý na všechny plochy  $n$ , na něž sluneční záření dopadá, dále

$I_{sj}$  je celková hodnota globálního slunečního záření ve směru  $j$  dopadajícího na příslušnou plochu  $n$  v uvažovaném časovém úseku výpočtu,

$A_{snj}$  účinná plocha povrchu  $n$  pohlcující sluneční záření o orientaci  $j$ ; odpovídá ploše černého tělesa, která má tentýž zisk, jako uvažovaná plocha.

Zisky ze slunečního záření v nevytápěných zónách se násobí příslušnými redukčním činitelem  $(1 - b)$  – viz vztah (3.8) a přičtou se k tepelným ziskům vytápěné zóny.

### α) Účinná pohlcující plocha

Účinná pohlcující plocha  $A_s$  zaskleného prvku obvodového pláště budovy, např. okna, je dána vztahem:

$$A_s = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot F_F \cdot g \quad (3.19)$$

kde  $A$  je pohlcující plocha, např. plocha okna,

$F_S$  korekční činitel stínění,

$F_C$  korekční činitel clonění (prvky protisluneční ochrany),

$F_F$  korekční činitel rámu; podíl průsvitné plochy a celkové plochy okna,

$g$  celková propustnost slunečního záření zasklení.

#### Poznámka:

Korekční činitel stínění zahrnuje jen trvalé stínění, které se nemění v závislosti na ziscích ze slunečního záření nebo na vnitřní teplotě. Zařízení protisluneční ochrany ovládané uživatelem nebo regulované automaticky, se implicitně zohlední v činiteli využití zisků ze slunečního záření.

### β) Celková propustnost slunečního záření zasklení

Celková propustnost slunečního záření zasklení  $g$  v rovnici (3.19) vyjadřuje podíl množství energie dopadající na nezastíněný prvek a množství energie, které prvkem prochází. Pro okna a jiné zasklené prvky obvodového pláště budovy je uveden způsob jejího stanovení v ČSN EN ISO 14438 [3.10]. Zde se určuje jako celková propustnost slunečního záření, dopadajícího kolmo na zasklení. Tato hodnota  $g_{\perp}$  je o něco větší než časově průměrná hodnota propustnosti, a proto musí být korigována. Slouží k tomu činitel  $F_w$ :

$$g = F_w \cdot g_{\perp} \quad (3.20)$$

### γ) Korekční činitel stínění

Stínicí činitel  $F_S$ , jehož rozsah je mezi 0 a 1, se redukuje v důsledku stínění

- jinými budovami,
- okolním prostředím (vyvýšením terénu, stromy apod.),
- přechínávajícími částmi téhož prvku,
- jinými prvky vlastní budovy, popř. polohou okna ve vztahu k vnější hraně obvodových stěn.

Stanoví se ze vztahu:

$$F_S = I_{s,ps} / I_s \quad (3.21)$$

kde  $I_{s,ps}$  je celková hodnota intenzity záření, která dopadá na pohlcující plochu s trvalým stíněním v uvažovaném časovém intervalu,

$I_s$  celková hodnota intenzity záření, která dopadá na pohlcující plochu nezastíněnou v uvažovaném časovém intervalu.

#### δ) Údaje pro výpočet slunečních zisků

Celková propustnost slunečního záření definována v ČSN EN ISO 14438 je vypočítána pro sluneční záření kolmé k zasklení,  $g_{\perp}$  tab. 81 obsahuje některé orientační hodnoty. Hodnoty platí pro běžné záření za předpokladu čistého povrchu. Pro měsíční výpočty se používá celková průměrná hodnota úhlu dopadu. Činitel  $F_w$  v rovnici (3.20) je přibližně roven:  $F_w = 0,9$ . Závisí na druhu skla, zeměpisné šířce, klimatu a orientaci.

Tab. 81 Celková propustnost slunečního záření dvou nejběžnějších druhů zasklení (ČSN EN 832)

| Druh zasklení                                               | $g_{\perp}$ |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
| Jednoduché zasklení                                         | 0,85        |
| Číré dvojsklo                                               | 0,75        |
| Pro ostatní druhy zasklení se použijí certifikované hodnoty |             |

Činitel stínění může být vypočítán podle vztahu:

$$F_S = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (3.22)$$

kde  $F_h$  je činitel stínění horizontem,

$F_o$  činitel stínění markýzou,

$F_f$  činitel stínění bočními žebry.

#### Stínění horizontem

Stínění horizontem (např. vyvýšeným terénem, stromy a jinými budovami) závisí na úhlu stínění, zeměpisné šířce, orientaci, místnímu klimatu a otopnému období. Činitelé stínění pro typické průměrné klimatické poměry a otopné období říjen až duben jsou uvedeny v tab. 82, pro tři zeměpisné šířky a čtyři orientace oken ke světovým stranám. Pro jiné zeměpisné šířky a jiné orientace oken se může provést interpolace. Úhel stínění horizontem je průměrnou hodnotou stínění posuzované fasády.

Tab. 82 Dílčí činitel stínění horizontem  $F_h$  (je stanoven interpolací z hodnot v ČSN EN 832)

| Úhel stínění horizontem | 50° severní šířky |      |      |
|-------------------------|-------------------|------|------|
|                         | J                 | V, Z | S    |
| 0°                      | 1,00              | 1,00 | 1,00 |
| 10°                     | 0,96              | 0,94 | 1,00 |
| 20°                     | 0,77              | 0,79 | 0,97 |
| 30°                     | 0,56              | 0,66 | 0,93 |
| 40°                     | 0,43              | 0,59 | 0,90 |

#### Stínění markýzou a bočními žebry

Stínění markýzami a bočními žebry závisí na úhlu stínění markýzami a žebry, na orientaci ke světovým stranám a místnímu klimatu. Roční hodnoty činitelů stínění jsou uvedeny v tab. 83 a 84.

Tab. 83 Dílčí činitel stínění markýzou  $F_o$  (je stanoven interpolací z hodnot v ČSN EN 832)

| Úhel stínění horizontem | 50° severní šířky |      |      |
|-------------------------|-------------------|------|------|
|                         | J                 | V, Z | S    |
| 0°                      | 1,00              | 1,00 | 1,00 |
| 30°                     | 0,92              | 0,90 | 0,91 |
| 45°                     | 0,77              | 0,78 | 0,80 |
| 60°                     | 0,55              | 0,59 | 0,66 |

Tab. 83 Dílčí činitel stínění markýzou  $F_o$  (je stanoven interpolací z hodnot v ČSN EN 832)

| Úhel stínění markýzou | 50° severní šířky |      |      |
|-----------------------|-------------------|------|------|
|                       | J                 | V, Z | S    |
| 0°                    | 1,00              | 1,00 | 1,00 |
| 30°                   | 0,92              | 0,90 | 0,91 |
| 45°                   | 0,77              | 0,78 | 0,80 |
| 60°                   | 0,55              | 0,59 | 0,66 |

Tab. 84 Dílčí činitel stínění bočním žebrem  $F_f$  (je stanoven interpolací z hodnot v ČSN EN 832)

| Úhel stínění bočním žebrem | 50° severní šířky |      |      |
|----------------------------|-------------------|------|------|
|                            | J                 | V, Z | S    |
| 0°                         | 1,00              | 1,00 | 1,00 |
| 30°                        | 0,94              | 0,92 | 1,00 |
| 45°                        | 0,85              | 0,84 | 1,00 |
| 60°                        | 0,73              | 0,75 | 1,00 |

Korekční činitel slunečních clon:

Činitel clonění slunečními clonami je podíl průměrné sluneční energie vstupující do budovy se slunečními clonami a množství energie, která by vstupovala do budovy bez slunečních clon. Některé hodnoty jsou uvedeny v tab. 85 pro prvky umístěné z vnitřní a vnější strany okna.

Tab. 85 Korekční činitel slunečních clon (ČSN EN 832)

| Druh slunečních clon | Optické vlastnosti slunečních clon |             | Korekční činitel slunečních clon |          |
|----------------------|------------------------------------|-------------|----------------------------------|----------|
|                      | pohltivost                         | propustnost | z vnitřní strany okna            | vně okna |
| Bílé žaluzie         | 0,1                                | 0,05        | 0,25                             | 0,10     |
|                      |                                    | 0,1         | 0,30                             | 0,15     |
|                      |                                    | 0,3         | 0,45                             | 0,35     |
| Bílé závěsy          | 0,1                                | 0,5         | 0,65                             | 0,55     |
|                      |                                    | 0,7         | 0,80                             | 0,75     |
|                      |                                    | 0,9         | 0,95                             | 0,95     |

| Druh slunečních clon          | Optické vlastnosti slunečních clon |             | Korekční činitel slunečních clon |          |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------------------|----------|
|                               | pohltivost                         | propustnost | z vnitřní strany okna            | vně okna |
| Barevné textilie              | 0,3                                | 0,1         | 0,42                             | 0,17     |
|                               |                                    | 0,3         | 0,57                             | 0,37     |
|                               |                                    | 0,5         | 0,77                             | 0,57     |
| Textilie s hliníkovou vrstvou | 0,2                                | 0,05        | 0,20                             | 0,08     |

## i) Potřeba tepla

### ia) Tepelná bilance

Tepelné ztráty  $Q_l$  a tepelné zisky  $Q_g$  se stanovují pro každý uvažovaný časový úsek. Potřeba tepla pro vytápění se stanoví pro každý časový úsek na základě zjištěných tepelných ztrát a tepelných zisků ze vztahu

$$Q_h = Q_l - \eta \cdot Q_g \quad (3.23)$$

Je-li průměrná teplota vnějšího vzduchu vyšší než vnitřní teplota, pak se uvažuje  $Q_l = 0$  a  $\eta = 0$ . Účinnost  $\eta$  představuje redukci sčítaných tepelných zisků (vnitřních a pasivních zisků ze slunečního záření). Zavádí se do ustálené energetické bilance, čímž se zohledňuje dynamické chování budovy.

### ib) Činitel využití tepelných zisků

Za předpokladu dokonalé regulace vytápěcí soustavy mají největší vliv na činitele využití tepelných zisků tyto veličiny:

Podíl tepelných zisků a tepelných ztrát:

$$y = \frac{Q_g}{Q_l} \quad (3.24)$$

a dále časová konstanta  $\tau$ , která charakterizuje tepelnou setrvačnost vytápěné zóny:

$$\tau = \frac{C}{H} \quad (3.25)$$

kde  $C$  je účinná vnitřní tepelná kapacita; je to množství tepla, které je akumulováno v budově (ve stavebních konstrukcích), za předpokladu, že vnitřní teplota se mění sinusově s periodou 24 h a amplitudou 1 K.

Pro účinnou tepelnou kapacitu platí přibližný vztah:

$$C = \sum_j \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j \quad (3.26)$$

kde  $\rho_{ij}$  je objemová hmotnost materiálu  $i$  v konstrukci  $j$ ,  
 $c_{ij}$  měrná tepelná kapacita materiálu  $i$  v konstrukci  $j$ ,  
 $d_{ij}$  tloušťka materiálu  $i$  v konstrukci  $j$ ,  
 $A_j$  plocha konstrukce  $j$ .



Součty v rovnici (3.26) se provádějí pro všechny vrstvy každé konstrukce, avšak jen do maximální tloušťky, uvedené v *tab. 86*.

*Tab. 86* Maximální tloušťka uvažovaná v rovnici (3.26) v závislosti na časovém intervalu (ČSN EN 832)

| Použití pro stanovení          | Časový interval (h) | Maximální tloušťka (cm) |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|
| stupně využití tepelných zisků | 24                  | 10                      |
| vlivu přerušení vytápění       | 3                   | 3                       |

Podle [3.7] je možno uvažovat přibližně hodnotu účinné tepelné kapacity  $C$  podle *tab. 87*.

*Tab. 87* Účinná tepelná kapacita  $C$  (Wh/(m<sup>3</sup>K)) v závislosti na obestavěném prostoru budovy  $V$  (m<sup>3</sup>) – přibližné hodnoty podle [3.7]

| Použití pro stanovení          | C(Wh/(m <sup>3</sup> K)) pro stavby |        |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------|
|                                | lehké                               | těžké  |
| stupně využití tepelných zisků | 15 . V                              | 50 . V |
| vlivu přerušení vytápění       | 12 . V                              | 18 . V |

**Poznámka:**

Postup stanovení vlivu přerušovaného vytápění je popsán v Příloze J v ČSN EN 832

Činitel využití tepelných zisků se stanoví ze vztahu:

$$\eta = \frac{1 - y^a}{1 - y^{a+1}}, \text{ když } y \neq 1 \quad (3.27)$$

$$\eta = \frac{a}{1 + a}, \text{ když } y = 1 \quad (3.28)$$

kde  $a$  je číselný parametr, který závisí na časové konstantě  $\tau_0$ ; stanoví se z rovnice:

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad (3.29)$$

Hodnoty  $a_0$  a  $\tau_0$  jsou v tabulce (ČSN EN 832):

| Výpočetní postup | $a_0$ | $\tau_0$ (h) |
|------------------|-------|--------------|
| Měsíční          | 1     | 16           |
| Roční            | 0,8   | 28           |

**Poznámka:**

Činitel využití tepelných zisků je definován nezávisle na vlastnostech vytápěcí soustavy. Při jeho stanovení se vychází z předpokladu dokonalé teplotní regulace a ideálního plynulého nastavení výkonu. Účinky pomalé reakce vytápění a nedokonalá regulace soustavy mohou být významné; závisí na podílu tepelných zisků a tepelných ztrát. Tato skutečnost by se měla zohlednit v části výpočtu týkajícího se vytápěcí soustavy.

## j) Roční potřeba tepla budovy

### ja) Výpočet po měsících

Roční potřeba tepla  $Q_h$  je dána součtem měsíčních hodnot  $Q_{nh}$ , ve kterých je průměrná vnější teplota nižší než požadovaná vnitřní teplota (přitom není stanovena délka otopného období):

$$Q_h = \sum_n Q_{nh} \quad (3.30)$$

kde  $n$  je počet uvažovaných měsíců.

### jb) Výpočet za rok

První a poslední den otopného období, a tím i jeho délka, a průměrné meteorologické podmínky mohou být určeny na národní úrovni pro příslušné zeměpisné oblasti a pro typické budovy. Otopné období zahrnuje všechny dny, ve kterých je porušena tepelná rovnováha mezi tepelnými zisky, stanovené na základě smluvního činitele využití tepelných zisků  $\eta_o$ , a tepelných ztrát. Tento stav nastane tehdy, když:

$$\theta_{ed} \leq \theta_{id} - \frac{\eta_o Q_{gd}}{H \cdot t_d} \quad (3.31)$$

kde  $\theta_{ed}$  je průměrná denní vnější teplota,  
 $\theta_{id}$  průměrná denní vnitřní teplota,  
 $\eta_o$  smluvní činitel využití tepelných zisků při  $y = 1$ ,  
 $Q_{gd}$  denní průměr vnitřních zisků a zisků ze slunečního záření,  
 $H$  jednotková tepelná ztráta,  
 $t_d$  počet hodin během dne.

Tepelné zisky v rovnici (3.18) mohou být stanoveny podle národních norem nebo regionálních hodnot denního globálního slunečního záření, vztahujícího se na hraniční dny otopného období. Měsíční průměrné hodnoty denních teplot a tepelné zisky se vztahují k 15. dni měsíce. Lineární interpolací se může stanovit den, pro který je splněna rovnice (3.31).

Potřeba tepla na vytápění za otopné období se stanoví výše uvedeným postupem.

## 3.1.2 Vyhláška MPO č. 291/2001 Sb. [3.9]

Tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov musí zajišťovat

- a) požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí,
- b) nízkou spotřebu tepla při vytápění.

Požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí je zajištěn tehdy, když jsou stavební konstrukce a jejich části navrženy tak, že splňují požadavky popsané v 1. kapitole.

Požadavek nízké spotřeby tepla při vytápění budov je splněn, je-li měrná spotřeba tepla vztahovaná na jednotku objemu budovy  $e_{VN}$  rovna nebo menší, než jsou hodnoty uvedené v tab. 88.

Hodnotí se buď celá budova, nebo její ucelená část, která je z vnější strany obklopena vnějším prostředím. Vnější prostředím je vnější vzduch, vzduch v nevytápěných prostorech nebo v přilehlé budově nebo její části; nevytápěné nebo částečně vytápěné prostory, které leží vně hranice budovy, zejména zimní zahrady, půdy a suterény, se do vyhodnocování spotřeby tepla nezahrnují.

U budov s vnitřními trvalými zdroji technologického tepla většími než  $25 \text{ W/m}^3$  a při stavebních úpravách těchto budov, při nichž se nezmění tvar budov a vnější půdorysné a výškové uspořádání, se uvedené požadavky uplatní jen tehdy, prokáže-li se, že navrhované řešení ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění budov je ekonomicky efektivní.

Požadované hodnoty měrné spotřeby tepla v *tab. 88* se nevztahují na budovy velkoplošně otevřené, na nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, chladírny a mrazírny.

Pro budovy památkově chráněné nebo budovy uvnitř památkových rezervací platí uvedené požadavky přiměřeně k možnostem, avšak vždy tak, aby nedocházelo k poruchám a vadám při užívání budov.

## a) Podmínky při stanovení spotřeby tepla při vytápění budov

Spotřeba tepla se stanovuje:

- v hranicích probíhajících na vnější straně konstrukcí, které vymezují vnější obálku vytápěné zóny budovy, sestávající ze stěn, nejnižší podlahy a stropů nebo střešních,
- za podmínek nepřetržitého vytápění a větrání s intenzitou výměny vzduchu  $n = 0,5$  1/h.

Při stanovení spotřeby tepla při vytápění a větrání se uvažují průměrné klimatické podmínky na území České republiky. Tomu odpovídá střední teplota venkovního vzduchu v průběhu otopného období  $+ 3,8$  °C a počet dnů vytápění 242.

Geometrická charakteristika  $A/V$  se stanovuje na základě

- celkové plochy  $A$  (m<sup>2</sup>), stanovené jako součet ploch konstrukcí ohraničujících objem budovy,
- objemu budovy  $V$  (m<sup>3</sup>), stanoveného jako objem vytápěné zóny, jehož součástí jsou všechny konstrukce tvořící hranici budovy, kromě lodžií, atik, říms apod.,
- ve výpočtech se používají vnější rozměry konstrukcí a u výplní otvorů skladebné rozměry.

## b) Výpočet spotřeby tepla při vytápění k pokrytí tepelné ztráty prostupem

Spotřeba tepla ke krytí tepelných ztrát prostupem  $E_{vp}$  (kWh/a) se stanoví ze vztahu

$$E_{vp} = h_1 \cdot (\Sigma A_j \cdot U_j + \Sigma A_o \cdot U_o \cdot b_o + \Sigma A_s \cdot U_s \cdot b_s + \Sigma A_z \cdot U_z \cdot b_z + \Sigma A_n \cdot U_n \cdot b_n + 0,1 \cdot A) \quad (3.32)$$

kde  $h_1$  je činitel zahrnující délku otopného období a průměrný rozdíl teplot mezi vnitřním prostředím a vnějším vzduchem (kh.K/a),

|       |                                                                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$   | plocha všech uvažovaných konstrukcí (m <sup>2</sup> ),                                                           |
| $A_j$ | plocha svislých stěnových konstrukcí a podlahy nad vnějším prostředím (m <sup>2</sup> )                          |
| $A_n$ | plocha konstrukcí proti nevytápěným prostorům (m <sup>2</sup> ),                                                 |
| $A_o$ | plocha oken (m <sup>2</sup> ),                                                                                   |
| $A_s$ | plocha střešních (m <sup>2</sup> ),                                                                              |
| $A_z$ | plocha konstrukcí přilehlých k zemině (m <sup>2</sup> ),                                                         |
| $U_j$ | součinitel prostupu tepla svislých stěnových konstrukcí a podlahy nad vnějším prostředím (W/(m <sup>2</sup> K)), |
| $U_n$ | součinitel prostupu tepla konstrukcí proti nevytápěným prostorům (W/(m <sup>2</sup> K)),                         |
| $U_o$ | součinitel prostupu tepla oken (W/(m <sup>2</sup> K)),                                                           |
| $U_s$ | součinitel prostupu tepla střešních (W/(m <sup>2</sup> K)),                                                      |
| $U_z$ | součinitel prostupu tepla konstrukcí přilehlých k zemině (W/(m <sup>2</sup> K)),                                 |
| $b_n$ | činitel teplotní redukce konstrukcí proti nevytápěným místnostem (-),                                            |
| $b_o$ | činitel teplotní redukce pro výplně otvorů (-),                                                                  |
| $b_s$ | činitel teplotní redukce pro střešních (-),                                                                      |
| $b_z$ | činitel teplotní redukce konstrukcí přilehlých k zemině (-).                                                     |

Součinitele prostupu tepla konstrukcí se stanovují měřením nebo výpočtem podle českých technických norem, přičemž musí obsahovat všechny typické nestejnorodosti, připadající na charakteristický výsek.

Poslední člen na pravé straně rovnice pro výpočet  $E_{vp}$ , tj. člen  $(0,1.A)$ , představuje přírážku na tepelné mosty a vazby konstrukcí v obvodovém plášti budov.

**Poznámka:**

Vliv tepelných mostů na tepelnou ztrátu lze přesně stanovit podle vztahů (3.5) a (3.6), popř. méně přesně s použitím příslušných hodnot z katalogu uvedeného v ČSN EN ISO 14683, nebo jednoduše použitím paušální přírážky; tento poslední případ je použit ve vztahu (3.32), tj.  $\Delta U_{TM} = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  – viz vztah (3.7).

Za součinitele prostupu tepla oken se dosazuje hodnota normová, tj. hodnota bez přírážky 1,15.

Činitele teplotní redukce  $b$  se zjistí v *tab. 89*.

Činitel  $h_1 = 94 \text{ (kh.K/a)}$  platí pro budovy s převažující vnitřní výpočtovou teplotu v budově  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ . Pro jinou převažující vnitřní teplotu, např. u zdravotnických budov, se stanoví ze vztahu

$$h_1 = 5,81 \cdot (\theta_i - 3,8) \quad (3.33)$$

kde  $\theta_i$  je převažující výpočtová vnitřní teplota v budově ( $^\circ\text{C}$ ).

**c) Výpočet spotřeby tepla při vytápění k pokrytí tepelné ztráty větráním**

Spotřeba tepla při vytápění ke krytí tepelných ztrát větráním  $E_{vv}$  (kWh/a) se stanoví ze vztahu

$$E_{vv} = h_2 \cdot V \quad (3.34)$$

kde  $h_2$  je činitel zahrnující délku otopného období, průměrný rozdíl teplot mezi vnitřním prostředím a venkovním vzduchem, uvažovanou intenzitu výměny vzduchu a tepelnou kapacitu vyměňovaného vzduchu (kWh/( $\text{m}^3 \text{ a}$ )),

$V$  objem budovy ( $\text{m}^3$ ),

$h_2 = 13 \text{ kWh/(m}^3 \text{ a)}$  platí pro budovy s převažující vnitřní výpočtovou teplotu v budově  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ . Pro jinou převažující vnitřní teplotu, např. u zdravotnických budov, se stanoví ze vztahu

$$h_2 = 0,81 \cdot (\theta_i - 3,8) \quad (3.35)$$

kde  $t_i$  je převažující výpočtová vnitřní teplota v budově ( $^\circ\text{C}$ )

**d) Tepelné zisky (stanovené přibližným způsobem)**

Uvažují se tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla a zisky ze slunečního záření. Tyto zisky se mohou započítávat do tepelné bilance budovy jen tehdy, když je v budově instalována automatická dynamická regulace vytápěcího zařízení.

**da)** Tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla za otopné období  $E_{vz}$  (kWh/a) se stanoví z následujícího vztahu

$$E_{vz} = 6 \cdot V \quad (3.36)$$

**db)** Tepelné zisky ze slunečního záření za otopné období  $E_{zs}$  (kWh/a) se stanoví z následujícího vztahu

$$E_{zs} = 3 \cdot V \quad (3.37)$$

kde  $V$  je objem budovy ( $\text{m}^3$ )

### e) Celková spotřeba tepla za otopné období

Výsledná spotřeba tepelné energie pro vytápění budovy za otopné období  $E_r$  (kWh/a) se stanoví ze vztahu

$$E_r = E_v - 0,9 \cdot (E_{zs} + E_{vz}) \quad (3.38)$$

kde  $E_v = E_{vp} + E_{vv}$  je spotřeba tepla při vytápění za otopné období k pokrytí tepelných ztrát prostupem a větráním (kWh/a);  $E_{vp}$  – viz vztah (3.32) a  $E_{vv}$  – viz vztah (3.34),

$E_{zs}$  tepelný zisk ze slunečního záření za otopné období (kWh/a) – viz vztah (3.37),

$E_{vz}$  tepelný zisk z vnitřních zdrojů tepla za otopné období (kWh/a) – viz vztah (3.36), přičemž číselná hodnota 0,9 ve vztahu (3.38) představuje využitelnost tepelných zisků; v případě, že se stanoví tepelný zisk ze slunečního záření přesněji podle postupu uvedeného v ad g), platí

$$E_r = E_v - 0,9 \cdot E_{vz} - E_{zs} \quad (3.39)$$

#### Poznámka:

Také zisky z vnitřních zdrojů tepla se mohou stanovit přesněji – viz např. [1.4, 3.11].

Zjištěnou spotřebu tepelné energie stanovenou podle této vyhlášky lze použít též pro přibližné stanovení spotřeby tepelné energie  $E_{ro}$  (kWh/a) v konkrétním otopném období, charakterizovaném počtem denostupňů  $(\theta_i - \theta_{es}) \cdot d$ , podle vztahu

$$E_{ro} = E_r \cdot \frac{(\theta_i - \theta_{es}) \cdot d}{D_x} \quad (3.40)$$

kde  $\theta_i$  je převládající vnitřní teplota v daném otopném období v budově (°C),

$\theta_{es}$  průměrná teplota venkovního vzduchu v daném otopném období (°C),

$d$  počet dnů vytápění v daném otopném období,

$D_x$  počet denostupňů uvažovaný při výpočtu spotřeby tepla podle této vyhlášky; při uplatnění výpočtové vnitřní teploty  $\theta_i = 20$  °C je  $D_x = 3\,920$ . Při jiné vnitřní teplotě se použije hodnota stanovená ze vztahu:

$$D_x = 242 \cdot \theta_i - 920 \quad (3.41)$$

### f) Měrná spotřeba tepelné energie za otopné období

Měrná spotřeba tepla za otopné období vztažená na jednotku objemu budovy  $e_v$  (kWh/(m<sup>3</sup>a)) se stanoví ze vztahu

$$e_v = \frac{E_r}{V} \quad (3.42)$$

kde  $V$  je objem budovy (m<sup>3</sup>).

Budova je vyhovující z hlediska spotřeby tepla, je-li zjištěná hodnota měrné spotřeby tepla  $e_v$ , nebo hodnota  $e_A$  rovná nebo nižší než hodnoty  $e_{vN}$ ,  $e_{vA}$  uvedené v tab. 88,

tedy

$$e_v \leq e_{vN}$$

$$e_A \leq e_{vA}$$

Tab. 88 Požadované hodnoty měrné spotřeby tepla při vytápění budov [3.9]

| $A/V$ (1/m)                                                                                                                                                                                         | $e_{VN}$ (kWh/(m <sup>3</sup> a)) | $e_{VA}$ (kWh/(m <sup>2</sup> a)) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0,2                                                                                                                                                                                                 | 25,8                              | 80,6                              |
| 0,3                                                                                                                                                                                                 | 28,4                              | 88,8                              |
| 0,4                                                                                                                                                                                                 | 31,0                              | 96,9                              |
| 0,5                                                                                                                                                                                                 | 33,6                              | 105,0                             |
| 0,6                                                                                                                                                                                                 | 36,2                              | 113,1                             |
| 0,7                                                                                                                                                                                                 | 38,9                              | 121,6                             |
| 0,8                                                                                                                                                                                                 | 41,5                              | 129,7                             |
| 0,9                                                                                                                                                                                                 | 44,0                              | 137,5                             |
| 1,0                                                                                                                                                                                                 | 46,7                              | 145,9                             |
| <p>Mezilehlé hodnoty je možno stanovit podle vztahů:<br/> <math>e_{VN} = 20,64 + 26,03 \cdot (A/V)</math> (kWh/(m<sup>3</sup>a))<br/> <math>e_{VA} = e_{VN}/0,32</math> (kWh/(m<sup>2</sup>a))</p>  |                                   |                                   |
| <p>Výsledná hodnota se zaokrouhuje na jedno desetinné místo.<br/> <math>A</math> plocha ochlazovaných konstrukcí (m<sup>2</sup>)<br/> <math>V</math> objem vytápěné zóny budovy (m<sup>3</sup>)</p> |                                   |                                   |

**Poznámka:**

Hodnoty měrné spotřeby tepla vztahžené na m<sup>2</sup> plochy vytápěných místností jsou stanoveny pro světlou výšku podlaží ≤ 2,6 m.

Tab. 89 Činitele teplotní redukce  $b$  [3.9]

|                                                                                        |            |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|
| Výplně otvorů (okna)                                                                   | $b_o$      | 1,15           |
| Střechy nad vytápěným prostorem                                                        | $b_s$      | 1              |
| Konstrukce oddělující nevytápěný prostor                                               | $b_s, b_n$ | podle tabulky  |
| Nevytápěný prostor                                                                     |            | $b_s, b_n$ (-) |
| Půda                                                                                   |            |                |
| • netěsná krytina                                                                      |            | 0,83           |
| • těsná krytina, bez tepelné izolace                                                   |            | 0,74           |
| • těsná krytina s tepelnou izolací                                                     |            | 0,57           |
| Místnosti sousedící                                                                    |            |                |
| • převážně s vytápěnými místnostmi, např. vnitřní chodby apod.                         |            | 0,14           |
| • zčásti s vytápěnými místnostmi a zčásti s venkovním prostředím                       |            |                |
| ○ bez venkovních dveří                                                                 |            | 0,40           |
| ○ s venkovními dveřmi; také vnitřní schodiště <sup>1)</sup>                            |            | 0,57           |
| Sklepy a jiné suterénní nevytápěné místnosti                                           |            |                |
| • zcela pod terénem                                                                    |            | 0,43           |
| • částečně nad terénem – nevětrané                                                     |            | 0,49           |
| • větrané                                                                              |            | 0,57           |
| Zřídka vytápěné místnosti                                                              |            |                |
| • ve stejné budově                                                                     |            | 0,14           |
| • v sousední budově                                                                    |            | 0,29           |
| <sup>1)</sup> V budově o více než 5 podlažích se uvažuje u vnitřního schodiště hodnota |            | 0,49           |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| Konstrukce přilehlé k zemině | $b_z (-)$ |
| Pod podlahou                 | 0,40      |
| U svislé stěny               |           |
| • do hloubky 1 m             | 0,66      |
| • v hloubce 1 až 2 m         | 0,57      |
| • v hloubce 2 až 3 m         | 0,49      |
| • v hloubce přes 3 m         | 0,40      |

#### g) Tepelné zisky ze slunečního záření stanovené přesnějším způsobem

Postupuje se podle ČSN 73 0542 [3.12]. Pokud jde o časový interval, uvažují se buď měsíční intervaly, nebo celé otopné období, přičemž hodnota za celé vytápěcí období se může stanovit jako součet hodnot ze všech měsíců otopného období.

##### ga) Tepelný zisk za měsíc $E_{zsm}$ (kWh/měs)

Stanoví se ze vztahu

$$E_{zsm} = E_{gm} \cdot A_{op} \cdot T \cdot c_m \cdot c_n \quad (3.43)$$

kde  $E_{gm}$  je globální sluneční záření za měsíc (kWh/měs); příslušné hodnoty jsou uvedené v tab. 90, jednak pro jednotlivé měsíce, jednak pro jednotlivé orientace,

$A_{op}$  plocha průsvitné části zasklení ( $m^2$ ),

$$A_{op} = A_o - A_n \quad (3.44)$$

kde  $A_n$  je plocha neprůsvitné části zasklení ( $m^2$ ),

$T$  celková propustnost záření zasklení, stanoví se ze vztahu

$$T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \quad (3.45)$$

kde  $T_1$  je propustnost slunečního záření zasklení – pro čiré sklo – viz tab. 91

$T_2$  znečištění zasklení (uvažuje se  $T_2 = 0,9$ ),

$T_3$  činitel stínění zasklení; v tab. 92 jsou uvedeny hodnoty stínících součinitelů  $s$  pro různá provedení oken a stínících prvků (podle ČSN 73 0548); činitel stínění,

$T_3$  stanoví na jeho základě ze vztahu:  $T_3 = 0,9 \cdot s$ ,

$c_m$  činitel využití slunečního záření v příslušném měsíci – viz tab. 93,

$c_n$  činitel korigující skutečnost, že dopad slunečních paprsků na zasklení není kolmý (uvažuje se  $c_n = 0,9$ ).

#### Poznámka:

Hodnoty globálního slunečního záření uvedené v tab. 90 platí pro albedo okolních ploch  $r = 0,2$ , což odpovídá normální krajině, kde se střídá smíšený porost s komunikacemi a rozptýlenou zástavbou. Ve zvláštních případech, kdy se odlišuje albedo okolních prostředí od hodnoty 0,2, mohou být korigovány činitelem  $r_a$  podle tab. 94. Výsledná hodnota globálního slunečního záření se potom stanoví ze vztahu:

$$E_{gm,r} = E_{gm}(1 + r_a) \quad (3.46)$$

##### gb) Tepelný zisk za celé otopné období $E_{zs}$ (kWh/VO)

α) Jako součet měsíčních hodnot

$$E_{zs} = \sum_m E_{zsm} \quad (3.47)$$

kde  $E_{zsm}$  je hodnota platná pro jednotlivé měsíce – viz vztah (3.43).

β) Na základě průměrných hodnot za celé otopné období

$$E_{zs} = E_{gVO} \cdot A_{op} \cdot T \cdot c_{mp} \cdot c_n \quad (3.48)$$

kde  $E_{gVO}$  je globální sluneční záření za celé otopné období – viz *tab. 90*,  
 $c_{mp}$  průměrná hodnota činitele využití slunečního záření za otopné období – viz *tab. 93*.

*Tab. 90* Globální sluneční záření za měsíc  $E_{gm}$  (kWh/(m<sup>2</sup>.měs)) při různých orientacích ( $E_{gVO}$  je součet za celé otopné období) (ČSN 73 0542)

| Měsíc     | H      | S     | SV, SZ | V, Z   | JV, JZ | J      |
|-----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| X         | 52,74  | 10,36 | 14,06  | 32,23  | 57,61  | 71,57  |
| XI        | 25,53  | 5,52  | 6,98   | 15,87  | 31,99  | 41,07  |
| XII       | 18,62  | 4,03  | 5,09   | 11,18  | 23,86  | 30,95  |
| I         | 23,06  | 5,21  | 6,42   | 15,01  | 32,20  | 41,94  |
| II        | 36,75  | 7,26  | 9,55   | 22,21  | 42,17  | 53,31  |
| III       | 76,12  | 15,60 | 23,25  | 48,89  | 76,16  | 89,73  |
| IV        | 110,53 | 24,04 | 38,30  | 65,84  | 84,33  | 88,42  |
| $E_{gVO}$ | 343,35 | 77,02 | 103,65 | 211,23 | 348,32 | 416,99 |

*Tab. 91* Propustnost slunečního záření zasklení  $T_1$  z čirého skla (ČSN 73 0542)

|                   |     |      |      |
|-------------------|-----|------|------|
| Počet skel        | 1   | 2    | 3    |
| Propustnost $T_1$ | 0,9 | 0,81 | 0,73 |

*Tab. 92* Hodnoty stínících součinitelů  $s$  pro různá provedení oken a stínících prvků (podle ČSN 73 0548)

| Druh zasklení                                           | $s$  | Stínící prvky                                        | $s$  |
|---------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------|------|
| jednoduché sklo                                         | 1,00 | vnitřní žaluzie, lamely 45°, světlé                  | 0,56 |
| dvojitě sklo                                            | 0,90 | vnitřní žaluzie, lamely 45°, střední barvy           | 0,65 |
| jednoduché determální sklo                              | 0,70 | vnitřní žaluzie, lamely 45°, tmavé                   | 0,75 |
| vnější determální, vnitřní obyčejné                     | 0,60 | vnější žaluzie, lamely 45°, světlé                   | 0,15 |
| reflexní sklo jednoduché průměrná jakost                | 0,70 | vnější žaluzie, lamely 45°, ven jasné, dovnitř tmavé | 0,13 |
| reflexní sklo dvojitě, špičkové výrobky                 | 0,24 | vnější markýzy, meziprostor větrán                   | 0,30 |
| vnější reflexní sklo průměrné jakosti, vnitřní obyčejné | 0,60 | meziokenní žaluzie, prostor nevětrán                 | 0,50 |
| zdvojené reflexní sklo dobré jakosti                    | 0,30 | reflexní záclony světlé<br>vnější reflexní vrstva    | 0,60 |
| barevné vrstvy stříkané světlé                          | 0,80 | závěsy: bavlna, umělá vlákna                         | 0,80 |
| barevné vrstvy stříkané střední                         | 0,70 | reflexní záclony tmavé,<br>vnější reflexní vrstva    | 0,70 |



| Druh zasklení           | $s$  | Stínicí prvky | $s$ |
|-------------------------|------|---------------|-----|
| reflexní fólie tmavá    | 0,25 | –             | –   |
| reflexní fólie světlá   | 0,42 | –             | –   |
| sklo s drátěnou vložkou | 0,80 |               |     |

**Poznámky:**

1. Při kombinaci několika způsobů stínění se získá výsledná hodnota  $s$  vynásobením hodnot dílčích:  

$$s = s_1 \cdot s_2 \cdot \dots \cdot s_n$$
2. Jestliže je část okna zastíněna, musí se stanovit ta část, která je osluněna – viz postup v ČSN 73 0548, popř. se může použít hodnot z *tab. 82 až 84*.

**Tab. 93** Činitel využití slunečního záření za měsíc  $c_m$  při různých orientacích zasklené plochy ( $c_{mp}$  je průměrná hodnota za celé otopné období) (ČSN 73 0542)

| Měsíc    | S | SV, SZ | V, Z | JV, JZ | J    |
|----------|---|--------|------|--------|------|
| X        | 1 | 0,95   | 0,85 | 0,73   | 0,67 |
| XI       | 1 | 0,98   | 0,95 | 0,86   | 0,81 |
| XII      | 1 | 1,00   | 1,00 | 0,97   | 0,95 |
| I        | 1 | 1,00   | 1,00 | 0,97   | 0,95 |
| II       | 1 | 1,00   | 1,00 | 0,97   | 0,95 |
| III      | 1 | 0,98   | 0,95 | 0,86   | 0,81 |
| IV       | 1 | 0,98   | 0,85 | 0,73   | 0,67 |
| $c_{mp}$ | 1 | 0,97   | 0,91 | 0,84   | 0,80 |

**Tab. 94** Činitel korekce  $r_a$  globálního slunečního záření  $E_{gm}$  a  $E_{gvo}$  při odlišném albedu okolí od hodnoty 0,2 (ČSN 73 0542)

| Charakter okolní krajiny | Řídká zástavba | Hustá zástavba | Zasněžená krajina |
|--------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| Činitel korekce $r_a$    | 0,1            | 0,15           | 0,20              |

**Tab. 95** Průměrná venkovní teplota za měsíc  $\theta_{em}$  (°C) (ČSN 73 0542)

| Měsíc              | X   | XI  | XII  | I    | II   | III | IV  |
|--------------------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|
| $\theta_{em}$ (°C) | 9,3 | 3,3 | -0,3 | -1,5 | -0,2 | 1,9 | 8,5 |

**Příklad**

Má se stanovit spotřeba tepla při vytápění typizované budovy T 16-S. Je to systém z cihlových kvádrů s vnitřním skeletem se základním dispozičním konstrukčním polem (3,60 x 5,64) m.

Příčky jsou z betonových panelů. Obvodovou stavební konstrukci tvoří cihelné panelobloky, jejichž šířka je 135 cm. Mezi pilíře jsou osazeny průběžně svislé okenní panely, včetně navazujících neprůhledných prvků nadpraží a parapetů. Průhledné a neprůhledné části jsou osazeny do ocelového rámu, který je zakotven ve svislé cihelné konstrukci. Rám okna je ocelový, vlastní okna jsou dřevěná zdvojená. Vstupní údaje pro výpočet pětipodlažního domu o třech sekcích je v *tab. 96*.

Tab. 96 Vstupní údaje pětipodlažního domu T 16-S, 3 sekce [2.19]

| Název veličiny                            | Značka a rozměr                      |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ochlazovaný obvod                         | $o = 135,1 \text{ m}$                |
| Výška budovy                              | $h = 15 \text{ m}$                   |
| Základová plocha                          | $A_G = 692,4 \text{ m}^2$            |
| Šířka budovy                              | $\bar{s} = 12,6 \text{ m}$           |
| Délka budovy                              | $d = 54,95 \text{ m}$                |
| Obestavěný objem                          | $V_o = 10\,386,0 \text{ m}^3$        |
| Celková plocha oken                       | $A_o = 558 \text{ m}^2$              |
| Poměrná plocha oken typického podlaží     | $a = 0,161^{*)}$                     |
| Plocha svislého obvodového pláště         | $A_e = 2026,5 \text{ m}^2$           |
| Plocha neprůsvitného pláště               | $A_{e1} = 1468,5 \text{ m}^2$        |
| z toho připadá na cihelné bloky 70 %      | $A_{e2} = 1028,0 \text{ m}^2$        |
| a na parapet a nadpraží 30 %              | $A_{e3} = 440,5 \text{ m}^2$         |
| Celková ochlazovaná plocha                | $\Sigma A_i = 3411,3 \text{ m}^2$    |
| Geometrická charakteristika               | $\Sigma A_i/V_o = 0,33 \text{ 1/m}$  |
| Součinitel prostupu tepla obvodových stěn | $U_e = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla parapetu        | $U_p = 1,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Součinitel prostupu tepla oken            | $U_o = 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla stropu          | $U_s = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |
| Součinitel prostupu tepla podlahy         | $U_n = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  |

\*) Poměrná plocha oken typického podlaží  $a = A_o/(5 \cdot A_G)$

Doplňující výpočty:

- Průměrná hodnota součinitele prostupu tepla obvodového pláště (cihelné bloky, parapet a nadpraží):

$$U_{pr} = 0,7 \cdot 1,4 + 0,3 \cdot 1,14 = 1,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- Objem budovy pro výpočet tepelné ztráty větráním

$$V_m = 692,4 \cdot 5 \cdot 2,75 \cdot 0,8 = 7\,616,4 \text{ m}^3$$

Výpočet spotřeby tepla při vytápění se stanoví

**a)** podle ČSN EN 832,

**b)** podle vyhlášky MPO č. 291/291 Sb.

**Ad a)**

**aa)** Jednotková tepelná ztráta prostupem

$$H_T = U_{pr} \cdot A_w + U_o \cdot A_o + U_s \cdot A_s \cdot b_s + U_n \cdot A_n \cdot b_n$$

přičemž  $A_s = A_n = A_G$ ;  $b_s = 0,83$ ;  $b_p = 0,57$  – viz tab. 89, takže

$$H_T = 1,32 \cdot 1468,5 + 2,8 \cdot 558 + 1,4 \cdot 692,4 \cdot 0,83 + 1,3 \cdot 692,4 \cdot 0,57 = 4818,46 \text{ W/K}$$

**ab)** Jednotková tepelná ztráta větráním

$$H_V = V_m \cdot n \cdot \rho_a c_a = 7616,4 \cdot 0,5 \cdot 0,34 = 1\,294,79 \text{ W/K}$$

**ac)** Vliv tepelných mostů

$$H_{TM} = 0,1 \cdot \Sigma A_j = 0,1 \cdot 3411,3 = 341,13 \text{ W/K}$$

**ad)** Celková jednotková tepelná ztráta  $H = 6454,38 \text{ W/K} = 6,454 \text{ kW/K}$ .

Výpočet spotřeby tepla za otopné období se provede po měsících – viz tab. 97

Tab. 97 Výpočet spotřeby tepla za otopné období ( $\theta_e$  je průměrná teplota vnějšího vzduchu v příslušném měsíci – viz tab. 69,  $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

| Měsíc                                               | $\theta_e \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $\theta_i - \theta_e \text{ (}^\circ\text{C)}$ | $t = 24 \cdot d \text{ (h)}$ | $H \text{ (W/K)}$ | $Q_{tm} \text{ (kWh)}$ |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------|
| X                                                   | 9,3                                 | 10,7                                           | 744                          | 6,454             | 51 379,0               |
| XI                                                  | 3,3                                 | 16,7                                           | 720                          | 6,454             | 77 602,9               |
| XII                                                 | -0,3                                | 20,3                                           | 744                          | 6,454             | 97 476,1               |
| I                                                   | -1,5                                | 21,5                                           | 744                          | 6,454             | 103 238,2              |
| II                                                  | -0,2                                | 20,2                                           | 672                          | 6,454             | 87 609,2               |
| III                                                 | 1,9                                 | 18,1                                           | 744                          | 6,454             | 86 912,1               |
| IV                                                  | 8,5                                 | 11,5                                           | 720                          | 6,454             | 53 439,1               |
| Celková spotřeba tepla $\Sigma Q_i \text{ (kWh/a)}$ |                                     |                                                |                              |                   | 557 657                |

Spotřeba tepla převedená na jeden denostupeň  $E_D = 0,56 \text{ GJ/D}$ .

**Ad b)**

**ba)** Výpočet spotřeby tepla při vytápění prostupem – viz vztah (3.32)

$$\begin{aligned} E_{vp} &= 94 \cdot (A_e \cdot U_{pr} + A_o \cdot U_o \cdot b_o + A_s \cdot U_s \cdot b_s + A_z \cdot U_z \cdot b_z + A_n \cdot U_n \cdot b_n + 0,1 \cdot A) = \\ &= 94 (1,32 \cdot 1468,5 + 2,8 \cdot 558 \cdot 1,15 + 1,4 \cdot 692,4 \cdot 0,83 + 1,3 \cdot 692,4 \cdot 0,57 + \\ &\quad + 0,1 \cdot 3411,3) = 507\,031 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

(činitel  $b_o = 1,15$  zohledňuje nedostatečnou tepelnou akumulaci výplní otvorů – viz tab. 89)

**bb)** Výpočet spotřeby tepla ke krytí tepelné ztráty větráním – viz vztah (3.34)

$$E_{vv} = 13 \cdot V = 13 \cdot 10\,386 = 135\,018 \text{ kWh/a}$$

**bc)** Celková spotřeba tepla

$$E_r = E_{vp} + E_{vv} = 507\,031 + 135\,018 = 642\,049 \text{ kWh/a}$$

a hodnota připadající na jeden denostupeň  $E_D = 0,64 \text{ GJ/D}$

### 3.1.3 Závěr

Podle ČSN EN 832 se získala hodnota spotřeby tepla, převedená na jeden denostupeň,  $E_D = 0,56 \text{ GJ/D}$  a podle vyhlášky č. 291/2001 Sb.:  $E_D = 0,64 \text{ GJ/D}$ . Z porovnání výsledků je zřejmé, že hodnota podle vyhlášky je vyšší a tudíž bezpečnější – což vyplývá i z porovnání hodnot s naměřenými výsledky. V této výpočtové hodnocené budově byla totiž v letech 1997 až 2000 měřena spotřeba tepla, která převedena na jeden denostupeň byla v rozsahu  $E_D = (0,49 \text{ až } 0,58)$

GJ/D [2.19]. Ze zjištěných údajů vidíme, že hodnota  $E_D$  stanovená podle vyhlášky je i nad horní hranici naměřených hodnot, kdežto hodnota stanovená podle ČSN EN 832 leží uvnitř rozsahu naměřených hodnot.

### Příklad

Má se stanovit tepelný zisk ze slunečního záření za rok (otopné období)

- podle vyhlášky,
- podle ČSN 73 0542.

Uvažují se tyto údaje:

- budova má okna orientovaná na sever o velikosti  $A_o = 6,6 \text{ m}^2$
- na východ/západ o velikosti  $A_o = 8,1 \text{ m}^2$
- na jih o velikosti  $A_o = 15,5 \text{ m}^2$
- okna jsou se dvěma čirými skly o propustnosti slunečního záření  $T = 0,81$  bez zastínění
- průsvitná část tvoří 64 % plochy výplně otvorů, takže  $A_{op} = 0,64 \cdot A_o$
- objem budovy  $V = 768,3 \text{ m}^3$

Výpočet:

ad a) Podle vzorce (3.37) je tepelný zisk  $E_{zs} = 3 \cdot V = 3 \cdot 768,3 = 2\,305 \text{ kWh/a}$

ad b) Pro jednotlivé orientace oken ke světovým stranám se vypočítá zisk ze vztahu (3.48).

Hodnoty  $E_{gVO}$  se zjistí v tab. 90, hodnoty  $c_{mp}$  v tab. 93.

- Pro severní orientaci je

$$E_{zs} = 77,02 \cdot 0,64 \cdot 6,6 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 0,9 = 237,14 \text{ kWh/a}$$

- Pro orientaci východ/západ je

$$E_{zs} = 211,23 \cdot 0,64 \cdot 8,1 \cdot 0,81 \cdot 0,91 \cdot 0,9 = 726,41 \text{ kWh/a}$$

- Pro jižní orientaci je

$$E_{zs} = 416,99 \cdot 0,64 \cdot 15,5 \cdot 0,81 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 2\,142,42 \text{ kWh/a}$$

Celkem pro celou budovu:  $E_{zs} = 3\,376 \text{ kWh/a}$

Z porovnání vypočtených hodnot přibližným způsobem uvedeným ve vyhlášce a přesnějším způsobem podle ČSN 73 0542 vyplývá, že je výhodné použít poněkud složitější, ale přesnější způsob výpočtu tepelných zisků ze slunečního záření (na tuto možnost je ve vyhlášce upozorněno).

## 3.2 Stanovení spotřeby tepla při ohřevu teplé vody

Teplu potřebné pro ohřev teplé vody se stanoví ze vztahu

$$Q_w = \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_w - \theta_o) \quad (3.49)$$

kde  $\rho$  je hustota vody, uvažuje se  $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$ ,

$c$  měrná tepelná kapacita, uvažuje se  $c = 4\,180 \text{ J/(kg K)}$ ,

$V_w$  množství teplé vody spotřebované během uvažovaného časového úseku,

$\theta_w$  teplota teplé vody,

$\theta_o$  teplota vody na vstupu do systému ohřevu.

### 3.2.1 ČSN 06 0320:1986 [2.49]

Teplota teplé vody nemá přesahovat, se zřetelem ke zmenšení účinku koroze v ohřivačích a zásobnících, 60 °C. Výpočtová teplota teplé vody při ústředním ohřevu v domovní či blokové kotelně nebo při dálkovém ohřevu ze sítě CZT je 55 °C. V místě odběru na výtoku u uživatele nemá být v bytových budovách teplota vody nižší než 50 °C. V době odběrové špičky je povolen krátkodobý pokles teploty vody na 45 °C. Pokud jde o teplotu vody na vstupu do systému ohřevu, uvádí se v [3.13] hodnota 5 až 10 °C pro zimní období a 15 °C pro letní období.

V ČSN 06 0320 se uvádí přímo i výpočtová potřeba tepla pro ohřev teplé vody v obytných budovách na osobu a den, a to ve výši

- $q_c = 4,5 \text{ kWh}/(\text{os} \cdot \text{d})$  pro všední dny,
- $q_c = 6,0 \text{ kWh}/(\text{os} \cdot \text{d})$  pro soboty, neděle a svátky.

V letních obdobích je možno hodnoty  $q_c$  zvětšit až o 1/3, v závislosti na rozlehlosti zařízení. Pro bilanční údaje se výpočtová potřeba tepla pro ohřev teplé vody stanovuje ze vztahu:

$$Q_c = i \cdot \Sigma q_c \cdot d \quad (3.50)$$

kde  $Q_c$  je výpočtová potřeba tepla pro ohřev teplé vody za rok a na byt (kWh/(a.byt)),

$i$  počet osob v bytě (os),

$d$  počet dnů ohřevu teplé vody za rok.

Při výpočtu potřeby teplé vody v bytových domech se vychází z počtu osob pobývajících v jednotlivých bytech. Není-li tento počet osob znám, uvažuje se tzv. průměrný byt se třemi osobami.

Tepelné ztráty soustavy ohřevu teplé vody se zahrnují do tepelných ztrát vytápěcí soustavy. Tepelné zisky budovy z rozvodu vody jsou obvykle stejně velké jako tepelné ztráty způsobené rozvody studené vody; odpadní vody a mohou být tedy v tepelné bilanci budovy zanedbány. Pokud se tyto ztráty a zisky uvažují, mají se uvažovat oboje.

### 3.2.2 ČSN 06 0320:1998 [2.49]

V roce 1998 došlo v ČSN 06 0320 k určité úpravě postupu výpočtu. Vychází se přitom z těchto údajů: teplota studené vody  $t_1 = 10$  °C, teplota TV před výtokovou armaturou

$$t_3 = 55 \text{ °C}.$$

Při výpočtu se uvažuje jako doba ohřevu perioda, se zkratkou (per). Potřeba tepla odebraného z ohřivače v TV během jedné periody  $E_{2p}$  (kWh/per) je dána vztahem

$$E_{2p} = E_{2t} + E_{2z} \quad (3.51)$$

kde  $E_{2t}$  je teoretické teplo odebrané z ohřivače TV v době periody,

$E_{2z}$  ztracené při ohřevu a distribuci TV v době periody.

Hodnota  $E_{2t}$  (kWh/per) se stanoví ze vztahu

$$E_{2t} = c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \quad (3.52)$$

kde  $c$  je měrná tepelná kapacita (kWh/(m<sup>3</sup>K)),

$V_{2p}$  celková potřeba TV v periodě (m<sup>3</sup>/per),

$t_2$  teplota ohřáté vody (°C),

$t_1$  teplota studené vody (°C).

Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV v době periody  $E_{2z}$  (kWh/per) se stanoví ze vztahu

$$E_{2z} = E_{2t} \cdot z \quad (3.53)$$

kde  $z$  je poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV (-). V příkladu výpočtu, který je uveden v ČSN 06 0320:1998, se uvažuje hodnota  $z = l \cdot V$  [2.51] se uvádějí výsledky výpočtu tepelných ztrát potrubních rozvodů TV v bytovém domě s vlastním ohřevem TV, jestliže se uvažují vodorovné rozvody izolované a svislé rozvody (stoupačky) neizolované – což je podle [2.51] častý případ. Výsledky výpočtů jsou vztaženy na jeden byt pro různé spotřeby – viz *tab. 98*. Za zajímavost se považuje skutečnost, že při nízkých denních spotřebách TV podíl tepelné ztráty a pevné složky úhrady za teplo převažuje nad podílem tepla v TV. Pokud by se stoupačky izolovaly, klesnou tepelné ztráty přibližně na třetinu.

*Tab. 98* Spotřeba tepla při ohřevu TV na byt a den a podíl tepelných ztrát [2.51]

| Denní spotřeba TV (m <sup>3</sup> /den) | Teplo v TV (kWh/den) | Ztráta tepla (kWh/den) | Součet (kWh/den) | Podíl ztráty (%) |
|-----------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|------------------|
| 0,025                                   | 1,3                  | 5                      | 6,3              | 79               |
| 0,050                                   | 2,6                  | 5                      | 7,6              | 66               |
| 0,100                                   | 5,2                  | 5                      | 10,2             | 49               |
| 0,200                                   | 40,4                 | 5                      | 15,4             | 32               |

V *tab. 99* je uvedena potřeba tepla TV pro 1 osobu a den v bytovém domě, podle ČSN 06 0320:1998.

*Tab.99* Potřeba tepla TV pro 1 osobu a den v bytovém objektu

| Parametr               | Značka   | Jednotka       | Umyvadlo | Dřez  | Sprcha | Vana  |
|------------------------|----------|----------------|----------|-------|--------|-------|
| Počet dávek            | $n_d$    | –              | 3        | 0,8   | 1      | 0,3   |
| Objem dávek            | $V_d$    | m <sup>3</sup> | 0,03     | 0,002 | 0,025  | 0,025 |
| Teplo v dávkách        | $E_d$    | kWh            | 1,5      | 0,1   | 1,3    | 1,4   |
| Součet objemu dávek    | $V_{2p}$ | m <sup>3</sup> |          |       |        | 0,082 |
| Součet tepla v dávkách | $E_{2t}$ | kWh            |          |       |        | 4,3   |

### 3.2.3 Tepelná ztráta potrubí

Tepelná ztráta potrubí  $Q_{pt}$  (W) kruhového průřezu je dána vztahem

$$Q_{pt} = q_L \cdot L \quad (3.54)$$

kde  $q_L$  je lineární hustota tepelného toku (W/m),  
 $L$  délka potrubí (m).

Lineární hustota tepelného toku neizolovaného potrubí je dána vztahem

$$q_L = \frac{\pi \cdot (\theta_i - \theta_e)}{\frac{1}{\alpha_i \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D_e}} = U_L \cdot \pi \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.55)$$

kde  $U_L$  je lineární součinitel prostupu tepla potrubí (W/(mK)),

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{\alpha_i \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D_e} \quad (3.56)$$

kde  $\lambda$  je tepelná vodivost (W/(mK)),

$\alpha_i$  součinitel přestupu tepla mezi prostředím (látkou) protékajícím potrubím a vnitřním povrchem potrubí (W/(m<sup>2</sup>K)),

$\alpha_e$  součinitel přestupu tepla mezi vnějším povrchem potrubí a vnějším prostředím (W/(m<sup>2</sup>K)),

$D_i$  vnitřní průměr potrubí (m),

$D_e$  vnější průměr potrubí (m).

V případě, že je potrubí izolováno několika vrstvami izolace z různých materiálů o tepelné vodivosti  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  a o tloušťce  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , pak lineární součinitel prostupu tepla potrubí izolované vícevrstvou izolací je dán vztahem

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{\alpha_i \cdot D_i} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D_e} \quad (3.57)$$

Označí-li se pravá strana rovnice P, pak

$$U_L = 1/P \quad (3.58)$$

Na základě rozboru se prokazuje, že první člen na pravé straně rovnice (3.57) lze zanedbat – viz např. [3.14] a dále; rovněž lze zanedbat tepelný odpor vrstvy materiálu vlastního potrubí, takže je-li potrubí izolováno jen jedním druhem tepelné izolace, platí pro stanovení lineárního součinitele prostupu tepla potrubí vztah

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{2 \cdot \lambda_{iz}} \ln \frac{D_e}{D_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot D_e} \quad (3.59)$$

kde  $\lambda_{iz}$  je tepelná vodivost tepelné izolace (W/(mK)).

Pro součinitele přestupu tepla na vnějším povrchu potrubí, je-li potrubí v uzavřeném prostoru (při klidném vzduchu), je možno použít vztah [3.13]

$$\alpha_e = 8,4 + 0,06 \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.60)$$

Vztah (3.60) zahrnuje přestup tepla při proudění i sálání a platí v rozsahu teplot (0 až 150) °C. Pokud je třeba stanovit součinitele přestupu tepla pro jiné podmínky než jsou uplatněny při odvození vztahu (3.60), je možno příslušné výpočtové vztahy najít v literatuře – viz např. [3.15].

### Poznámka:

V [3.16] se provádí rozbor zanedbání vlivu součinitele přestupu tepla uvnitř potrubí a tepelného odporu potrubí na součinitele prostupu tepla izolovaného potrubí.

Konstatuje se, že při rychlosti proudění vody v potrubí (0,05 až 1,0) m/s, vzniká zanedbáním součinitele přestupu tepla uvnitř potrubí chyba v hodnotě součinitele prostupu tepla izolovaného potrubí menší než 0,5 %. V druhém případě závisí tato chyba na materiálu potrubí. Je-li kovové, pak je tepelný odpor stěny potrubí zanedbatelný, avšak u plastového potrubí může chyba v hodnotě součinitele prostupu tepla izolovaného potrubí dosáhnout až 3 % (ve všech případech je vztažná hodnota tepelného odporu izolace 0,5 m<sup>2</sup>K/W).

U neizolovaného potrubí z plastů se tepelný odpor stěn potrubí nemá zanedbat, protože chyba v hodnotě součinitele prostupu tepla neizolovaného potrubí je již významná.

Tepelné ztráty spojů potrubí a vestavěných armatur se vyjadřují jako tepelné ztráty rovnocenné délky přímého potrubí. Podle [3.17] se mohou uvažovat tyto hodnoty:

- přírubové spojení – neizolované  $L = 3$  m izolovaného potrubí,  
– izolované  $L = 0,5$  m izolovaného potrubí,
- ventil nebo kohout – neizolovaný  $L = 6$  m izolovaného potrubí,  
– izolovaný  $L = 3$  m izolovaného potrubí.

Celková délka potrubí je potom dána součtem délky přímého potrubí, ekvivalentních délek přírubových spojení a počtu ventilů nebo kohoutů. Pro závěsy nebo podpěry potrubí se počítá s přírážkou 15 % k tepelné ztrátě přímého potrubí.

Např. je-li délka přímého potrubí 40 m a jsou-li u něj tři neizolovaná přírubová spojení a čtyři neizolované ventily, pak celková délka potrubí, která se použije pro výpočet tepelných ztrát potrubí, je:

$$L = 40 + 3 \cdot 3 + 4 \cdot 6 + 0,15 \cdot 40 = 79 \text{ m}$$

### 3.3 Stanovení množství primárního paliva

Z hlediska bilance spotřeby tepla v budovách se spotřeba tepla při vytápění a ohřevu teplé vody počítají, takže se získá celková spotřeba tepla při vytápění a ohřevu TV, tj.

$$Q_c = Q_t + Q_w \quad (3.61)$$

kde  $Q_c$  je souhrnná spotřeba tepla při vytápění a ohřevu TV (kWh/a),

$Q_t$  spotřeba tepla při vytápění (kWh/a),

$Q_w$  spotřeba tepla při ohřevu TV (kWh/a).

Je-li známa spotřeba tepla, můžeme stanovit také množství primárního paliva, a to ze vztahu (3.18):

$$M_p = \frac{Q_c}{Q_i^r \cdot \eta} \quad (3.62)$$

kde  $M_p$  je množství spáleného paliva (t; tis.m<sup>3</sup>)

$Q_c$  teplo dodané z kotle nebo ze zdroje tepelné energie (GJ),

$Q_i^r$  výhřevnost paliva (GJ/t; GJ/(10<sup>3</sup>.m<sup>3</sup>)),

$\eta$  účinnost využití primárního paliva (-).

Účinnost využití primárního paliva je závislá na ztrátách vznikajících při výrobě tepla  $\eta_v$ , rozvodu (distribuci) tepla  $\eta_d$  a na úrovni regulace tepla  $\eta_r$ :

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_d \cdot \eta_r \quad (3.63)$$

Minimální účinnosti výroby tepelné energie  $\eta_v$  pro palivové kotle jsou uvedeny ve vyhlášce č. 150/2201 Sb., [3.18], viz *tab. 100*. Účinnost rozvodu tepla se uvažuje podle [3.18] v rozsahu  $\eta_d = 0,95$  až  $0,98$  (přesněji se tato účinnost stanovuje podle vyhlášky č. 151/2001 Sb., [3.19]). Pokud jde o účinnost regulace, uvádí se v rozsahu  $\eta_r = 0,90$  až  $1,0$ , je-li regulace automatická, viz [3.17]; (při ruční regulaci je mnohem menší, orientačně  $0,8$  i méně).



**Poznámka:**

Při výpočtu spotřeby primárního paliva je nutno věnovat pozornost jednotkám. Problém je v tom, že tepelná ztráta se obvykle počítá ve (W), spotřeba tepla v (kWh) a výhřevnost se uvádí v (GJ). V takovém případě se postupuje tak, že se (kWh) převedou na (MWh) a ze vztahu  $MWh = 3,6 \text{ GJ}$  se stanoví (GJ).

Tab. 100 Minimální účinnost výroby tepelné energie  $\eta_v$  (%) pro palivové kotle [3.18]

| VK                                                                                                                                                                                                            | Účinnost při použití paliva ((%)) |    |    |     |     |     |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----|----|-----|-----|-----|----|----|
|                                                                                                                                                                                                               | K                                 | ČU | B  | HUT | HUN | LTO | M  | ZP |
| Do 0,5 MW                                                                                                                                                                                                     | 69                                | 68 | 67 | 66  | 62  | 80  | –  | 85 |
| 0,51 – 3 MW                                                                                                                                                                                                   | –                                 | 70 | 69 | 68  | 63  | 83  | –  | 86 |
| 3,1 – 6 MW                                                                                                                                                                                                    | –                                 | 75 | –  | 72  | 65  | 84  | 81 | 87 |
| 6,1 – 20 MW                                                                                                                                                                                                   | –                                 | 77 | –  | 75  | 70  | 85  | 82 | 90 |
| 20,1 – 50 MW                                                                                                                                                                                                  | –                                 | 80 | –  | –   | 77  | 87  | 85 | 92 |
| Nad 50 MW                                                                                                                                                                                                     | –                                 | 82 | –  | –   | 82  | 89  | 86 | 93 |
| VK – výkon kotle ve zdroji tepelné energie; K – koks; ČU – černé uhlí; B – brikety; HUT – hnědé uhlí tříděné; HUN – hnědé uhlí netříděné; LTO – topný olej lehký; M – mazut (topný olej TTO); ZP – zemní plyn |                                   |    |    |     |     |     |    |    |

V [3.20] se uvádí účinnost elektřiny pro akumulární ohřev  $\eta = 96 \%$  při výkonu zdroje do 0,5 MW a  $\eta = 97 \%$  při výkonu zdroje od 0,5 do 3 MW; účinnost elektřiny pro přímotopný ohřev  $\eta = 98 \%$  při výkonu zdroje do 0,5 MW a  $\eta = 99 \%$  při výkonu zdroje od 0,5 do 3 MW.

**Poznámky:**

1. K tab. 100: V úvahu se nebere palivo zapalovací a stabilizační. U kotlů určených pro spalování dvou druhů paliva záměnným způsobem platí minimální účinnosti vztahené na palivo, které se skutečně v daném období spaluje. U kotlů určených ke spalování více druhů paliv se minimální účinnost stanoví váženým průměrem pro jednotlivá paliva. Pro netypická paliva jako dřevní hmota, průmyslové odpady, městské odpadky, kalový a vysokopecní plyn apod. se minimální účinnost nestanovuje.
2. V citované vyhlášce č. 150/2001 Sb., se uvádějí i tyto další účinnosti:
  - a) Minimální účinnost výroby tepelné energie (%) pro spalínové kotle za plynovou turbínou.
  - b) Minimální účinnost dodávky tepla z kotelny, resp. ze zdroje tepelné energie.
  - c) Minimální účinnost výroby elektrické energie v parním turbosoustrojí.
  - d) Minimální účinnost výroby energie v kombinovaném cyklu s plynovou turbínou a spalínovým kotlem a v paroplynovém cyklu.
  - e) Minimální účinnost výroby energie v kogenerační jednotce s pístovým motorem a minimální účinnosti výroby energie ve výrobně s kogeneračními jednotkami a kotli.
  - f) Minimální účinnost výroby elektřiny v kogenerační jednotce s pístovým motorem pro špičkový provoz.

Údaje o výhřevnosti paliv jsou v tab. 101.

Tab. 101 Orientační hodnoty výhřevnosti paliv  $Q_i^r$  [3.21, 3.22]

| Palivo     | Jednotka                              | $Q_i^r$ |
|------------|---------------------------------------|---------|
| Zemní plyn | GJ/(10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ) | 33,5    |
| Svítiplyn  | GJ/(10 <sup>3</sup> .m <sup>3</sup> ) | 14,4    |
| LTO        | GJ/t                                  | 42,0    |

| Palivo      | Jednotka | $Q_i^r$      |
|-------------|----------|--------------|
| TTO         | GJ/t     | 40,6         |
| Nafta       | GJ/t     | 41,8         |
| HUT Most    | GJ/t     | 15,0 až 17,5 |
| HUT Sokolov | GJ/t     | 13,0 až 14,5 |
| Brikety     | GJ/t     | 20,0 až 21,0 |
| ČU tříděné  | GJ/t     | 23,0 až 25,0 |
| Koks        | GJ/t     | 24,5 až 27,5 |

Jiný způsob stanovení spotřeby primárního paliva (energie) se uvádí v podkladech SRN, viz [3.7, 3.22]. Vychází se přitom z tzv. převodního činitele tepla na primární energii  $e_p$ . Použití tohoto činitele se zdůvodňuje následujícím způsobem: účinnost zařízení dodávající energii spotřebiteli je dána podílem využití energie spotřebitelem (obecně: výkon zařízení) a dodané energie do tohoto zařízení (obecně: příkon zařízení), tj.

$$\eta = \frac{\text{Využitá energie}}{\text{Dodaná energie}} \quad (3.64)$$

Účinnost  $\eta$  podle vztahu (3.63) je vždy menší než 1 ( $\eta < 1$ ); v důsledku toho je obtížné vyhodnotit zařízení využívající „energii prostředí“, jejichž činitel využití je větší než 1 (např. tepelné čerpadlo u něhož se požaduje, aby jeho topný faktor byl alespoň (3 až 4)). Proto se zavádí, podle výše citovaných zdrojů, reciproká hodnota účinnosti, která se nazývá převodní činitel tepla na primární energii a označuje se  $e_p$ , tj.

$$e_p = 1/\eta \quad (3.65)$$

Např. je-li  $\eta = 0,8$ , pak  $e_p = 1,25$ .

Roční spotřeba primární energie se stanoví ze vztahu

$$M_p = e_p \cdot (q_h + q_{tw}) \cdot A_N \quad (3.66)$$

kde  $q_h$  je roční (měrná) spotřeba tepla stanovená podle [3.23] v (kWh/(m<sup>2</sup>a)),  
 $q_{tw}$  roční (měrná) spotřeba tepla pro ohřev pitné vody;  $q_{tw} = 12,5$  kWh/(m<sup>2</sup>a),  
 $A_N$  vytápěná užitná plocha (m<sup>2</sup>).

Při stanovení převodního činitele tepla na primární energii  $e_p$  se postupuje podle [3.24], a to tak, že se může provádět buď podrobný výpočet, nebo se mohou použít nomogramy a tabulky uvedené v [3.24], které obsahují nejen vliv účinnosti spalovacího procesu, ale i tepelné ztráty vznikající při přenosu tepla. Nomogramy a tabulky zohledňují také velikost spotřeby tepla při vytápění a velikost vytápěné užité plochy budovy. Orientační hodnoty  $e_p$  jsou v tab. 102.

Tab. 102 Orientační hodnoty převodního činitele tepla na primární energii  $e_p$  (-) podle [3.23]

| Způsob vytápění                                                          | $e_p$ (-)  |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| Nízkoteplotní plynový kotel s integrovaným ohřevem TV, větrání přirozené |            |
| • při spotřebě tepla 40 kWh/(m <sup>2</sup> a)                           | 1,9 až 1,5 |
| • při spotřebě tepla 90 kWh/(m <sup>2</sup> a)                           | 1,6 až 1,4 |

| Způsob vytápění                                                                                                                                           | $e_p (-)$    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Kondenzační plynový kotel s integrovaným ohřevem TV, mechanické větrání se zpětným získáváním tepla (účinnost 80 %, výměna vzduchu $0,4 \text{ h}^{-1}$ ) |              |
| • při spotřebě tepla $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$                                                                                                | 1,3 až 1,15  |
| • při spotřebě tepla $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$                                                                                                | 1,2 až 1,13  |
| Elektrické teplovzdušné vytápění s tepelným čerpadlem v systému zpětného získávání tepla                                                                  |              |
| • při spotřebě tepla $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$                                                                                                | 1,95 až 1,92 |
| • při spotřebě tepla $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$                                                                                                | 2,0 až 2,04  |

### 3.4 Literatura

- [3.1] ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby tepla na vytápění – Obytné budovy
- [3.2] ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov – Výsledná měrná tepelná ztráta prostupem – Výpočtová metoda
- [3.3] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda
- [3.4] SN EN ISO 10077-1 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Zjednodušená metoda
- [3.5] ČSN EN ISO 14683 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Lineární součinitel prostupu tepla – Zjednodušená metoda a návrhové hodnoty
- [3.6] ČSN EN ISO 10211-1 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchová teplota – Část 1: Základní výpočtové metody
- [3.7] HEGNER, H. D. – VOGLER, I.: Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert. Ernst & Sohn, Berlin, 2002
- [3.8] ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody
- [3.9] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách
- [3.10] ČSN EN ISO 14438 Sklo ve stavebnictví – Stanovení hodnoty energetické bilance – Výpočtová metoda
- [3.11] ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- [3.12] ČSN 73 0542 Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov
- [3.13] VLACH, J.: Teplárenství. SNTL, Praha 1972
- [3.14] MICHEJEV, M. A.: Základy sdílení tepla (překlad z ruštiny). SNTL, Praha 1953
- [3.15] SAZIMA, M. – KMONÍČEK, V. – SCHNELLER, J. a kolektiv: Teplo.TP 2, SNTL, Praha, 1989
- [3.16] FANTYŠ, J. – SLÁDKOVÁ, R. – VALENTA, V.: Tepelná izolace potrubí, armatur a nádob. ČEA, 1996
- [3.17] CIHELKA, J. a kolektiv: Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL, Praha 1985

- [3.18] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 150/2001 Sb., kterou se stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
- [3.19] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 151/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie
- [3.20] Teplo, co a jak. Publikace Deas – Info. Praha, 1996
- [3.21] Co nevíte o cenách tepla. Publikace Deas – Info. Praha, 1996
- [3.22] Úspory paliv a energie v otázkách a odpovědích. SEI, Praha, 1993
- [3.23] DIN V 4701-10:2001-02 Energetische Bewertung von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwasserwärmung, Lüftung. Beuth Verlag GmbH
- [3.24] DIN V 4108-6:2000-11 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 6. Berechnung des Jahresheizenenergiebedarfs. Beuth Verlag GmbH

## 4. Opatření ke zmenšení tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění

Tepelné ztráty a spotřebu tepla při vytápění lze zmenšovat opatřeními souvisejícími s vlastnostmi budov, technickými zařízeními zajišťujícími přívod energie do budovy, využívajícími obnovitelné zdroje energie a umožňujícími regeneraci „odpadního tepla“.

Je nutno ovšem zdůraznit, že dosažená skutečná efektivnost realizovaných opatření ke zmenšení tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění budov je, ve značné míře, ovlivňována i uživateli budov. I to nejdokonalejší opatření nemusí zajišťovat očekávaný efekt, pokud uživatelé neprojevují vyhraněný zájem o racionální řešení energetických problémů budov.

### 4.1 Opatření spojená s tepelně technickými vlastnostmi budov

#### 4.1.1 Tepelné ztráty jednotlivými částmi obvodového pláště budov

Z části pojednávající o provozní energetické náročnosti budov je zřejmé, že tepelně technické vlastnosti budov mohou významným způsobem ovlivňovat tepelné ztráty a spotřebu tepla při vytápění, přičemž platí, že čím jsou lepší, tím menší jsou tepelné ztráty a nižší spotřeba tepla při vytápění. To je ovšem jen kvalitativní vyjádření jejich vlivu. Má-li se tento vliv kvantifikovat, je nutno přistoupit k jeho vyhodnocení na základě rozboru reálných částí budovy, které tyto ztráty ovlivňují.

K rozhodujícím tepelně technickým vlastnostem budov patří tepelný odpor, popř. součinitel prostupu tepla jednotlivých stavebních konstrukcí – vnějších svislých a vodorovných a vnitřních svislých a vodorovných a otvorových výplní. Zvláštní místo v rámci tepelně technických vlastností mají „tepelné mosty“, které mohou vzniknout na stycích jednotlivých konstrukcí tvořících obvodový plášť budov (tepelné mosty na stycích vnitřních konstrukcí jsou většinou zanedbatelné; pokud jde o tepelné mosty, které jsou součástí jednotlivých konstrukcí, jsou obvykle zahrnuty do výsledné hodnoty tepelného odporu konstrukce a tím i do součinitele prostupu tepla).

Protože tepelné ztráty a spotřeba tepla při vytápění jsou úměrné velikosti plochy obvodového pláště budov, je možné je ovlivnit také geometrií (tvarem) budov.

Vzhledem k tomu, že předmětem této publikace není řešení problémů spojených s navrhováním a hodnocením tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov, neboť jejich řešení je v dostatečné míře popsáno v příslušných normách a publikacích – viz literární odkazy k první kapitole publikace – probereme zde jen některé obecné tendence zlepšování tepelně technických vlastností.

##### 4.1.1.1 Stavební konstrukce

Je všeobecně známo, že čím menší je součinitel prostupu tepla konstrukcí, tím menší je tepelná ztráta budov. Součinitele prostupu tepla je možno chápat tak, že vyjadřuje tepelnou ztrátu prostupem konstrukcí o ploše  $1 \text{ m}^2$  při rozdílu vnitřní a vnější teploty  $1 \text{ K}$ . Z toho tedy vyplývá, že jeho hodnota by měla být co nejmenší, měla-li být tepelná ztráta budov co nejmenší. Avšak jaká hodnota je „co nejmenší“?

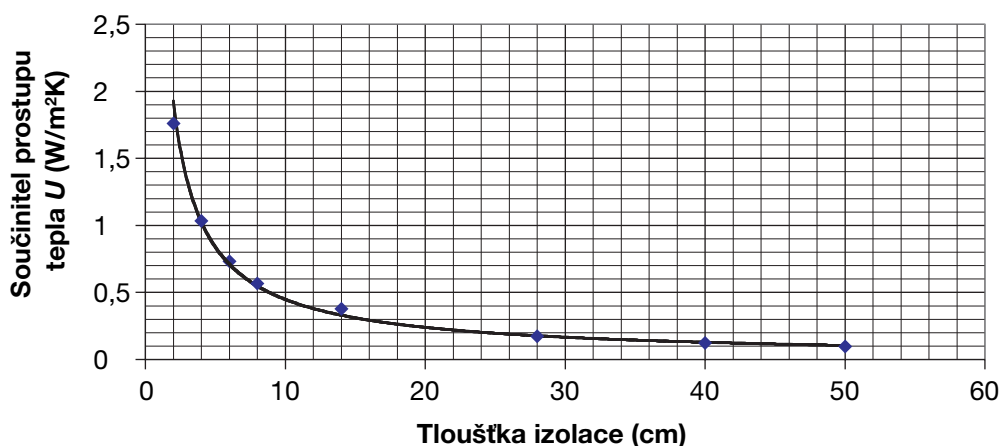
Limitní (mezní) hodnota součinitele prostupu tepla je nulová hodnota, tj.  $U \rightarrow 0$ . Dosažení této limitní hodnoty by však vyžadovalo nekonečně velkou tloušťku konstrukce, tj.  $d \rightarrow \infty$  (jak to vyplývá z definice součinitele prostupu tepla). Je zřejmé, že „co nejmenší tloušťka“ musí být tloušťka reálná a racionálně realizovatelná.

Tento problém je analyzován v [4.1]. Jeho základem je znázornění průběhu součinitele prostupu tepla  $U$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) v závislosti na tloušťce konstrukce  $d$  (m) – viz *obr. 15*, přičemž se uvažuje součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,05 \text{ W}/(\text{m K})$ . Aby bylo možno rozhodnout o přijatelnosti určité tloušťky nebo součinitele prostupu tepla konstrukce, je třeba mít k dispozici nějaké kritérium. Protože jde o fyzikálně technickou analýzu, byla zvolena jako kritérium „výtežnost tepelně izolačního efektu konstrukce“ VIE (%), definovaná podílem

$$\text{VIE} = \frac{U_0 - U_{x=d}}{U_0} 100 \quad (4.1)$$

kde  $U_0$  je vztažná hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ); jako taková byla zvolena hodnota  $U_0 = 1,761 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , která odpovídá konstrukci o tloušťce 0,02 m, při dané hodnotě součinitele tepelné vodivosti),

$U_{x=d}$  hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) při hodnocené tloušťce  $d$  (m).



*Obr. 15* Průběh součinitele prostupu tepla v závislosti na tloušťce konstrukce

Z průběhu křivky na *obr. 15* je zřejmé, že při zvětšující se tloušťce konstrukce hodnota součinitele prostupu tepla prudce klesá a při větších tloušťkách se příliš nemění. Kvantitativně lze tento pokles hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce v závislosti na tloušťce charakterizovat výtěžností  $v$ . Jestliže se uvažuje výtěžnost tepelně izolačního efektu konstrukce změnou tloušťky z 20 mm na 40 mm, pak je výtěžnost  $v = 41,3 \%$ . Změní-li se však tloušťka konstrukce z 480 mm na 500 mm (tj. rovněž o 20 mm), pak je výtěžnost pouze

$$v = 0,2 \%$$

Zjistíme, jaký vliv má výtěžnost tepelně izolačního efektu konstrukce na součinitel prostupu tepla, tepelného odporu a tloušťku konstrukce. Zvolme výtěžnost  $v = 70 \%$ ,  $80 \%$  a  $90 \%$ .

Odpovídající hodnoty vyjmenovaných veličin jsou v *tab. 103*.

Tab. 103 Součinitel prostupu tepla  $U$  (W/(m<sup>2</sup>K)), tepelný odpor  $R$  (m<sup>2</sup>K/W) a tloušťka konstrukce  $d$  (m) v závislosti na výtěžnosti  $v$  (%)

| $v$ (%) | $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | $R$ (m <sup>2</sup> K/W) | $d$ (m) |
|---------|----------------------------|--------------------------|---------|
| 70      | 0,508                      | 1,8                      | 0,09    |
| 80      | 0,389                      | 2,4                      | 0,12    |
| 90      | 0,173                      | 5,6                      | 0,28    |

Vyčíslené hodnoty platí při uvažování součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,05$  W/(m<sup>2</sup>K), takže tloušťka ani při největší vyčíslené hodnotě tepelného odporu není z fyzikálně technického hlediska nepřijatelná. Jaký vliv má hodnota tepelné vodivosti materiálu konstrukce na její tloušťku při uvažování předcházejících hodnot výtěžnosti, je vidět z tab. 104.

Tab. 104 Vliv hodnoty tepelné vodivosti  $\lambda$  (W/(m K)) na tloušťku konstrukce  $d$  (mm) při zadané výtěžnosti  $v$  (%)

| $\lambda$ (W/(m K)) | $d$ (mm) při $v$ (%) |     |       |
|---------------------|----------------------|-----|-------|
|                     | 70                   | 80  | 90    |
| 0,25                | 450                  | 600 | 1 400 |
| 0,20                | 360                  | 480 | 1 120 |
| 0,15                | 270                  | 360 | 840   |
| 0,10                | 180                  | 240 | 560   |
| 0,05                | 90                   | 120 | 280   |
| 0,02                | 36                   | 48  | 112   |

Vydeme-li z předpokladu, že reálná tloušťka stavební konstrukce je do 500 mm, pak z tab. 104 zjistíme, že výtěžnost 70 % lze zajistit v celém rozsahu uvedených hodnot tepelné vodivosti, výtěžnost 80 % do hodnoty tepelné vodivosti 0,21 W/(m<sup>2</sup>K) a výtěžnost 90 % do hodnoty zhruba 0,09 W/(m<sup>2</sup>K).

Ze závislosti  $U = f(d)$  v obr. 15 lze také zjistit, že při tloušťce konstrukce 500 mm se získá hodnota součinitele prostupu tepla  $U \approx 0,1$  W/(m<sup>2</sup>K), tj. tepelný odpor  $R \approx 10$  (m<sup>2</sup>K/W).

V současné době jsou k dispozici v dostatečném množství tepelně izolační materiály mající tepelnou vodivost  $\eta = (0,04 \text{ až } 0,05)$  W/(m<sup>2</sup>K), takže lze konstatovat, že z fyzikálně technického hlediska nejsou žádné překážky k realizování konstrukcí o součiniteli prostupu tepla  $U \approx 0,1$  W/(m<sup>2</sup>K).

Fyzikálně technické hledisko není však jediným pohledem na problém úrovně hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcí – a dokonce ani ne rozhodujícím. O jeho hodnotě rozhoduje především ekonomická efektivnost. Z vyčíslených závislostí výtěžnosti a jejího vlivu na součiniteli prostupu tepla konstrukce je naprosto přesvědčivě patrné, že se zvětšující se výtěžností tepelně izolačního efektu konstrukce narůstá nepřímo úměrně odpovídající tloušťka konstrukce, a tudíž i náklady na její pořízení.

#### 4.1.1.2 Otvorové výplně

Otvorové výplně (dále stručně jen okna) byly, a stále ještě jsou nejslabším článkem v obvodovém plášti budov z hlediska tepelné ztráty. Je to proto, že jejich součinitel prostupu tepla

$U_o$  (W/(m<sup>2</sup>K)) je podstatně větší, než součinitel prostupu tepla neprůsvitné části obvodového pláště. Hlavní význam oken je v zajištění zrakové pohody v místnostech budov a zajištění určitého minimálního proslunění místností, takže tepelná ztráta je vlastně „vedlejším produktem“ oken. Tato situace musí být brána v úvahu vždy, když se provádí opatření ke zmenšení součinitele prostupu tepla oken.

V předcházející části bylo pojednáno o součiniteli prostupu tepla neprůsvitných konstrukcí obvodového pláště budov. Byl analyzován vliv tloušťky konstrukcí na jejich součinitele prostupu tepla. Konstatuje se zde, že zvětšuje-li se tloušťka konstrukce, zmenšuje se hodnota součinitele prostupu tepla. Tento přístup ke zmenšení součinitele prostupu tepla oken však není možný. Uvažujme nejprve okno (zasklení) s jedním (obyčejným) sklem. Sklo má hodnotu součinitele tepelné vodivosti  $\lambda = 0,76$  W/(m K), takže při tloušťce skla 4 mm je jeho tepelný odpor  $R = 0,005$  m<sup>2</sup>K/W. Z toho je zřejmé, že i při několikanásobném zvětšení tloušťky skla se zvětší tepelný odpor poměrně málo (a navíc, zvětšuje-li se tloušťka skla, zmenšuje se jeho světelná propustnost – tedy zhoršuje se jeho „hlavní“ vlastnost). U okna s jedním sklem je proto hlavním činitelem ovlivňujícím součinitele prostupu tepla odpor při přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně okna. Jestliže uvažujeme standardní hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní a na vnější straně okna  $R_i = 0,125$  m<sup>2</sup>K/W a  $R_e = 0,043$  m<sup>2</sup>K/W, pak při zanedbání tepelného odporu skla je součinitel prostupu tepla zasklení roven  $U_o = 1/(0,168) = 5,95$  W/(m<sup>2</sup>K).

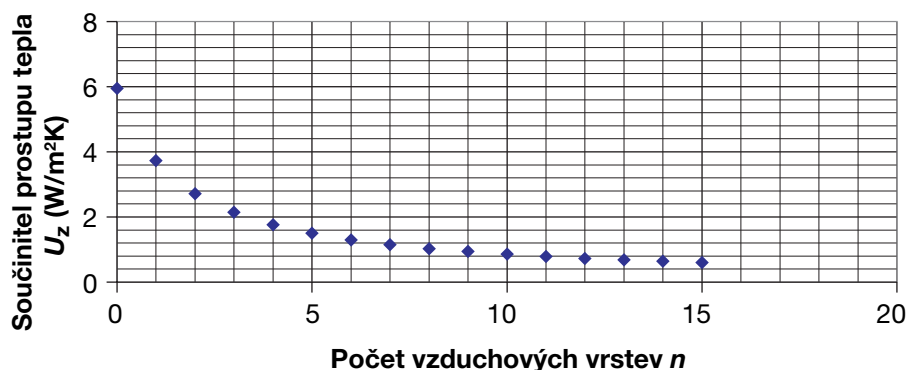
Při výzkumu šíření tepla vzduchovými vrstvami se zjistilo, že je-li vzduchová vrstva uzavřena mezi dvěma stěnami, získá se určitý tepelný odpor. Tohoto faktu se využilo i u oken, a to tak, že se použila okna se dvěma skly, mezi nimiž je vzduchová vrstva o určité tloušťce. Za jistých podmínek lze uvažovat tepelný odpor vzduchové vrstvy  $R_{vv} = 0,1$  m<sup>2</sup>K/W, takže u okna se dvěma skly a jednou vzduchovou vrstvou se získá hodnota součinitele prostupu tepla  $U_o = 3,73$  W/(m<sup>2</sup>K) – což je výrazné zmenšení proti hodnotě s jedním sklem. Není tedy tento přístup, tj. zvětšení počtu vzduchových vrstev u oken, cestou ke zmenšování součinitele prostupu tepla oken? Samozřejmě, že se využil tento přístup – zejména po vypuknutí energetické krize v roce 1973, kdy se začaly hledat prostředky ke zmenšení tepelných ztrát budov ve všech hospodářských oblastech. Jakých hodnot součinitele prostupu tepla oken (přesněji zasklení) lze dosáhnout při zvětšování počtu vzduchových vrstev? To je vidět z *tab. 105*, ve které se uvažuje počet vzduchových vrstev  $n$  o tepelném odporu jedné vzduchové vrstvy  $R_{vv} = 0,1$  m<sup>2</sup>K/W (při odporech při přestupu tepla ve výši uvažovaných vpředu a při zanedbání tepelného odporu skel).

Tab. 105 Součinitel prostupu zasklení  $U_z$  (W/(m<sup>2</sup>K)) v závislosti počtu vzduchových vrstev  $n$  [4.2]

| Počet vrstev $n$             | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $U_z$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 5,95 | 3,73 | 2,72 | 2,14 | 1,76 | 1,50 | 1,30 | 1,15 |
| Počet vrstev $n$             | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
| $U_z$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,03 | 0,94 | 0,86 | 0,79 | 0,73 | 0,68 | 0,64 | 0,60 |

Na základě hodnot v *tab. 105*, popř. z grafu na *obr. 16*, můžeme zjistit, jaká je výtěžnost tepelně izolačního efektu zasklení VIE v závislosti na počtu vzduchových vrstev (vztažená v tomto případě k hodnotě součinitele prostupu tepla s jedním sklem – tedy bez vzduchové vrstvy). Uvažujme výtěžnost 70 %, 80 % a 90 %. Uvedeným výtěžnostem odpovídají následující hodnoty součinitele prostupu tepla oken:





Obr. 16 Průběh součinitele prostupu tepla zasklení v závislosti na počtu vzduchových vrstev

Při výtěžnosti

- 70 % se získá hodnota součinitele prostupu tepla zasklení  $U_z = 1,76 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (tomu odpovídá soustava zasklení se 4 vzduchovými vrstvami),
- 80 % se získá hodnota součinitele prostupu tepla zasklení  $U_z = 1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (tomu odpovídá soustava zasklení se 7 vzduchovými vrstvami),
- 90 % se získá hodnota součinitele prostupu tepla zasklení  $U_z = 0,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  (tomu odpovídá soustava zasklení s 15 vzduchovými vrstvami).

Z uvedených údajů součinitelů prostupu tepla zasklení při uvedených hodnotách výtěžnosti tepelné izolačního efektu je zřejmé, že tato cesta nevede k realizaci oken se zlepšenou tepelně izolační úrovní – není to tedy vhodný a reálný prostředek ke zmenšení tepelných ztrát obvodového pláště budov.

Je sice známo [4.3], že se zkoušela okna se třemi vzduchovými vrstvami, ale ani tato okna se v praxi neprosadila. Realizují se okna nejvýše se dvěma vzduchovými vrstvami. U nich se dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla  $U_o \approx 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Je však samozřejmé – se zřetelem k tomu, co bylo uvedeno výše (tj. že okna jsou nejslabším článkem v obvodovém plášti budov), že se hledala řešení ke zmenšení součinitele prostupu tepla oken. Jedním z kroků v tomto směru byla výměna výplně mezi skly. Místo vzduchu se použily jiné plyny s menší tepelnou vodivostí než má vzduch. Patří k nim zejména argon, krypton, popř. xenon. Součinitel tepelné vodivosti vzduchu a vyjmenovaných plynů, při teplotě  $10^\circ\text{C}$ , je v tab. 106.

Tab. 106 Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  (W/(m K)) vzduchu a některých plynů jako výplně mezi skly [1.4]

| Plyn    | $\lambda$ (W/(m K)) |
|---------|---------------------|
| Vzduch  | 0,0258              |
| Xenon   | 0,0054              |
| Argon   | 0,0173              |
| Krypton | 0,0093              |

**Poznámka:**

Hodnoty tepelné vodivosti v tab. 106 platí pro klidový stav plynů. Pokud dochází k pohybu (k proudění) plynů v prostoru mezi skly okna, pak je nelze použít pro výpočet tepelného odporu vrstvy mezi skly. V takovém případě se počítá s přestupem tepla mezi proudícím plynem a povrchem skel, na jeho základě se stanovuje tepelný odpor vrstvy, který se pak zařadí do výpočtu součinitele prostupu tepla okna – viz např. [1.4].

Součinitel prostupu tepla zasklení s jednou vrstvou plynu mezi dvěma skly, v závislosti na tloušťce vrstvy  $d_{vv}$  (m), je pro plyny uvedené v *tab. 107*.

*Tab. 107* Součinitel prostupu tepla zasklení s různou výplní  $U_z$  (W/(m<sup>2</sup>K)), v závislosti na tloušťce vrstvy  $d_{vv}$  (m)

| Plyn    | $U_z$ (W/(m <sup>2</sup> K)) při $d_{vv}$ (m) |       |       |
|---------|-----------------------------------------------|-------|-------|
|         | 0,006                                         | 0,012 | 0,018 |
| Vzduch  | 3,3                                           | 2,93  | 2,80  |
| Krypton | 2,75                                          | 2,59  | 2,56  |
| Argon   | 3,04                                          | 2,75  | 2,66  |
| Xenon   | 2,60                                          | 2,53  | 2,54  |

#### **Poznámka:**

Součinitel prostupu tepla zasklení je závislý na tepelném odporu vrstvy plynu. Tepelný odpor uzavřené vrstvy plynu je závislý nejen na součiniteli tepelné vodivosti plynu. Dalšími určujícími veličinami tohoto tepelného odporu jsou: kinematická vazkost plynu  $\nu$  (m<sup>2</sup>/s) a hustota plynu  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>).

Ještě významnějšího zmenšení hodnoty součinitele prostupu tepla zasklení se dosáhne zmenšením emisivity povrchu skel. Např. v [4.4] se uvádí, že zasklení se třemi skly (dvě vzduchové vrstvy), mají-li dvě skla hodnotu emisivity  $\varepsilon = 0,05$  a je-li výplň mezi skly argon, má hodnotu součinitele prostupu tepla  $U_z = 0,7$  W/(m<sup>2</sup>K) a při použití kryptonu  $U_z = 0,5$  W/(m<sup>2</sup>K). V [4.5] se uvádí pro zasklení, za stejných podmínek, hodnota  $U_z = 0,4$  W/(m<sup>2</sup>K), je-li použit jako výplň xenon.

Z porovnání těchto hodnot s hodnotami uvedenými v *tab. 105* zjistíme, že hodnoty součinitele prostupu tepla zasklení na úrovni  $U_z = 0,6$  W/(m<sup>2</sup>K) by se dosáhlo až při 15 vzduchových vrstvách.

Okna se skládají ze zasklení, rámu a křidel, z čehož plyne, že na jejich součinitele prostupu tepla má vliv nejen zasklení, ale i tyto části oken. Jejich vliv je závislý na jejich součinitelích tepelné vodivosti, neboli na materiálech, z nichž tyto části oken jsou. Rámy a křídla jsou obvykle z kovů (ocel, hliník), dřeva, plastů. Součinitel tepelné vodivosti oceli je 58 W/(m<sup>2</sup>K), hliníku 204 W/(m<sup>2</sup>K), plastů a dřeva 0,16 – 0,24 W/(m<sup>2</sup>K). Z těchto údajů je vidět, že zejména kovové rámy zvětšují podstatně hodnotu součinitele prostupu tepla oken. Proti hodnotám platným pro okna s dřevěnými rámy to může být zvětšení až o 27 – 37 %. To je důvod, proč se okna, zvláště s kovovými rámy, realizují s přerušeným tepelným mostem, popř. se kombinují s plastem.

#### **4.1.1.3 Tepelné mosty**

Pod pojmem tepelný most se rozumí část obvodového pláště budov, kterou proudí větší tepelný tok, než tepelný tok proudící vlastní konstrukcí (zasklení oken se však za tepelné mosty nepovažuje), což znamená, že tepelné mosty zvětšují tepelnou ztrátu budov. Typickými tepelnými mosty jsou styky, spáry a spoje mezi jednotlivými konstrukcemi v obvodovém plášti a vzájemné styky dvou, popř. tří konstrukcí (kouty místností). Pro orientační představu o vlivu tepelného mostu na zvětšení tepelné ztráty místnosti, který vzniká ve svislém koutu místnosti, uvádíme *tab. 108*.

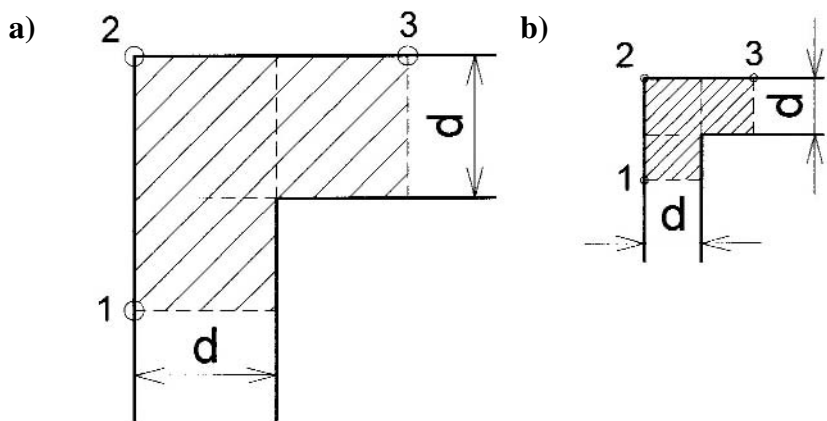
Při výpočtu hodnot v *tab. 108* se vychází z předpokladu, že konstrukce tvořící svislý kout mají tepelný odpor  $R = 2,0$  m<sup>2</sup>K/W a tloušťku nejvýše  $d = 0,5$  m, při uvažování různé hodnoty součinitele tepelné vodivosti.

Tab. 108 Zvětšení lineární tepelné ztráty svislého koutu místnosti  $\Delta Q$  (W/m) tvořeného stejnorodými konstrukcemi v závislosti na tepelné vodivosti  $\lambda$  (W/(m K)), při uvažování tepelného odporu  $R = 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$  ( $d$  (m) je tloušťka konstrukcí)

| $\lambda$ (W/(m K)) | $d$ (m) | $\Delta Q$ (W/m) |
|---------------------|---------|------------------|
| 0,05                | 0,10    | 0,48             |
| 0,10                | 0,20    | 0,97             |
| 0,15                | 0,30    | 1,46             |
| 0,20                | 0,40    | 1,94             |
| 0,25                | 0,50    | 2,43             |

Pro porovnání uvádíme, že u klasického zdiva z plných pálených cihel o tloušťce 0,45 m je  $\Delta Q \approx 5 \text{ W/m}$  (tepelný odpor je  $R = 0,523 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ ).

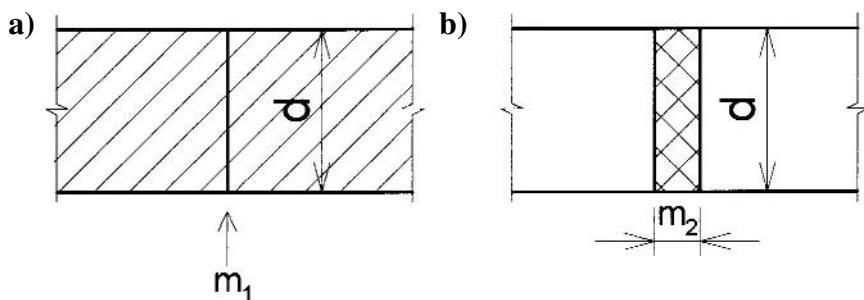
Z tab. 108 se zjistí, že lineární tepelná ztráta svislého koutu místnosti  $\Delta Q$  se mění v rozsahu od 0,48 W/m do 2,43 W/m a je tím větší, čím větší mají stejnorodé konstrukce tloušťku. Je to proto, že se zvětšující se tloušťkou konstrukcí se zvětšuje plocha, ve které dochází ke zvětšené tepelné ztrátě v porovnání s tepelnou ztrátou vlastních konstrukcí – viz obr. 17 a, b. Z toho plyne, že na tepelnou ztrátu koutu místnosti nemá vliv jen tepelný odpor, ale i tloušťka konstrukcí, které jej tvoří.



Obr. 17 Vliv tloušťky konstrukcí  $d$ , tvořících vnější svislý stejnorodý kout, na ochlazovanou plochu koutu (mezi body 1 až 3)

Hodnoty lineární tepelné ztráty stejnorodého koutu jsou vyčísleny za předpokladu, že se uvažují při výpočtu tepelné ztráty místnosti vnitřní rozměry místnosti. Problém se zvětšenými tepelnými ztrátami koutů místnosti odpadá, použijí-li se při výpočtu tepelných ztrát místnosti vnější rozměry místnosti. V tomto případě je zjištěná tepelná ztráta místnosti větší než odpovídá skutečnosti. V ČSN 06 0210 [4.6] se proto řeší tento problém tak, že se počítají tepelné ztráty místnosti s vnitřními rozměry místnosti ve vodorovném směru a s konstrukční výškou místnosti ve svislém směru. To znamená, že se do uvažované plochy započítává i plocha zaujímaná stropní konstrukcí.

Jako další z typických představitelů tepelných mostů jsou uvedeny tepelné ztráty průběžného tepelného mostu – viz obr. 18 a, b. Při výpočtu byly uvažovány tyto údaje: Teplota



Obr. 18 Vliv šířky průběžného tepelného mostu  $m_1$   $m_2$  na jeho tepelnou ztrátu

vnitřního vzduchu  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ , teplota vnějšího vzduchu  $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ , odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce  $R_i = 0,125\text{ m}^2\text{K/W}$  a  $R_e = 0,043\text{ m}^2\text{K/W}$ .

V tab. 109 je lineární tepelná ztráta tepelného mostu o šířce  $m_1 = 0,001$  a  $0,002\text{ m}$  a o součiniteli tepelné vodivosti tepelného mostu  $\lambda = 58\text{ W/(m K)}$  (např. ocelový plech) a v tab. 110 o šířce tepelného mostu  $m_2 = 0,01\text{ m}$  a v tab. 111 o šířce tepelného mostu  $m_2 = 0,02\text{ m}$ , při uvažování tepelné vodivosti tepelného mostu  $\lambda = 1,6; 1,2; 0,8\text{ W/(m K)}$  (např. betonové žebro).

Tab. 109 Lineární tepelná ztráta průběžného tepelného mostu  $Q$  (W/m) ( $U$  (W/(m<sup>2</sup>K))) je součinitel prostupu tepla vlastní konstrukce,  $\theta_m$  (°C) je nejnižší teplota na vnitřním povrchu tepelného mostu)

| $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | Šířka tepelného mostu $m_1$ (m) |                 |           |                 |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|
|                            | 0,001                           |                 | 0,002     |                 |
|                            | $Q$ (W/m)                       | $\theta_m$ (°C) | $Q$ (W/m) | $\theta_m$ (°C) |
| 0,461                      | 0,093                           | 8,37            | 0,194     | 7,89            |
| 0,240                      | 0,088                           | 8,95            | 0,177     | 8,95            |
| 0,162                      | 0,087                           | 9,16            | 0,173     | 9,16            |
| 0,122                      | 0,086                           | 9,26            | 0,172     | 9,26            |

Tab. 110 Lineární tepelná ztráta průběžného tepelného mostu  $Q$  (W/m) při šířce tepelného mostu  $m_2 = 0,01\text{ m}$  ( $U$  (W/(m<sup>2</sup>K))) je součinitel prostupu tepla vlastní konstrukce,  $\theta_m$  (°C) je nejnižší teplota na vnitřním povrchu tepelného mostu,  $\lambda$  (W/(m K)) je tepelná vodivost tepelného mostu)

| $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | $\lambda$ (W/(m K)) |                 |           |                 |           |                 |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
|                            | 1,6                 |                 | 1,2       |                 | 0,8       |                 |
|                            | $Q$ (W/m)           | $\theta_m$ (°C) | $Q$ (W/m) | $\theta_m$ (°C) | $Q$ (W/m) | $\theta_m$ (°C) |
| 0,461                      | 1,12                | 5,96            | 1,11      | 6,11            | 1,08      | 6,46            |
| 0,240                      | 0,95                | 8,11            | 0,94      | 8,24            | 0,92      | 8,54            |
| 0,162                      | 0,90                | 8,78            | 0,89      | 8,91            | 0,86      | 9,20            |
| 0,122                      | 0,87                | 9,13            | 0,86      | 9,25            | 0,84      | 9,54            |

Tab. 111 Lineární tepelná ztráta průběžného tepelného mostu  $Q$  (W/m) při šířce tepelného mostu  $m_2 = 0,02$  m ( $U$  (W/(m<sup>2</sup>K))) je součinitel prostupu tepla vlastní konstrukce,  $\theta_m$  (°C) je nejnižší teplota na vnitřním povrchu tepelného mostu,  $\lambda$  (W/(m K)) je tepelná vodivost tepelného mostu)

| $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | $\lambda$ (W/(m K)) |                 |           |                 |           |                 |
|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
|                            | 1,6                 |                 | 1,2       |                 | 0,8       |                 |
|                            | $Q$ (W/m)           | $\theta_m$ (°C) | $Q$ (W/m) | $\theta_m$ (°C) | $Q$ (W/m) | $\theta_m$ (°C) |
| 0,461                      | 2,63                | 3,58            | 2,57      | 3,92            | 2,47      | 4,56            |
| 0,240                      | 2,09                | 6,93            | 2,05      | 7,20            | 1,97      | 7,71            |
| 0,162                      | 1,95                | 7,79            | 1,91      | 8,05            | 1,84      | 8,53            |
| 0,122                      | 1,79                | 8,83            | 1,75      | 9,06            | 1,68      | 9,50            |

K výsledkům v tab. 109 lze poznamenat, že průběžný tepelný most o malé šířce, i když je jeho hodnota tepelné vodivosti poměrně vysoká, vykazuje velmi malou tepelnou ztrátu. Ovšem, objevuje se zde problém nevyhovující teploty na vnitřním povrchu z hlediska možnosti kondenzace vodní páry. Takže takový tepelný most není problematický z hlediska tepelné ztráty, ale z hlediska nízké teploty na jeho vnitřním povrchu. Musí se proto navrhnout opatření k odstranění tohoto nedostatku. Zároveň je možno říci, že se zmenšující se hodnotou součinitele prostupu tepla vlastní konstrukce, se zmenšuje tepelná ztráta a zvyšuje se teplota na vnitřním povrchu tepelného mostu.

Totéž platí i pro výsledky v tab. 110 a 111. Rozdíl proti hodnotám v tab. 109 je však zřetelnější, pokud jde o tepelné ztráty. Zde jsou tepelné ztráty již významnější, zvláště v případě šířky tepelného mostu  $m_2 = 0,02$  m.

## 4.1.2 Spotřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát prostupem tepla a možné úspory

V první části této kapitoly je probrána možná úspora tepla vztažená na 1 m<sup>2</sup> plochy obvodové konstrukce a 1 m<sup>2</sup> okna, ve druhé části pak vztažená na celé budovy.

### 4.1.2.1 Obvodové konstrukce a okna

Nejprve ukážeme možnou úsporu tepla  $\Delta E$  (kWh/m<sup>2</sup>) v důsledku zmenšení tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí, v závislosti na rozdílu součinitelů prostupu tepla konstrukce  $\Delta U = U_p - U_x$ , kde první veličina představuje původní hodnotu a druhá uvažovanou (navrhovanou) hodnotu (W/(m<sup>2</sup>K)), dále na počtu denostupňů  $D$  (d · K) a životnosti konstrukce  $n$  (roky). Počet denostupňů charakterizuje jednak dané místo, ve kterém se budova nachází nebo bude nacházet, jednak budovu se zadanou vnitřní teplotou, která může být různá podle druhu budovy (obytná, průmyslová aj.). Proto jsou v tab. 112 uvedeny hodnoty denostupňů s označením  $D_{16}$ ,  $D_{18}$  a  $D_{20}$ , kde index „16“ – „18“ – „20“ znamená, že daná hodnota byla stanovena při uvažování vnitřní teploty 16 °C, 18 °C a 20 °C. Počet otopných dnů, a tím tedy i denostupňů, byl stanoven podle vyhlášky č. 245/1995 Sb., [4.7] a její novelizované verze č. 85/1998 Sb. V této vyhlášce jsou následující ustanovení:

- (1) Otopné období, není-li odběratelem a dodavatelem dohodnuto jinak, začíná 1. září a končí 31. května následujícího roku.
- (2) Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního

vzduchu v příslušné lokalitě poklesne pod 13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad 13 °C pro následující den.

(3) Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu se rozumí teplota stanovená ze vztahu

$$\theta_{em} = \frac{\theta_7 + \theta_{14} + 2 \cdot \theta_{21}}{4} \quad (4.2)$$

kde  $\theta_7$  je teplota měřená v 7 h,  $\theta_{14}$  ve 14 h a  $\theta_{21}$  v 21 h; čidlo pro měření venkovní teploty musí být ve stínu, s vyloučením vlivu sálání okolních ploch.

(4) Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu vystoupí nad 13 °C ve dvou po sobě následujících dnech a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den.

Úspora energie při vytápění připadající na 1 m<sup>2</sup> plochy konstrukce  $\Delta E$  (kWh/m<sup>2</sup>), v závislosti na rozdílu původní hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce  $U_p$  a uvažované hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce  $U_x$ , tj. ( $U = \Delta U_p - U_x$ ) (W/(m<sup>2</sup>K)), na počtu denostupňů  $D$  ( $d \cdot K$ ) a životnosti konstrukce  $n$  (roky) je stanovena podle vztahu

$$\Delta E = 0,024 \cdot \Delta U \cdot D \cdot n \quad (4.3)$$

Výsledky jsou v tab. 113.

Tab. 112 Počet denostupňů  $D_{16}$ ,  $D_{18}$  a  $D_{20}$  pro různá místa v ČR – základní údaje jsou převzaty z ČSN 38 3350 [4.8] ( $\theta_e$  je výpočtová teplota vnějšího vzduchu,  $\theta_{em}$  je průměrná teplota vzduchu v otopném období roku,  $d$  je počet topných dnů v otopném období,  $H$  je nadmořská výška) [4.9]

| Místo            | $H$<br>(m) | $\theta_e$<br>(°C) | $\theta_{em}$<br>(°C) | $d$<br>(dny) | $D_{16}$<br>(d · K) | $D_{18}$<br>(d · K) | $D_{20}$<br>(d · K) |
|------------------|------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Benešov          | 327        | -15                | 3,9                   | 245          | 2 960               | 3 445               | 3 945               |
| Beroun           | 229        | -12                | 4,1                   | 236          | 2 808               | 3 280               | 3 752               |
| Blansko          | 273        | -15v               | 3,7                   | 241          | 2 960               | 3 446               | 3 928               |
| Břeclav          | 159        | -12                | 4,4                   | 224          | 2 598               | 3 046               | 3 494               |
| Brno             | 227        | -12v               | 4,0                   | 232          | 2 784               | 3 248               | 3 712               |
| Bruntál          | 546        | -18v               | 3,3                   | 271          | 3 442               | 3 984               | 4 526               |
| Česká Lípa       | 278        | -15                | 3,8                   | 245          | 2 989               | 3 479               | 3 969               |
| České Budějovice | 384        | -15                | 3,8                   | 244          | 2 977               | 3 465               | 3 953               |
| Český Krumlov    | 489        | -18v               | 3,5                   | 254          | 3 175               | 3 683               | 4 191               |
| Děčín            | 141        | -12                | 4,2                   | 238          | 2 808               | 3 284               | 3 760               |
| Domažlice        | 428        | -15v               | 3,8                   | 247          | 3 013               | 3 507               | 4 001               |
| Frýdek-Místek    | 300        | -15v               | 3,8                   | 236          | 2 879               | 3 351               | 3 823               |
| Havlíčkův Brod   | 422        | -15v               | 3,3                   | 253          | 2 313               | 3 719               | 4 225               |
| Hodonín          | 162        | -12                | 4,2                   | 215          | 2 537               | 2 967               | 3 397               |
| Hradec Králové   | 244        | -12                | 3,9                   | 242          | 2 928               | 3 412               | 3 896               |
| Cheb             | 448        | -15                | 3,6                   | 262          | 3 249               | 3 773               | 4 297               |

| Místo             | $H$ | $\theta_e$ | $\theta_{em}$ | $d$   | $D_{16}$ | $D_{18}$ | $D_{20}$ |
|-------------------|-----|------------|---------------|-------|----------|----------|----------|
|                   | (m) | (°C)       | (°C)          | (dny) | (d · K)  | (d · K)  | (d · K)  |
| Chomutov          | 330 | -12v       | 4,1           | 233   | 2 773    | 3 239    | 3 705    |
| Chrudim           | 276 | -12v       | 4,1           | 238   | 2 832    | 3 308    | 3 784    |
| Jablonec n/Nisou  | 502 | -18v       | 3,6           | 256   | 3 174    | 3 686    | 4 198    |
| Jičín             | 278 | -15        | 3,9           | 234   | 2 831    | 3 299    | 3 767    |
| Jihlava           | 516 | -15        | 3,5           | 257   | 3 213    | 3 727    | 4 241    |
| Jindřichův Hradec | 478 | -15        | 3,5           | 256   | 3 200    | 3 712    | 4 224    |
| Karlovy Vary      | 379 | -15v       | 3,8           | 254   | 3 099    | 3 607    | 4 115    |
| Karviná           | 230 | -15        | 4,0           | 234   | 2 808    | 3 276    | 3 744    |
| Kladno            | 380 | -15        | 4,5           | 258   | 2 967    | 3 483    | 3 999    |
| Klatovy           | 409 | -15v       | 3,9           | 248   | 3 001    | 3 498    | 3 993    |
| Kolín             | 223 | -12v       | 4,4           | 226   | 2 622    | 3 074    | 3 526    |
| Kroměříž          | 207 | -12        | 3,9           | 227   | 2 747    | 3 201    | 3 655    |
| Kutná Hora        | 253 | -12v       | 4,4           | 226   | 2 602    | 3 074    | 3 526    |
| Liberec           | 357 | -18        | 3,6           | 258   | 3 199    | 3 715    | 4 231    |
| Litoměřice        | 171 | -12v       | 4,1           | 232   | 2 761    | 3 225    | 3 689    |
| Louny             | 201 | -12        | 4,1           | 229   | 2 725    | 3 183    | 3 641    |
| Mělník            | 155 | -12        | 4,1           | 229   | 2 725    | 3 183    | 3 641    |
| Mladá Boleslav    | 230 | -12        | 3,9           | 235   | 2 844    | 3 314    | 3 784    |
| Most              | 230 | -12v       | 4,1           | 233   | 3 773    | 3 239    | 3 705    |
| Náchod            | 344 | -15        | 3,7           | 250   | 3 075    | 3 575    | 4 075    |
| Nový Jičín        | 284 | -15v       | 3,8           | 242   | 2 952    | 3 436    | 3 920    |
| Nymburk           | 186 | -12v       | 4,2           | 228   | 2 690    | 3 146    | 3 602    |
| Olomouc           | 226 | -15        | 3,8           | 231   | 2 818    | 3 280    | 3 742    |
| Opava             | 258 | -15        | 3,9           | 239   | 2 892    | 3 370    | 3 848    |
| Ostrava           | 217 | -15        | 4,0           | 229   | 2 874    | 3 206    | 3 664    |
| Pardubice         | 223 | -12v       | 4,1           | 234   | 2 785    | 3 253    | 3 721    |
| Pelhřimov         | 499 | -15v       | 3,6           | 257   | 3 187    | 3 701    | 4 215    |
| Písek             | 348 | -15        | 3,7           | 248   | 3 050    | 3 546    | 4 042    |
| Plzeň             | 311 | -12        | 3,6           | 242   | 3 001    | 3 485    | 3 969    |
| Praha             | 181 | -12        | 4,3           | 225   | 2 633    | 3 083    | 3 533    |
| Prachatice        | 574 | -18v       | 3,8           | 267   | 3 257    | 3 791    | 4 325    |
| Přerov            | 212 | -12        | 3,9           | 228   | 2 759    | 3 215    | 3 671    |
| Příbram           | 502 | -15        | 3,5           | 252   | 3 150    | 3 654    | 4 158    |
| Prostějov         | 226 | -15        | 3,8           | 230   | 2 806    | 3 266    | 3 726    |
| Rakovník          | 332 | -15        | 4,0           | 250   | 3 000    | 3 500    | 4 000    |
| Rokycany          | 363 | -15        | 3,5           | 252   | 3 150    | 3 654    | 4 158    |

| Místo                                                                                   | $H$<br>(m) | $\theta_e$<br>(°C) | $\theta_{em}$<br>(°C) | $d$<br>(dny) | $D_{16}$<br>(d · K) | $D_{18}$<br>(d · K) | $D_{20}$<br>(d · K) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Semily                                                                                  | 334        | -18v               | 3,4                   | 259          | 3 263               | 3 781               | 4 299               |
| Rychnov n/Kn.                                                                           | 325        | -15                | 3,5                   | 254          | 3 175               | 3 683               | 4 191               |
| Sokolov                                                                                 | 405        | -15v               | 3,9                   | 254          | 3 073               | 3 581               | 4 089               |
| Strakonice                                                                              | 392        | -15                | 3,8                   | 249          | 3 038               | 3 536               | 4 034               |
| Svitavy                                                                                 | 447        | -15v               | 3,4                   | 248          | 3 125               | 3 621               | 4 117               |
| Šumperk                                                                                 | 317        | -15v               | 3,5                   | 242          | 3 025               | 3 509               | 3 993               |
| Tábor                                                                                   | 480        | -15                | 3,5                   | 250          | 3 125               | 3 625               | 4 125               |
| Tachov                                                                                  | 496        | -15                | 3,6                   | 250          | 3 100               | 3 600               | 4 100               |
| Teplice                                                                                 | 205        | -12v               | 4,1                   | 230          | 2 737               | 3 197               | 3 657               |
| Třebíč                                                                                  | 406        | -15                | 3,1                   | 263          | 3 393               | 3 919               | 4 445               |
| Trutnov                                                                                 | 428        | -18                | 3,3                   | 257          | 3 264               | 3 778               | 4 292               |
| Uherské Hradiště                                                                        | 181        | -12v               | 3,6                   | 233          | 2 889               | 3 355               | 3 821               |
| Ústí n/Labem                                                                            | 145        | -12v               | 3,9                   | 229          | 2 771               | 3 229               | 3 687               |
| Ústí n/Orlicí                                                                           | 332        | -15v               | 3,6                   | 251          | 3 112               | 3 614               | 4 116               |
| Vsetín                                                                                  | 346        | -15                | 3,6                   | 236          | 3 926               | 3 398               | 3 870               |
| Vyškov                                                                                  | 245        | -12                | 3,7                   | 229          | 2 817               | 3 275               | 3 733               |
| Zlín                                                                                    | 234        | -12                | 4,0                   | 226          | 2 712               | 3 164               | 3 616               |
| Znojmo                                                                                  | 289        | -12                | 3,9                   | 226          | 2 735               | 3 187               | 3 639               |
| Žďár nad Sázavou                                                                        | 572        | -15                | 3,1                   | 270          | 3 483               | 4 023               | 4 563               |
| Na základě údajů v tabulce jsou stanoveny tyto průměrné hodnoty:                        |            |                    |                       |              |                     |                     |                     |
| a) průměrná teplota vnějšího vzduchu v otopném období pro území ČR: 3,8 °C              |            |                    |                       |              |                     |                     |                     |
| b) průměrný počet denostupňů: $D_{16} = 2\,952$ ; $D_{18} = 3\,436$ ; $D_{20} = 3\,920$ |            |                    |                       |              |                     |                     |                     |

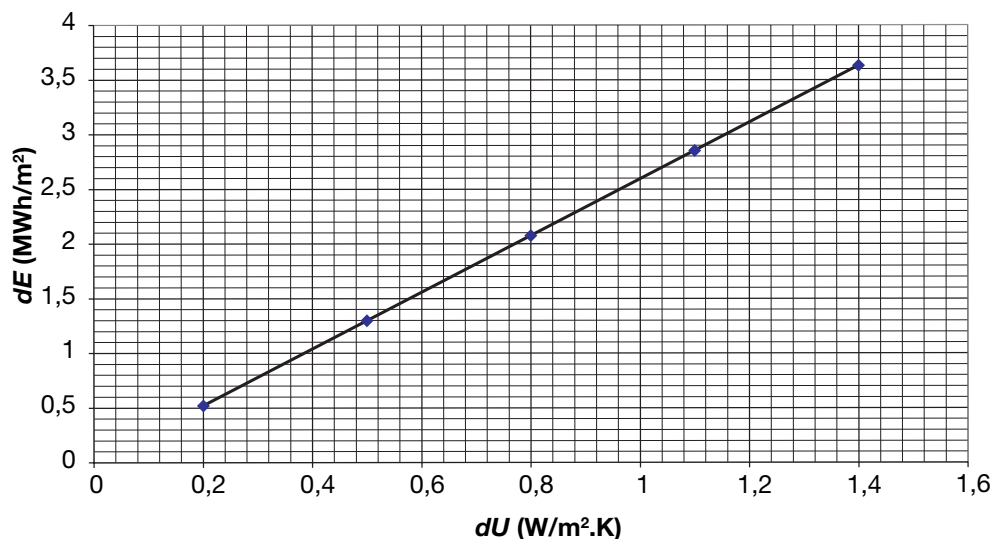
Tab. 113 Úspora energie ( $\Delta E$  (kWh/(m<sup>2</sup>.n)) při různém rozdílu původní a uvažované hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce ( $\Delta U$  (W/(m<sup>2</sup>K)), počtu denostupňů  $D$  (d · K) a životnosti konstrukce  $n$  (roky)

| n (roky) | $D$ (d · K) | $\Delta E$ (kWh/(m <sup>2</sup> .n)) při $\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) |       |         |         |         |
|----------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|---------|
|          |             | 0,2                                                                        | 0,5   | 0,8     | 1,1     | 1,4     |
| 30       | 2 600       | 374,4                                                                      | 936   | 1 497,6 | 2 059,2 | 2 620,8 |
|          | 3 600       | 518,4                                                                      | 1 296 | 2 073,6 | 2 851,2 | 3 628,8 |
|          | 4 600       | 662,4                                                                      | 1 656 | 2 649,6 | 3 643,2 | 4 636,8 |
| 10       | 2 600       | 124,8                                                                      | 312   | 499,2   | 686,4   | 873,6   |
|          | 3 600       | 172,8                                                                      | 432   | 691,2   | 950,4   | 1 209,6 |
|          | 4 600       | 220,8                                                                      | 552   | 883,2   | 1 214,4 | 1 545,6 |
| 50       | 2 600       | 624,0                                                                      | 1 560 | 2 496,0 | 3 432,0 | 4 368,0 |
|          | 3 600       | 864,0                                                                      | 2 160 | 3 456,0 | 4 752,0 | 6 048,0 |
|          | 4 600       | 1 104,0                                                                    | 2 760 | 4 416,0 | 6 072,0 | 7 728,0 |



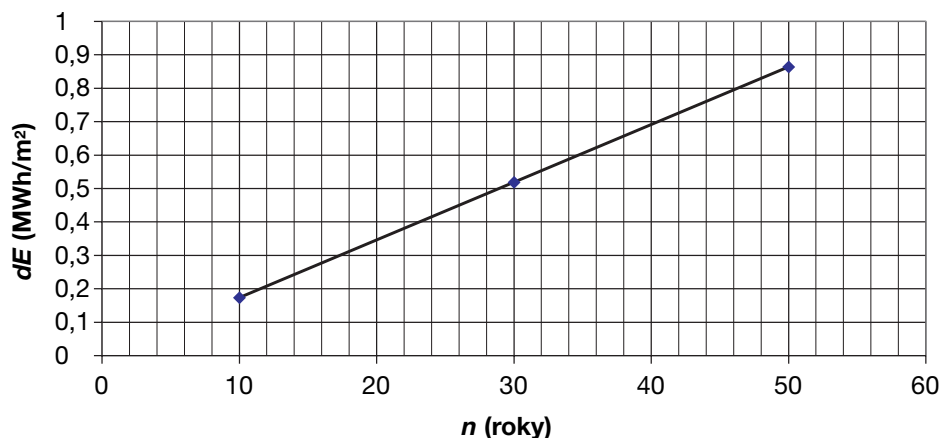
Na základě hodnot v *tab. 113* lze konstatovat, že úspora tepla při vytápění se zvětšuje při

- zvětšujícím se rozdílu uvedených hodnot součinitelů prostupu tepla původní a „zdokonalené“ konstrukce – viz *obr. 19*; z toho plyne, že při konstantním tepelném odporu zateplení přidaného k původní konstrukci bude úspora tepla tím větší, čím větší je hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce (hodnoty v *obr. 19* platí pro životnost konstrukce  $n = 30$  roků a počet denostupňů  $D = 3\,600$ );



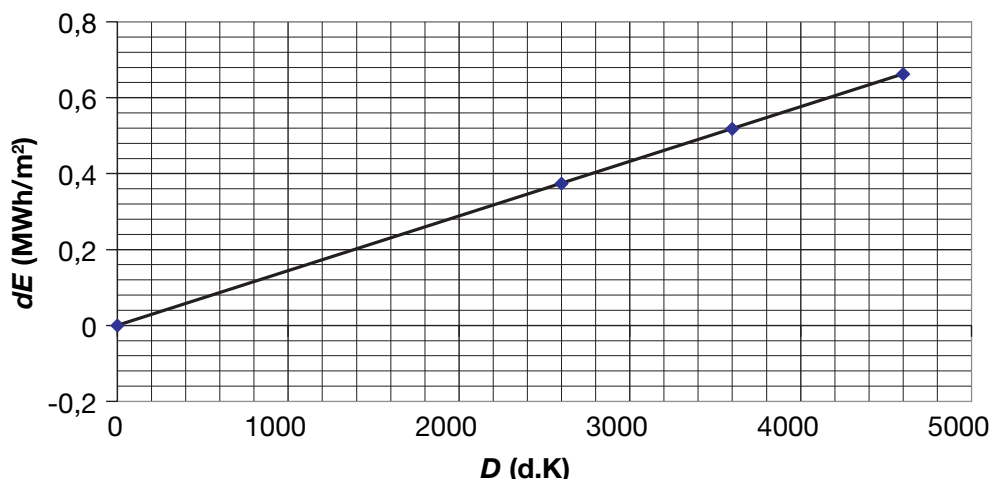
*Obr. 19* Vliv rozdílu součinitele prostupu tepla konstrukce  $dU$  na úsporu tepla  $dE$

- zvětšující se době životnosti konstrukce; např. rozdíl mezi životnostmi 30 a 50 let znamená zvětšení úspory tepla více než o třetinu a naopak, rozdíl mezi 10 a 3 lety znamená zmenšení úspory tepla rovněž asi o třetinu, je-li vztažnou hodnotou hodnota platná pro 30 let – viz *obr. 20*; z toho plyne, že při výběru „zateplovacího systému“ je velmi užitečné věnovat pozornost i této jeho vlastnosti (hodnoty v *obr. 20* platí pro počet denostupňů  $D = 3\,600$  a rozdíl  $\Delta U = 0,2$  W/(m²K));



*Obr. 20* Vliv životnosti konstrukce  $n$  na úsporu tepla  $dE$

- zvětšujícím se počtu denostupňů – v rozsahu 2 600 až 4 600 denostupňů činí rozdíl v úspoře tepla zhruba dvojnásobek (při všech uvažovaných životnostech konstrukce) – viz obr. 21; z toho plyne, že při vyhodnocování úspor tepla při zateplování konstrukcí je nutno uvažovat konkrétní místo, v němž se zateplení provádí (hodnoty v obr. 21 platí pro životnost konstrukce  $n = 30$  let a rozdíl  $\Delta U = 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ).



Obr. 21 Vliv počtu denostupňů  $D$  na úsporu tepla  $dE$  (u konstrukce)

### Komentář k hodnotám v tab. 113

Všeobecně se provádí hodnocení budov z hlediska spotřeby tepla při vytápění při určitých podmínkách (referenčních podmínkách). Smyslem stanovených údajů v tab. 113 je mj. poukázat na skutečnost, že spotřeba tepla v reálných podmínkách je odlišná od obecného hodnocení spotřeby tepla. Zvláště zdůrazňujeme vliv místa – charakterizované počtem denostupňů. Dále se ukazuje vliv životnosti na úsporu energie při vytápění v tab. 113, kde příslušné hodnoty demonstrují, k jakým důsledkům dochází ve spotřebě energie, jestliže je z jakýchkoliv důvodů degradována předpokládaná kvalita konstrukce, ať už hned na počátku zabudování konstrukce, nebo v průběhu jejího užívání a naopak, jaký užitek přináší růst životnosti konstrukce z hlediska úspory energie.

Z toho plyne závažný závěr: je třeba přísně rozlišovat mezi porovnávacím hodnocením spotřeby energie při vytápění (vyhodnocováním úspor energie) při určitých referenčních podmínkách a skutečným stavem spotřeby energie (úspor energie) daným konkrétními podmínkami. Konkrétní způsoby zlepšování konstrukcí dodatečným izolováním (zateplením) lze najít např. v [4.10, 4.11].

Podobně jako u neprůsvitné konstrukce je možno ukázat vliv rozdílu původní hodnoty součinitele prostupu tepla okna  $U_o$  a hodnoty navrhovaného okna  $U_{ox}$ , tj.  $\Delta U = (U_o - U_{ox})$  ( $\text{W/(m}^2\text{K)}$ ) na spotřebu energie  $\Delta E$  ( $\text{kWh/m}^2$ ) – viz tab. 114.

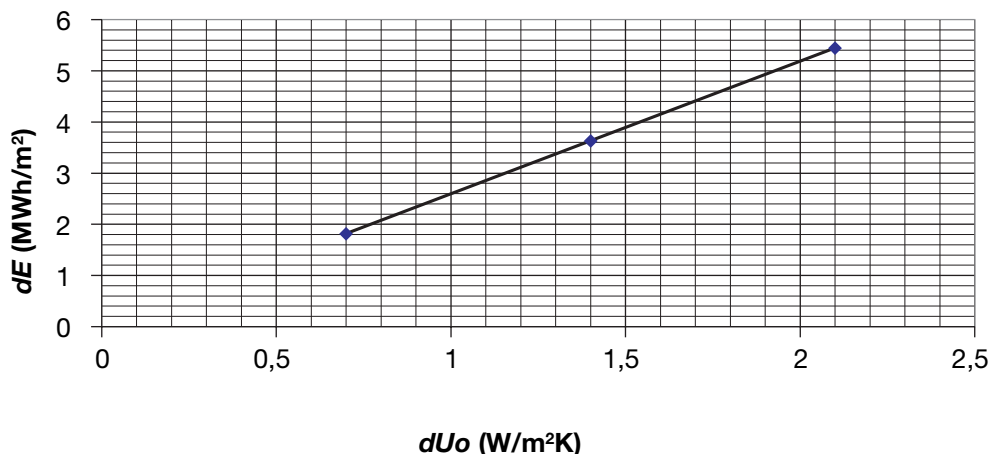
Tab. 114 Úspora energie  $\Delta E$  (kWh/(m<sup>2</sup>.n)) při různém rozdílu původní a uvažované hodnoty součinitele prostupu tepla okna  $\Delta U_o$  (W/(m<sup>2</sup>K)), počtu denostupňů  $D$  ( $d \cdot K$ ) a životnosti konstrukce  $n$  (roky)

| $n$ (roky) | $D$ ( $d \cdot K$ ) | $\Delta E$ (kWh/(m <sup>2</sup> .n)) při $\Delta U_o$ (W/(m <sup>2</sup> K)) |          |          |
|------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
|            |                     | 0,7                                                                          | 1,4      | 2,1      |
| 30         | 2 600               | 1 310,4                                                                      | 2 620,8  | 3 931,2  |
|            | 3 600               | 1 814,4                                                                      | 3 628,8  | 5 443,2  |
|            | 4 600               | 2 318,4                                                                      | 4 636,8  | 6 955,2  |
| 50         | 2 600               | 2 184,0                                                                      | 4 368,0  | 6 552,0  |
|            | 3 600               | 3 024,0                                                                      | 6 048,0  | 9 072,0  |
|            | 4 600               | 3 864,0                                                                      | 7 728,0  | 11 592,0 |
| 70         | 2 600               | 3 057,6                                                                      | 6 115,2  | 9 172,8  |
|            | 3 600               | 4 233,6                                                                      | 8 467,2  | 12 700,8 |
|            | 4 600               | 5 409,6                                                                      | 10 819,2 | 16 228,8 |

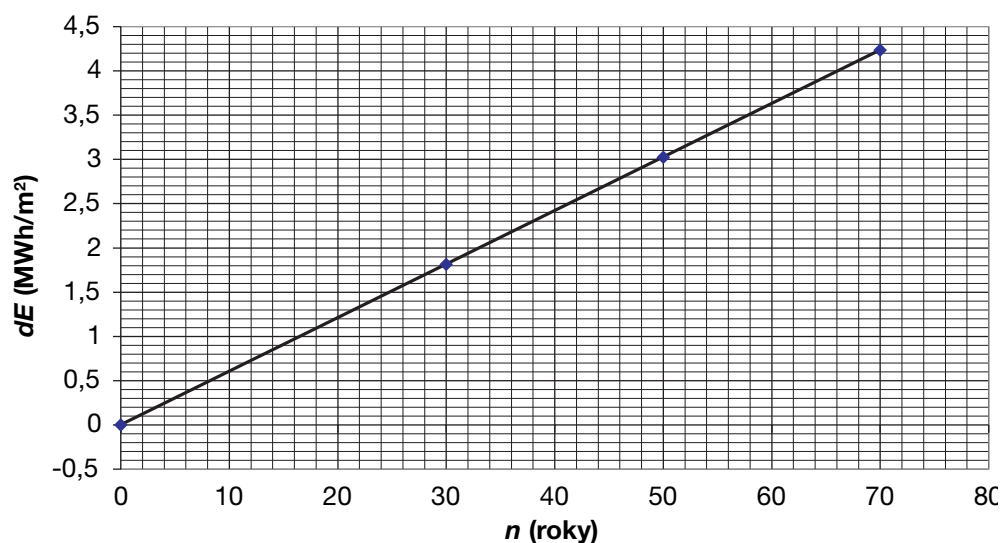
Závěry k hodnotám v tab. 114 jsou podobné jako u hodnot v tab. 113 – viz také obr. 22 (platí pro hodnoty  $n = 50$  let a  $D = 3\,600$ ), obr. 23 (platí pro  $D = 3\,600$  a při  $\Delta U_o = 0,7$  W/(m<sup>2</sup>K)) a obr. 24 (platí pro  $n = 30$  let a  $\Delta U_o = 0,7$  W/(m<sup>2</sup>K)). Konkrétní řešení a vlastnosti oken se najde např. v [4.12].

#### 4.1.2.2 Budovy

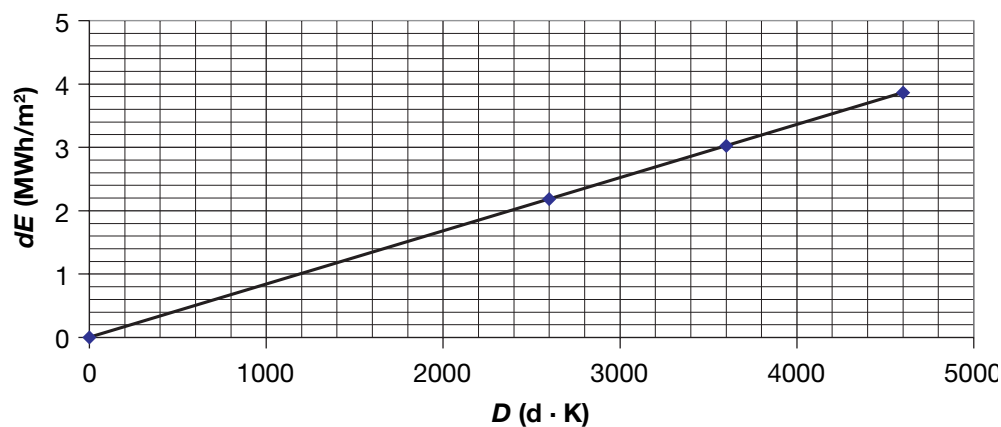
V [4.13] se analyzovaly možnosti úspor tepla při vytápění v jednotlivých typech panelových domů (jejich popis je v části 2.2). Zjistilo se, že při použití optimálních hodnot součinitelů prostupu tepla obvodového pláště a oken lze dosáhnout úspor tepla uvedených v tab. 115, přičemž za optimální se považují hodnoty  $U = 0,25$  W/(m<sup>2</sup>K) u vnějších svislých stěnových konstrukcí a plochých střech, u oken  $U_o = 1,7$  W/(m<sup>2</sup>K). Dále se uvažovaly tyto údaje: u podlahových konstrukcí nad suterénem  $U = 1,0$  W/(m<sup>2</sup>K), výměna vzduchu  $n = 0,5$  až  $0,6$  1/h a poměrná velikost oken  $a = 0,15$ .



Obr. 22 Vliv rozdílu součinitele prostupu tepla okna  $dU_o$  na úsporu tepla  $dE$



Obr. 23 Vliv životnosti okna  $n$  na úsporu tepla  $dE$



Obr. 24 Vliv počtu denostupňů  $D$  na úsporu tepla  $dE$  (u okna)

Tab. 115 Úspory tepla u panelových budov

| Typ budovy | A/V<br>(1/m) | V<br>(m³) | Úspora tepla |      |
|------------|--------------|-----------|--------------|------|
|            |              |           | (kWh/a)      | (%)  |
| G 40       | 0,32         | 9 750     | 213 040      | 47,3 |
| G 57       | 0,41         | 4 543     | 126 609      | 48,6 |
| T 06 B     | 0,38         | 4 568     | 93 040       | 39,1 |
| T 08 B     | 0,383        | 6 066     | 117 112      | 41,5 |
| VVÚ ETA    | 0,25         | 62 544    | 1 224 970    | 42,3 |
| L & N      | 0,29         | 15 129    | 215 839      | 34,0 |

| Typ budovy | A/V<br>(1/m) | V<br>(m <sup>3</sup> ) | Úspora tepla |      |
|------------|--------------|------------------------|--------------|------|
|            |              |                        | (kWh/a)      | (%)  |
| PS 69      | 0,37         | 5 483                  | 193 547      | 43,0 |
| B 70       | 0,29         | 9 339                  | 110 710      | 29,4 |
| BANKS      | 0,38         | 6 859                  | 292 987      | 33,0 |

Z tabulky je vidět, že u prvních typů panelových budov je možná úspora tepla při vytápění větší než u pozdějších typů. V prvním případě je to kolem 40 až 50 %, ve druhém případě kolem 29 až 34 %.

Jestliže by se uvažovaly krajní hodnoty součinitelů prostupu tepla obvodových konstrukcí, tj.  $U = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  a u oken  $U_o = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  – viz *obr. 15* a *16*, pak vycházejí maximální možné úspory tepla při vytápění v uvedených panelových domech, v důsledku uvažovaných hodnot součinitelů prostupu tepla, podle *tab. 116*.

*Tab. 116* Maximální možná úspora tepla při vytápění v panelových domech při použití krajních hodnot součinitelů prostupu tepla obvodového pláště a oken

| Typ budovy | Úspora tepla |      |
|------------|--------------|------|
|            | (kWh/a)      | (%)  |
| G 40       | 328 963      | 67,3 |
| G 57       | 198 668      | 73,1 |
| T 06 B     | 202 819      | 74,5 |
| T 08 B     | 239 113      | 72,8 |
| VVÚ ETA    | 1 954 392    | 70,2 |
| L & N      | 504 398      | 69,3 |
| PS 69      | 358 271      | 74,0 |
| B 70       | 312 955      | 69,8 |
| BANKS      | 307 545      | 75,5 |

Z hodnot v *tab. 116* vyplývá, že úspora tepla při vytápění panelových budov může být, v krajním případě, 67 až 75 %.

Poněkud podrobněji provedeme rozbor možností ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění na příkladu rodinného domu, popsaného v kap. 2.2.1.3 (15) s následujícími základními charakteristikami: objem budovy  $V = 533 \text{ m}^3$ , podíl obvodového pláště budovy  $A = \Sigma A_i = 562,1 \text{ m}^2$ , podíl ochlazovaných ploch a objemu budovy  $A/V = 1,05 \text{ 1/m}$  a danou orientací oken. Podíl plochy oken a se uvažuje ve třech variantách – viz *tab. 117*, kde jsou uvedeny také odpovídající plochy oken a následně plocha svislých neprůsvitných konstrukcí. Pro stanovené plochy oken a jejich orientaci jsou vypočítány tepelné zisky ze slunečního záření (podle ČSN 73 0542).

*Tab. 117* Tepelné zisky ze slunečního záření při různé velikosti podílu plochy okna  $a$

|                                  | $a = 0,12$ | $a = 0,18$ | $a = 0,24$ |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| $A_s \text{ (m}^2\text{)}$       | 271,2      | 263,2      | 254,8      |
| $A_o \text{ (m}^2\text{)}$       | 16,5       | 24,5       | 32,9       |
| $A_s + A_o \text{ (m}^2\text{)}$ | 287,7      | 287,7      | 287,7      |

$$A/V = 1,05 \text{ (1/m)}$$

$$V = 533 \text{ (m}^3\text{)}$$

| Orientace oken   | $E_{gVo}$<br>(kWh/<br>(m <sup>2</sup> · a)) | $c_{mp}$ | $c_n$ | $A_n$ (m <sup>2</sup> ) |          |          | $A_{ok,p}=0,7 \cdot A_n$ (m <sup>2</sup> ) |          |          | $E_{gVo} \cdot A_{ok,p} \cdot c_{mp} \cdot c_n$<br>(kWh/a) |          |          |
|------------------|---------------------------------------------|----------|-------|-------------------------|----------|----------|--------------------------------------------|----------|----------|------------------------------------------------------------|----------|----------|
|                  |                                             |          |       | $a=0,12$                | $a=0,18$ | $a=0,24$ | $a=0,12$                                   | $a=0,18$ | $a=0,24$ | $a=0,12$                                                   | $a=0,18$ | $a=0,24$ |
| Jih              | 416,99                                      | 0,8      | 0,9   | 8,25                    | 12,25    | 16,45    | 5,775                                      | 8,575    | 11,515   | 1 734                                                      | 2 574    | 3 457    |
| Východ/<br>Západ | 211,23                                      | 0,91     | 0,9   | 5,78                    | 8,58     | 11,52    | 4,046                                      | 6,006    | 8,064    | 700                                                        | 1 039    | 1 395    |
| Sever            | 77,02                                       | 1        | 0,9   | 2,48                    | 3,68     | 4,94     | 1,736                                      | 2,576    | 3,458    | 120                                                        | 179      | 240      |
| $\Sigma$         |                                             |          |       | 16,51                   | 24,51    | 32,91    |                                            |          |          | 2 554                                                      | 3 792    | 5 092    |

Dále se uvažují čtyři varianty hodnot součinitele prostupu tepla ploché střechy, svislého neprůsvitného pláště, oken a podlahové konstrukce nad suterénem – viz *tab. 118 až 120*, popř. *tab. 121 až 123* sloupce I, II, III a IV. Výpočet spotřeby tepla je proveden podle vyhlášky č. 291/2001 Sb., jednak bez uvažování tepelných zisků ze slunečního záření a vnitřních zdrojů tepla *tab. 118 až 120*, jednak s uvažováním tepelných zisků ze slunečního záření a vnitřních zdrojů tepla *tab. 121 až 123*.

*Tab. 118* Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,12$  (bez uvažování tepelných zisků)

|                                                                       | $A$ (m <sup>2</sup> ) | $b_i$ (-) |                            | $U_i$ (W/(m <sup>2</sup> K)) |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                       |                       |           |                            | I                            | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                        | 137,2                 | 1,00      | $U_s$                      | 1,0                          | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                              | 271,2                 | 1,00      | $U_e$                      | 1,4                          | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                                  | 16,5                  | 1,15      | $U_o$                      | 2,9                          | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                               | 137,2                 | 0,57      | $U_G$                      | 1,0                          | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                    |                       |           | $T$                        | 0,81                         | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| $\Sigma A_i$                                                          | 562,1                 |           |                            |                              |        |        |        |
| $\Sigma (U_i \cdot A_i \cdot b_i)$                                    |                       |           | (W/K)                      | 650                          | 456    | 235    | 76     |
| $U_{pr} = \Sigma (U_i \cdot A_i \cdot b_i) / \Sigma A_i$              |                       |           | (W/(m <sup>2</sup> K))     | 1,16                         | 0,81   | 0,42   | 0,13   |
| $E_{VP} = 94 \cdot (U_{pr} \cdot \Sigma A_i + 0,05 \cdot \Sigma A_i)$ |                       |           | (kWh/a)                    | 63 933                       | 45 440 | 24 834 | 9 511  |
| $E_{VV}=13 \cdot V$                                                   |                       |           | (kWh/a)                    | 6 929                        | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| $E_{vz}$ – neuvažují se                                               |                       |           | (kWh/a)                    | 0                            | 0      | 0      | 0      |
| $E_{ZS}$ – neuvažují se                                               |                       |           | (kWh/a)                    | 0                            | 0      | 0      | 0      |
| $E_V = E_{VP} + E_{VV}$                                               |                       |           | (kWh/a)                    | 70 862                       | 52 369 | 31 763 | 16 440 |
| $E_r = E_V - E_{ZS}$                                                  |                       |           | (kWh/a)                    | 70 862                       | 52 369 | 31 763 | 16 440 |
| $e_{V1}$                                                              |                       |           | (kWh/(m <sup>3</sup> · a)) | 132,95                       | 98,25  | 59,59  | 30,84  |

Tab. 119 Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,18$  (bez uvažování tepelných zisků)

|                                                                   | $A(\text{m}^2)$ | $b_i(-)$ |                           | $U_i (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$ |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|---------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                   |                 |          |                           | I                                     | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                    | 137,2           | 1,00     | $U_s$                     | 1,0                                   | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                          | 263,2           | 1,00     | $U_e$                     | 1,4                                   | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                              | 24,5            | 1,15     | $U_o$                     | 2,9                                   | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                           | 137,2           | 0,57     | $U_G$                     | 1,0                                   | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                |                 |          | $T$                       | 0,81                                  | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| $\sum A_i$                                                        | 562,1           |          |                           |                                       |        |        |        |
| $\sum (U_i \cdot A_i \cdot b_i)$                                  |                 |          | (W/K)                     | 666                                   | 466    | 240    | 80     |
| $U_{pr} = \sum (U_i \cdot A_i \cdot b_i) / \sum A_i$              |                 |          | (W/(m <sup>2</sup> K))    | 1,18                                  | 0,83   | 0,43   | 0,14   |
| $E_{VP} = 94 \cdot (U_{pr} \cdot \sum A_i + 0,05 \cdot \sum A_i)$ |                 |          | (kWh/a)                   | 64 990                                | 46 497 | 25 362 | 10 039 |
| $E_{VV} = 13 \cdot V$                                             |                 |          | (kWh/a)                   | 6 929                                 | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| $E_{VZ}$ – neuvažují se                                           |                 |          | (kWh/a)                   | 0                                     | 0      | 0      | 0      |
| $E_{ZS}$ – neuvažují se                                           |                 |          | (kWh/a)                   | 0                                     | 0      | 0      | 0      |
| $E_V = E_{VP} + E_{VV}$                                           |                 |          | (kWh/a)                   | 71 919                                | 53 426 | 32 291 | 16 968 |
| $E_r = E_V - E_{ZS}$                                              |                 |          | (kWh/a)                   | 71 919                                | 53 426 | 32 291 | 16 968 |
| $e_{V1}$                                                          |                 |          | (kWh/(m <sup>3</sup> ·a)) | 134,93                                | 100,24 | 60,58  | 31,84  |

Tab. 120 Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,24$  (bez uvažování tepelných zisků)

|                                                                   | $A(\text{m}^2)$ | $b_i(-)$ |                          | $U_i (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$ |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|--------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                   |                 |          |                          | I                                     | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                    | 137,2           | 1,00     | $U_s$                    | 1,0                                   | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                          | 254,8           | 1,00     | $U_e$                    | 1,4                                   | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                              | 32,9            | 1,15     | $U_o$                    | 2,9                                   | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                           | 137,2           | 0,57     | $U_G$                    | 1,0                                   | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                |                 |          | $T$                      | 0,81                                  | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| $\sum A_i$                                                        | 562,1           |          |                          |                                       |        |        |        |
| $\sum (U_i \cdot A_i \cdot b_i)$                                  |                 |          | (W/K)                    | 682                                   | 477    | 245    | 85     |
| $U_{pr} = \sum (U_i \cdot A_i \cdot b_i) / \sum A_i$              |                 |          | (W/(m <sup>2</sup> K))   | 1,21                                  | 0,85   | 0,44   | 0,15   |
| $E_{VP} = 94 \cdot (U_{pr} \cdot \sum A_i + 0,05 \cdot \sum A_i)$ |                 |          | (kWh/a)                  | 66 735                                | 47 506 | 25 719 | 10 666 |
| $E_{VV} = 13 \cdot V$                                             |                 |          | (kWh/a)                  | 6 929                                 | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| $E_{VZ}$ – neuvažují se                                           |                 |          | (kWh/a)                  | 0                                     | 0      | 0      | 0      |
| $E_{ZS}$ – neuvažují se                                           |                 |          | (kWh/a)                  | 0                                     | 0      | 0      | 0      |
| $E_V = E_{VP} + E_{VV}$                                           |                 |          | (kWh/a)                  | 73 664                                | 54 435 | 32 648 | 17 595 |
| $E_r = E_V - E_{ZS}$                                              |                 |          | (kWh/a)                  | 73 664                                | 54 435 | 32 648 | 17 595 |
| $e_{V1}$                                                          |                 |          | (Wh/(m <sup>3</sup> ·a)) | 138,21                                | 102,13 | 61,25  | 33,01  |

Tab. 121 Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,12$  (s uvažováním tepelných zisků)

|                                                                                               | A(m <sup>2</sup> ) | b <sub>i</sub> (-) |                           | U <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> K)) |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                                               |                    |                    |                           | I                                     | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                                                | 137,2              | 1,00               | U <sub>s</sub>            | 1,0                                   | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                                                      | 271,2              | 1,00               | U <sub>e</sub>            | 1,4                                   | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                                                          | 16,5               | 1,15               | U <sub>o</sub>            | 2,9                                   | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                                                       | 137,2              | 0,57               | U <sub>G</sub>            | 1,0                                   | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                                            |                    |                    | T                         | 0,81                                  | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| ΣA <sub>i</sub>                                                                               | 562,1              |                    |                           |                                       |        |        |        |
| Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> )                                         |                    |                    | (W/K)                     | 650                                   | 456    | 235    | 76     |
| U <sub>pr</sub> = Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> )/ΣA <sub>i</sub>       |                    |                    | (W/(m <sup>2</sup> K))    | 1,16                                  | 0,81   | 0,42   | 0,13   |
| E <sub>VP</sub> = 94 · (U <sub>pr</sub> · ΣA <sub>i</sub> + 0,05 · ΣA <sub>i</sub> )          |                    |                    | (kWh/a)                   | 63 933                                | 45 440 | 24 834 | 9 511  |
| E <sub>VV</sub> = 13 · V                                                                      |                    |                    | (kWh/a)                   | 6 929                                 | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| E <sub>VZ</sub> = 6 · V                                                                       |                    |                    | (kWh/a)                   | 3 198                                 | 3 198  | 3 198  | 3 198  |
| E <sub>ZS</sub> = E <sub>gVO</sub> · A <sub>ok,p</sub> · c <sub>mp</sub> · c <sub>n</sub> · T |                    |                    | (kWh/a)                   | 2 069                                 | 1 839  | 1 532  | 1 532  |
| E <sub>V</sub> = E <sub>VP</sub> + E <sub>VV</sub>                                            |                    |                    | (kWh/a)                   | 70 862                                | 52 369 | 31 763 | 16 440 |
| E <sub>r</sub> = E <sub>V</sub> - 0,9 · E <sub>VZ</sub> - E <sub>ZS</sub>                     |                    |                    | (kWh/a)                   | 65 915                                | 47 652 | 27 352 | 12 029 |
| e <sub>V2</sub>                                                                               |                    |                    | (Wh/(m <sup>3</sup> · a)) | 123,67                                | 89,40  | 51,32  | 22,57  |

Tab. 122 Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,18$  (s uvažováním tepelných zisků)

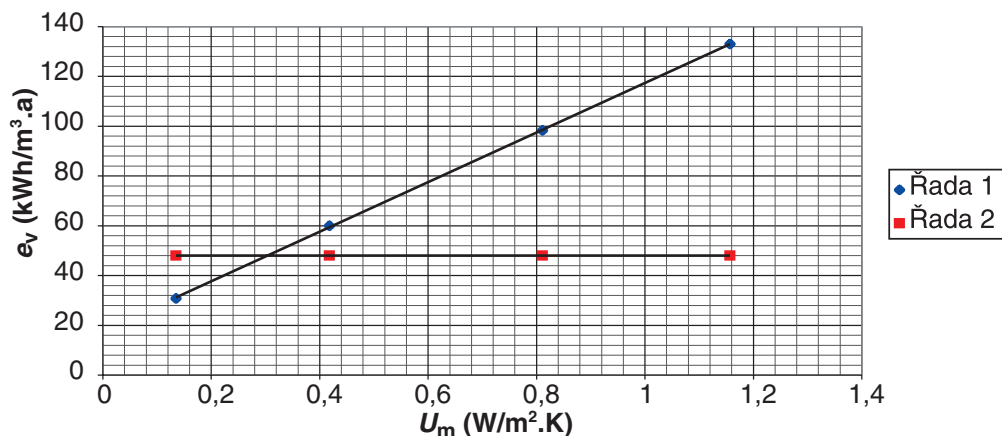
|                                                                                               | A(m <sup>2</sup> ) | b <sub>i</sub> (-) |                            | U <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> K)) |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                                               |                    |                    |                            | I                                     | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                                                | 137,2              | 1,00               | U <sub>s</sub>             | 1,0                                   | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                                                      | 263,2              | 1,00               | U <sub>e</sub>             | 1,4                                   | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                                                          | 24,5               | 1,15               | U <sub>o</sub>             | 2,9                                   | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                                                       | 137,2              | 0,57               | U <sub>G</sub>             | 1,0                                   | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                                            |                    |                    | T                          | 0,81                                  | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| ΣA <sub>i</sub>                                                                               | 562,1              |                    |                            |                                       |        |        |        |
| Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> )                                         |                    |                    | (W/K)                      | 666                                   | 466    | 240    | 80     |
| U <sub>pr</sub> = Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> )/ΣA <sub>i</sub>       |                    |                    | (W/(m <sup>2</sup> K))     | 1,18                                  | 0,83   | 0,43   | 0,14   |
| E <sub>VP</sub> = 94 · (U <sub>pr</sub> · ΣA <sub>i</sub> + 0,05 · ΣA <sub>i</sub> )          |                    |                    | (kWh/a)                    | 64 990                                | 46 497 | 25 362 | 10 039 |
| E <sub>VV</sub> = 13 · V                                                                      |                    |                    | (kWh/a)                    | 6 929                                 | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| E <sub>VZ</sub> = 6 · V                                                                       |                    |                    | (kWh/a)                    | 3 198                                 | 3 198  | 3 198  | 3 198  |
| E <sub>ZS</sub> = E <sub>gVO</sub> · A <sub>ok,p</sub> · c <sub>mp</sub> · c <sub>n</sub> · T |                    |                    | (kWh/a)                    | 3 072                                 | 2 730  | 2 275  | 2 275  |
| E <sub>V</sub> = E <sub>VP</sub> + E <sub>VV</sub>                                            |                    |                    | (kWh/a)                    | 71 919                                | 53 426 | 32 291 | 16 968 |
| E <sub>r</sub> = E <sub>V</sub> - 0,9 · E <sub>VZ</sub> - E <sub>ZS</sub>                     |                    |                    | (Wh/a)                     | 65 969                                | 47 817 | 27 138 | 11 815 |
| e <sub>V2</sub>                                                                               |                    |                    | (kWh/(m <sup>3</sup> · a)) | 123,77                                | 89,71  | 50,91  | 22,17  |



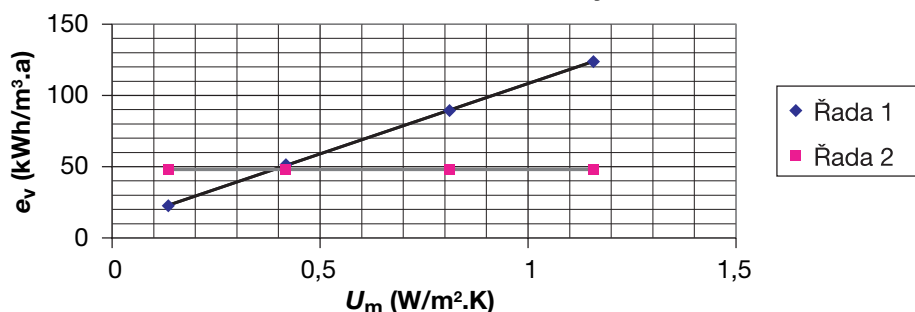
Tab. 123 Měrná spotřeba tepla budovy při podílu plochy oken  $a = 0,24$  (s uvažováním tepelných zisků)

|                                                                                               | A(m <sup>2</sup> ) | b <sub>i</sub> (-) |                            | U <sub>i</sub> (W/(m <sup>2</sup> K)) |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                                               |                    |                    |                            | I                                     | II     | III    | IV     |
| Plochá střecha                                                                                | 137,2              | 1,00               | U <sub>s</sub>             | 1,0                                   | 0,5    | 0,3    | 0,1    |
| Svislý neprůsvitný plášť                                                                      | 254,8              | 1,00               | U <sub>e</sub>             | 1,4                                   | 1,0    | 0,5    | 0,1    |
| Okna                                                                                          | 32,9               | 1,15               | U <sub>o</sub>             | 2,9                                   | 2,0    | 1,0    | 0,6    |
| Podlaha                                                                                       | 137,2              | 0,57               | U <sub>G</sub>             | 1,0                                   | 1,0    | 0,5    | 0,3    |
| Propustnost záření                                                                            |                    |                    | T                          | 0,81                                  | 0,72   | 0,6    | 0,6    |
| ΣA <sub>i</sub>                                                                               | 562,1              |                    |                            |                                       |        |        |        |
| Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> )                                         |                    |                    | (W/K)                      | 682                                   | 477    | 245    | 85     |
| U <sub>pr</sub> = Σ (U <sub>i</sub> · A <sub>i</sub> · b <sub>i</sub> ) / ΣA <sub>i</sub>     |                    |                    | (W/(m <sup>2</sup> K))     | 1,21                                  | 0,85   | 0,44   | 0,15   |
| E <sub>VP</sub> = 94 · (U <sub>pr</sub> · ΣA <sub>i</sub> + 0,05 · ΣA <sub>i</sub> )          |                    |                    | (kWh/a)                    | 66 575                                | 47 554 | 25 890 | 10 567 |
| E <sub>VV</sub> = 13 · V                                                                      |                    |                    | (kWh/a)                    | 6 929                                 | 6 929  | 6 929  | 6 929  |
| E <sub>VZ</sub> = 6 · V                                                                       |                    |                    | (kWh/a)                    | 3 198                                 | 3 198  | 3 198  | 3 198  |
| E <sub>ZS</sub> = E <sub>gVO</sub> · A <sub>ok,p</sub> · c <sub>mp</sub> · c <sub>n</sub> · T |                    |                    | (kWh/a)                    | 4 124                                 | 3 666  | 3 055  | 3 055  |
| E <sub>V</sub> = E <sub>VP</sub> + E <sub>VV</sub>                                            |                    |                    | (kWh/a)                    | 73 504                                | 54 483 | 32 819 | 17 496 |
| E <sub>r</sub> = E <sub>V</sub> - 0,9 · E <sub>VZ</sub> - E <sub>ZS</sub>                     |                    |                    | (kWh/a)                    | 66 501                                | 47 938 | 26 886 | 11 563 |
| e <sub>V2</sub>                                                                               |                    |                    | (kWh/(m <sup>3</sup> · a)) | 124,77                                | 89,94  | 50,44  | 21,69  |

Na obr. 25 a 26 jsou zobrazeny závislosti měrné spotřeby tepla při vytápění, uvedené v tab. 118 až 123. V prvním případě se jedná o závislost měrné spotřeby tepla na průměrné hodnotě součinitele prostupu tepla obvodového pláště budovy, při poměrné velikosti plochy oken  $a = 0,12$  a bez tepelných zisků. Zároveň je v tomto obrázku uvedena také požadovaná hodnota měrné spotřeby tepla podle vyhlášky č. 291/2001 Sb., ( $e_v = 48 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{a})$ ). Z průsečíku této hodnoty a přímky  $e_v = f(U_m)$  je vidět, že budova je vyhovující z hledis-



Obr. 25 Závislost měrné spotřeby tepla  $e_v$  na průměrném součiniteli prostupu tepla  $U_m$  – bez zisků a při  $a = 0,12$  (řada 1); řada 2 – požadované hodnoty



Obr. 26 Závislost měrné spotřeby tepla  $e_v$  na průměrném součiniteli prostupu tepla  $U_m$  – se zisky a při  $a = 0,12$  (řada 1); řada 2 – požadované hodnoty

ka citované vyhlášky při průměrné hodnotě součinitele prostupu tepla obvodového pláště  $U_m \approx 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Na obr. 26 je znázorněn podobný průběh závislosti jako na obr. 25, avšak s tím rozdílem, že jsou uvažovány také tepelné zisky při stanovení tepelné bilance budovy. Z obr. 26 zjistíme, že budova je vyhovující z hlediska citované vyhlášky při průměrné hodnotě součinitele prostupu tepla obvodového pláště  $U_m \approx 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  – což znamená, že tepelné zisky umožňují realizovat konstrukce obvodového pláště dané budovy o průměrné hodnotě součinitele prostupu tepla o  $0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  větší než v případě bez tepelných zisků (tedy můžeme také říci, že tepelné zisky nahradí část tloušťky konstrukce, odpovídající hodnotě tepelného odporu, podílejícího se na hodnotě součinitele prostupu tepla  $0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ).

## 4.2 Technická zařízení a zařízení využívající obnovitelné a druhotné zdroje energie

### 4.2.1 Technická zařízení

Opaření spojená s vlastnostmi technických zařízení zajišťujících přívod energie do budovy popisují mj. vyhlášky č. 150/2001 Sb., č. 151/2001 Sb., č. 152/2001 Sb. [3.18, 3.19, 4.14]. V [3.18] se stanovuje minimální účinnost užití energie nově zřizovaných zařízení pro výrobu elektřiny, nebo tepelné energie nebo zařízení pro výrobu elektřiny nebo tepelné energie, u nichž se provádí změna dokončených staveb, s výjimkou zařízení pro výrobu tepelné energie s celkovým tepelným výkonem do 200 kW, kogeneračních jednotek s pístovými motory do celkového elektrického výkonu výroby 90 kW a kotlů využívajících teplo odpadních spalín z technologických procesů, a to i v případě, že jsou vybaveny přitápěním.

Účinnost užití energie při výrobě tepelné energie v kotlích v různých vazbách je probrána v poznámkách k tab. 100 v kap. 3.3.

U technických zařízení zajišťujících přívod energie do budovy má zásadní význam, z hlediska jejich vazby na tepelné technické vlastnosti konstrukcí a budov, regulace přívodu energie. Čím je regulace přívodu energie do budovy dokonalejší, tím větší lze očekávat úsporu energie. Na dokonalosti regulace závisí mj. také možnost využití tepelných zisků jednak ze slunečního záření pronikajícího do budovy, jednak tepelných zisků ze zdrojů tepla vznikajících v budově (vnitřní zisky).

Proto se v ČSN 73 0542, která obsahuje způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov, připomíná, že energetická bilance zjištěná podle této normy

platí za předpokladu, že vytápěcí soustava je regulována automaticky. Není-li tento předpoklad splněn, má výsledek výpočtu pouze informativní hodnotu.

V [1.4] se uvádí výsledky měření spotřeby tepla v budově, popsané v kap. 2.2 (15) mj. i po zavedení automatické regulace, takže mohl být vyčíslen podíl tepelných zisků ze slunečního záření pronikajícího do budovy na spotřebovaném teple. Postupovalo se přitom podle ČSN 73 0550 [4.15] a zkušebního postupu [4.16]. Podle těchto dokumentů se naměřené hodnoty rozdělí na hodnoty, které patří ke dnům s jasnou oblohou, a na hodnoty, které patří ke dnům se zataženou oblohou. Za jasný se považuje den s průměrnou oblačností menší než 20 % z celkové plochy oblohy. Při rozboru naměřených hodnot se zjistilo, že při vyhodnocování vlivu slunečního záření není výhodný denní měřicí interval naměřených hodnot tepelných ztrát, protože v tomto případě vykazují zjištěné hodnoty značný rozptyl. Bylo proto použito průměrných týdenních hodnot; pro porovnání byly vyhodnoceny také tepelné ztráty v měsíčním intervalu.

#### Poznámka:

V [4.17] je vyhodnocena spotřeba tepla při vytápění v měřicím intervalu trvajícím 1, 2, 3, 5 a 7 dní se závěrem, že nejtěsnější výsledky jsou získány při 5denním intervalu, přičemž za přijatelný se považuje i interval 7denní.

Přehled získaných výsledků je v *tab. 124*, kde  $Q$  (kW) je tepelná ztráta,  $\theta_{im}$  (°C) je průměrná vnitřní teplota v budově,  $r$  je koeficient korelace,  $r_\alpha$  je kritická hodnota koeficientu korelace. Výsledky se považují za vyhovující – viz [4.16], jestliže je splněna podmínka  $r \geq r_\alpha$  při uvažování 1 % hladiny významnosti (hodnota  $r_\alpha$  je závislá na počtu stupňů volnosti  $k = n - 2$ , kde  $n$  je počet naměřených hodnot; hodnoty  $r_\alpha$  lze najít např. v [1.4]).

*Tab. 124* Přehled výsledků změřené spotřeby tepla, stanovených v závislosti na různých měřicích intervalech

| Označení <sup>*)</sup> | $Q$ (kW) | $\theta_{im}$ (°C) | $r$   | $r_\alpha$ | Poznámka   |
|------------------------|----------|--------------------|-------|------------|------------|
| 1                      | 12,75    | 19,3               | 0,940 | 0,481      | Vyhovuje   |
| 2                      | 12,91    | 19,0               | 0,900 | 0,622      | Vyhovuje   |
| 3a                     | 11,70    | 19,3               | 0,917 | 0,622      | Vyhovuje   |
| 3b                     | 13,42    | 18,3               | 0,933 | 0,561      | Vyhovuje   |
| 4a                     | 11,63    | 21,4               | 0,890 | 0,683      | Vyhovuje   |
| 4b                     | 13,22    | 18,5               | 0,947 | 0,536      | Vyhovuje   |
| 5                      | 12,56    | 21,3               | 0,830 | 0,917      | Nevyhovuje |

<sup>\*)</sup> Vysvětlivky k označení v jednotlivých řádcích:

- průměrné týdenní tepelné ztráty ( $n = 34$ )
- průměrné měsíční tepelné ztráty ( $n = 16$ )
- průměrné týdenní tepelné ztráty ve dnech s výrazným slunečním svitem při uvažování 30 % maximálního možného slunečního svitu ( $n = 16$ )
- průměrné týdenní tepelné ztráty ve dnech s nevýrazným slunečním svitem ( $n = 18$  – což je doplněk k celkovému počtu 34 týdnů)
- průměrné týdenní tepelné ztráty ve dnech s výrazným slunečním svitem při uvažování 40 % maximálního možného slunečního svitu ( $n = 11$ )
- průměrné týdenní tepelné ztráty ve dnech s nevýrazným slunečním svitem ( $n = 23$  – což je doplněk k celkovému počtu 34 týdnů)
- průměrné týdenní tepelné ztráty ve dnech s výrazným slunečním svitem při současné nižší tepelné ztrátě ( $n = 5$ )

Z tab. 124 je vidět, že varianta 5 je nevyhovující. S výjimkou tohoto jediného případu jsou všechny ostatní varianty vyhovující a tedy přijatelné jako výsledek vyhodnocení vlivu slunečního záření proniklého do budovy na zmenšení spotřeby tepla při vytápění. Pro konečné vzájemné porovnání tepelných ztrát budovy stanovených z týdenních průměrů, při uvažování výrazného slunečního svitu a bez uvažování výrazného slunečního svitu, je nutno získané výsledky transformovat na průměrnou teplotu budovy, stanovenou z celého souboru naměřených hodnot v rozsahu 34 týdnů.

Přehled dosažených výsledků měření po transformaci na průměrnou teplotu budovy

$$\theta_{im} = 19,34 \text{ }^{\circ}\text{C je v tab. 125.}$$

Tab. 125 Transformace naměřených hodnot tepelných ztrát  $Q$  (kW) na průměrnou teplotu budovy  $\theta_{im} = 19,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $Q_T$  (kW)) transformovaná hodnota;  $\Delta Q$  (%) je zmenšení tepelných ztrát budovy v důsledku využití slunečního záření proniklého do budovy)

| Počet týdnů n | Sluneční svit <sup>*)</sup> | $Q$ (kW) | $\theta_{im}$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $Q_T$ (kW) | $\Delta Q$ (%) |
|---------------|-----------------------------|----------|--------------------------------------|------------|----------------|
| 34            | 0                           | 12,75    | 19,34                                | –          | –              |
| 16            | ☺                           | 11,70    | 21,05                                | 11,09      |                |
| 18            | 0                           | 13,42    | 18,29                                | 13,68      | 18,9           |
| 11            | ☺                           | 11,63    | 21,43                                | 10,90      |                |
| 23            | 0                           | 13,22    | 18,52                                | 13,56      | 19,6           |

<sup>\*)</sup> 0 značí bez slunečního svitu; ☺ značí se slunečním svitem

Z tab. 125 je zřejmé, že rozdíl v tepelných ztrátách v týdnech s výrazným slunečním svitem a bez výrazného slunečního svitu je zhruba 19 až 20 %. Výpočtem podle [3.1] bylo zjištěno zmenšení spotřeby tepla při vytápění, v důsledku využití slunečního záření, přibližně 17 % a podle [4.18] hodnota 18,4 %. Teoretické předpoklady jsou tedy o něco nižší, než bylo zjištěno experimentálně.

Regulace, spolu s tepelně technickými vlastnostmi konstrukcí a budov, tvoří základní předpoklad také pro realizaci tzv. „pasivních domů“, tj. domů s pasivním využitím energie. Pod pojmem „pasivní dům“ se rozumí dům, ve kterém se zajišťuje požadovaný tepelný stav vnitřního prostředí bez aktivních vytápěcích a klimatizačních zařízení – viz [4.19]. Pasivní dům je charakterizován následujícími požadavky:

- energetický ukazatel budovy  $E_H \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- všechny stavební konstrukce obvodového pláště budovy musí mít hodnotu součinitele prostupu tepla  $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- základním předpokladem pasivního domu je využití sluneční energie; z toho vyplývá, že větší zasklené plochy obvodového pláště budovy musí být orientovány na jih a nesmí být zastíněny
- součinitel prostupu tepla oken musí být  $U_o = 0,6 - 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , tj. zahrnující zasklení i rámy; celková propustnost slunečního záření zasklení musí být nejméně  $g = 0,5$
- dispozice budovy musí být kompaktní, obvodový plášť s minimalizovanými tepelnými mosty a ověřenou vzduchotěsností ( $n_{50} \leq 0,5 \text{ l/h}$ )
- budova musí mít regulovaný větrací systém se zpětným získáváním tepla z odváděného větracího vzduchu
- budova musí mít sluneční kolektory, popř. tepelné čerpadlo zajišťující doplňkové vytápění a ohřev teplé vody

- domácí spotřebiče (chladničky, mrazničky, pračky, osvětlovací zařízení apod.) musí mít vysokou účinnost z hlediska spotřeby elektrické energie.

Poněkud mírnější jsou požadavky na tzv. dům se spotřebou 3 litry. Rozumí se tím dům, spotřebující ekvivalentní množství 3 l topného oleje na  $1 \text{ m}^2 \cdot \text{a}$  rok. Při  $150 \text{ m}^2$  podlahové plochy to činí 450 l topného oleje za rok (1 l topného oleje představuje  $10 \text{ kWh} = 36 \text{ MJ}$ ).

Požadavky v tomto případě jsou:

- energetický ukazatel budovy  $E_H \leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- kompaktní budova
- omezení tepelných mostů
- zkouška vzduchotěsnosti obvodového pláště ( $n_{50} \leq 1/\text{h}$ )
- součinitel prostupu tepla oken  $U_o \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- regulované větrání místností se zpětným získáváním tepla
- součinitel prostupu tepla stěn a stropu  $U \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- zařízení pro využití slunečního záření
- kamna na dřevo (doplňkové vytápění)
- zkoušky a certifikát

#### 4.2.2 Obnovitelné zdroje tepla a jejich porovnání se standardními zdroji

Židlický, Šmída v [4.20] porovnávají různé zdroje tepla pro nízkoenergetický dům z hlediska nákladů na spotřebovanou energii. Vycházejí přitom z následujících údajů:

- tepelná ztráta budovy je  $10 \text{ kW}$  (při  $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ ,  $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ )
- roční potřeba tepla pro vytápění je  $25\,531 \text{ kWh/a}$
- potřeba tepla pro ohřev teplé vody  $200 \text{ l}$  je  $3\,821 \text{ kWh/a}$ .

Navrhovaným zdrojem tepla jsou kapalínové sluneční kolektory, které jsou doplněny alternativně tepelným čerpadlem nebo kotlem na pelety. Vytápěcí soustava je navržena jako nízko-teplotní s nuceným oběhem a podlahovým vytápěním, které má zároveň sloužit jako akumulací plocha v budově. Ohřev TV se předpokládá jako vícestupňový – v akumulací nádrži se bude studená voda předeheřivat solárním systémem, popř. tepelným čerpadlem. Dohřívána bude v elektroakumulacím zásobníku o objemu  $125 \text{ l}$ .

Tento navrhovaný zdroj je porovnán se zdroji uvedenými v tab. 122, spolu s náklady za spotřebovanou energii za rok a vynaložené na ně investice.

Tab. 126 Zdroje tepla, náklady za spotřebovanou energii  $N_E$  (Kč/a) a vynaložené na ně investice  $I$  (Kč) (včetně nákladů na projekt) [4.20]

| Číslo | Druh zdroje                                  | $N_E$ (Kč/a) | $I$ (Kč) <sup>*)</sup>                 |
|-------|----------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|
| 1     | Vytápění přímotopným elektrickým kotlem      | 40 495       | 68 300                                 |
| 2     | Vytápění kotlem na zemní plyn                | 37 320       | 89 800                                 |
| 3     | Vytápění kotlem na kapalný topný plyn-propan | 67 400       | 120 000                                |
| 4     | Vytápění kotlem na extra lehký topný olej    | 61 204       | 158 500                                |
| 5     | Vytápění kotlem na biomasu-pelety            | 40 951       | 206 780                                |
| 6     | Vytápění tepelným čerpadlem vzduch-voda      | 18 438       | 363 180<br>nebo 342 180 <sup>**)</sup> |

<sup>\*)</sup> Není zahrnuto DPH.

<sup>\*\*)</sup> První hodnota se vztahuje na tepelné čerpadlo a solární systém řešený klasickým systémem; druhá hodnota na řešení téhož, avšak stavebnicovým systémem.

Z tab. 126 je zřejmé, že varianta s tepelným čerpadlem a slunečními kolektory je v provozu nejúspornější v porovnání s ostatními variantami. Např. v porovnání s vytápěním přímotopným elektrickým kotlem je tato varianta úspornější o 54,5 %, tj. spotřeba tepla a náklady na ni jsou o 54,5 % v ročním průběhu menší, než náklady na vytápění přímotopným elektrickým kotlem. Naproti tomu však jsou náklady na její pořízení 5,3krát větší, než jsou náklady na vytápění přímotopným elektrickým kotlem. Je tedy zřejmé, že při aktuálním rozhodování o uplatnění této varianty zajišťování tepla v budově může být rozhodující vyhodnocení ekonomické efektivity přijatého řešení.

#### **Poznámka:**

Navrhováním solárních systémů, tepelných čerpadel, rekuperačních zařízení pro využití odpadního tepla, popř. odpadního tepla z odváděné teplé vody se zabývá v současné době značné množství prací – viz např. [4,21, 4,22, 4,23, 4,24].

### **4.2.3 Ohřev teplé vody**

Pokud jde o ohřev teplé vody, pak z hlediska zmenšení spotřeby tepla se mají uplatnit podmínky, uvedené ve vyhlášce č. 151/2001 Sb.:

- Tepelná síť (potrubí) se má izolovat, jestliže je teplota teplonosné látky vyšší než 40 °C.
- Tepelná izolace u vnitřních rozvodů s teplonosnou látkou do 110 °C se navrhuje tak, že její povrchová teplota je o méně než 20 K vyšší oproti teplotě okolí a u vnitřních rozvodů s teplonosnou látkou nad 110 °C o méně než 25 K oproti teplotě okolí, není-li projektové dokumentaci stanoveno jinak.
- Tepelná izolace se instaluje na všech vnitřních rozvodech, pokud nejsou určeny k vytápění nebo temperování okolního prostoru.
- Izolace armatur a přírub se provádí jako snímatelná. Nepožaduje se u armatur, kde by to ohrožovalo jejich funkci nebo podstatně ztěžovalo manipulaci s nimi, zejména u pojistných ventilů a odváděčů kondenzátu.
- Minimální tloušťka tepelné izolace armatur se volí stejná jako u potrubí téže jmenovité světlosti.
- Při výpočtu tepelných ztrát rozvodů se tepelné ztráty armaturami, uložením a kompenzátory násobí opravným součinitelem na délku potrubí
  - u bezkanálového uložení 1,15,
  - při vedení v kanálech 1,25,
  - u nadzemního nebo podzemního vedení 1,30.
- Pro tepelné izolace rozvodů se použije materiál o součiniteli tepelné vodivosti ne menším než 0,045 W/(m<sup>2</sup>K) a u vnitřních rozvodů ne menším než 0,04 W/(m<sup>2</sup>K).
- Tloušťka tepelné izolace u vnitřních rozvodů
  - u DN 20 se volí  $\geq 20$  mm
  - u DN (20 až 35) se volí  $\geq 30$  mm
  - u DN (40 až 100) se volí  $\geq$  DN
  - u DN nad 100 se volí  $\geq 100$  mm,
 přičemž u vnitřních rozvodů plastových a měděných potrubí se tloušťka tepelné izolace volí podle vnějšího průměru potrubí nejbližšího vnějšímu průměru potrubí řady DN.

### **4.3 Literatura**

- [4.1] ŘEHÁNEK, J.: Tepelná akumulace budov. IC ČKAIT, Praha, 2002
- [4.2] Fyzikální, technické a ekonomické limity zmenšování spotřeby tepla na vytápění budov. Výzkumná zpráva grantového projektu GAČR, č. 103/93/1010, CSI, a. s., Praha, 1994

- [4.3] MRLÍK, F.: Okenní konstrukce a dveře s ohledem na spotřebu tepla při vytápění. In: Symposium o otvorových výplních ve stavebnictví. Brno, DT ČSVTS, 1979
- [4.4] CEN TC 89 Building components – Thermal transmittance – Tabulated design values for windows and multiple glazing
- [4.5] Warmglas mit Xenon. Prospekt fy INTERPANE
- [4.6] ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
- [4.7] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 245/1995 Sb. a č. 85/1998 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé užitkové vody, včetně rozúčtování nákladů na budovy a mezi konečné spotřebitele
- [4.8] ČSN 38 3350 Zásobování teplem. Všeobecné zásady
- [4.9] ŘEHÁNEK, J.: Vyhláška o vytápění a její vliv na počet denostupňů. Topenářství – instalace 1/97
- [4.10] STERNOVÁ, Z.: Zatepľovanie budov. Tepelná ochrana. Vydavateľstvo Jaga group, v. o. s., Bratislava 1999
- [4.11] ŠÁLA, J.: Tepelná ochrana budov v praxi. GRADA, Praha, 2004
- [4.12] ŠAFRÁNEK, J.: Sklo z hlediska tepelně izolačních vlastností. Tepelná ochrana budov 2/2001
- [4.13] Minimalizace energetické náročnosti při užívání staveb. Závěrečná zpráva o řešení projektu MPO ČR. CSI, a. s. Praha, 1999
- [4.14] Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu ČR č. 152/2001 Sb., kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávky teplé užitkové vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům
- [4.15] ČSN 73 0550 Stanovení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí a budov. Měření a kontrola tepelných ztrát budov
- [4.16] Zkušební postup P 01 – 0008 Měření parametrů tepelného stavu vnitřního prostředí, tepelné ztráty a spotřeby tepla na vytápění budov. CSI, a. s. Praha
- [4.17] STERNOVÁ, Z. – BENDŽALOVÁ, J.: Spotreba energie v budovách a jej hodnotenie podľa STN 73 0550. Tepelná ochrana budov 4/2001
- [4.18] Wärmeschutz Verordnung über einem energie-sparenden Wärmeschutz. 1992
- [4.19] FEIST, W.: Gestaltungsgrundlagen Passivhäusern. Verlag das Beispiel, Darmstadt 2000 (nebo viz také – <http://www.passivhaus.de/>)
- [4.20] ŽIDLICKÝ, J. – ŠMÍDA, I.: Návrh zdroje tepla včetně montáže jako stavebnice v nízkoenergetickém domě. In: Sborník z odborného semináře „Současnost a budoucnost využívání sluneční energie nejen v domech pro bydlení“. Palác Kodaňská, 31. 10. 2002 Praha
- [4.21] DUFFIE, J. A. – BECKMAN, W. A.: Solar energy thermal processes. John Wiley and Sons. New York – London – Sydney – Toronto, 1974 (ruský překlad: Izd. Mir, Moskva, 1977)
- [4.22] HALAHYJA, M. – VALÁŠEK, J. a kolektiv: Solárna energia a jej využitie. Alfa, Bratislava, 1983
- [4.23] CIHELKA, J.: Solární tepelná technika. Nakl. T. Malina, Praha, 1994
- [4.24] DVOŘÁK, J.: Ekonomické využití odpadního tepla při větrání, klimatizaci a vytápění. VVI 1/2004



## 5. Environmentálně energetické vazby

Energii, kterou lidé potřebují k životu a k chodu ekonomiky, získávají zatím v převážné míře spalováním fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Paliva obsahují vesměs uhlík, pohlcený rostlinami před stovkami milionů let. Uhlík se vrací do atmosféry – jak se uvádí v [5.1] – prostřednictvím továrních komínů a automobilových výfuků. K tomu se připojují emise, vznikající při vypalování lesů a destrukci deštých pralesů. V rámci těchto emisí zaujímá přední postavení v řadě plynů, vyprodukovaných lidskou činností, oxid uhličitý.

Oxid uhličitý, spolu s dalšími plyny jako jsou chlorofluorované uhlovodíky a příbuzné látky, metan a oxid dusný tvoří tzv. skleníkové plyny<sup>1)</sup>, jejichž neustálý růst představuje nebezpečí oteplování Země, které se, podle [5.1] ohlašují takovými příznaky, jako jsou tající ledovce, časnější příchod jara a nepřetržitý růst průměrné globální teploty. Svět jako celek se oteplil od roku 1900 přibližně o 0,6 °C, některé oblasti Aljašky až o tři stupně. V [5.2] se uvádějí nejběžnější skleníkové plyny, jejich zdroje, roční přírůstek a podíl na zemském oteplování – viz *tab. 127*.

Podle [5.1] by mohl být problém s oteplováním Země ještě horší než je výše uvedeno. Lidstvo každoročně vychrlí do atmosféry zhruba 8 miliard tun uhlíku – 6,5 miliardy tun z fosilních paliv a 1,5 miliardy z odlesňování. Avšak méně než polovina z tohoto množství, 3,2 miliardy tun, zůstává v atmosféře, aby zahřálo planetu. Kam se poděl chybějící uhlík? Lesy, zatrávněné oblasti a vody oceánů, to vše musí působit jako jakési rezervoáry, které odebírají zpátky zhruba polovinu námi vyprodukovaného CO<sub>2</sub>. Tím zpomalují jeho hromadění v atmosféře a odsouvají do budoucna příslušné účinky na klima. Pokud uhlíkové rezervoáry přestanou pohlcovat část tohoto přebytečného CO<sub>2</sub>, došlo by, podle [5.1], k drastickým změnám v klimatu dokonce již před rokem 2050. Taková katastrofa by začala až příliš rychle na to, abychom se jí mohli vyhnout. Pokud však uhlíkové zásobárny vydrží, nebo dokonce se rozrostou, poskytlo by nám to několik dalších desetiletí, během nichž bychom mohli globální ekonomiku pozvolna odstavit od energetických zdrojů produkujících uhlíkové emise.

<sup>1)</sup> Název „skleníkové plyny“ vznikl z následující zkušenosti: proudí-li do nějakého prostoru uzavřeného zasklenou plochou sluneční záření (uzavřený prostor se nazývá skleník), zaznamenaná se ve skleníku růst teploty – skleník je v důsledku pronikajícího slunečního záření vyhříván. Situace je projevem fyzikální zákonitosti, kterou lze zjednodušeně charakterizovat takto: jakékoliv těleso vyzařuje energii; čím je teplota tělesa vyšší, tím snadněji jeho záření proniká některými materiály a látkami – tedy např. i sklem. Slunce má povrchovou teplotu přibližně 6 000 °C. Po proniknutí slunečního záření sklem skleníku na plochy ve skleníku je záření plochami pohlcováno a mění se v teplo. Plochy ve skleníku mají, proti povrchové teplotě Slunce, podstatně nižší povrchovou teplotu (např. 20 °C) a v důsledku toho energie, kterou vyzařují, nemá dostatečnou „sílu“ proniknout sklem do vnějšího prostředí (mimo skleník) – teplo je tedy ve skleníku „uzavřeno“ – což má za následek růst teploty ve skleníku, jak to bylo uvedeno výše.

Podobný proces se uskutečňuje i při dopadu slunečního záření pronikajícího zemskou atmosférou na zemský povrch, což vede k jeho zahřívání (zemská atmosféra má v tomto případě funkci skla u skleníku). Zemský povrch vyzařuje rovněž energii, čímž se ochlazuje, avšak část této energie je pohlcena zemskou atmosférou. Množství pohlcené energie je tím větší, čím větší množství skleníkových plynů zemská atmosféra obsahuje. A čím větší množství energie zemská atmosféra pohltí, tím méně se zemský povrch ochlazuje – tedy naopak, tím více se ohřívá (tím více se otepluje).



Tab. 127 Nejběžnější skleníkové plyny, jejich zdroje, roční přírůstek a podíl na zemském oteplování [5.2]

| Plyn <sup>*)</sup>                           | Hlavní zdroje                                                  | Současný roční přírůstek a koncentrace                     | Podíl na zemském oteplování (%) |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )             | Spalování fosilních paliv (77 %), odlesňování (23%)            | 0,5 % (353 ppm) <sup>**) </sup>                            | 55                              |
| Chlorofluorované uhlovodíky a příbuzné látky | Různé průmyslové zdroje, chladicí zdroje, rozpouštědla         | 4 % (280 ppt <sup>**) </sup> freonu 11, 484 ppt freonu 12) | 24                              |
| Metan (CH <sub>4</sub> )                     | Rýžová pole, trávicí pochody, únik zemního plynu               | 0,9 % (1,72 ppm)                                           | 15                              |
| Oxid dusný (N <sub>2</sub> O)                | Spalování biomasy, používání hnojiv, spalování fosilních paliv | 0,8 % (310 ppb) <sup>**) </sup>                            | 6                               |

<sup>\*)</sup> Troposférický ozon je dalším skleníkovým plynem, jehož příspěvek je velmi obtížné kvantifikovat. Ozon vzniká v troposféře pod vlivem slunečního záření následkem chemických interakcí mezi uhlovodíky a oxidy dusíku.

<sup>\*\*)</sup>  ppm = jeden objemový díl z miliónu dílů; ppb = jeden objemový díl z miliardy dílů; ppt = jeden objemový díl z biliónu dílů

## 5.1 Škodliviny vznikající při spalování paliv

Jak je známo, zajišťování požadovaného tepelného stavu vnitřního prostředí v budovách vyžaduje dodávat do budov tepelnou energii; toto množství energie zaujímá podstatnou část spotřebovávané energie z jejího celkového množství v národních ekonomikách.

Potřebné množství energie se opatřuje převážně spalováním paliv. Jde přitom o přeměnu chemické energie, obsažené v palivu, v energii tepelnou oxidací (okysličováním), nejčastěji atmosférickým kyslíkem (kyslíkem obsaženým ve vzduchu).

Při spalování fosilních paliv, ale i dřeva a biomasy, vznikají tyto hlavní znečišťující látky:

- oxid uhelnatý – CO
- oxid siřičitý – SO<sub>2</sub>
- oxidy dusíku – NO<sub>x</sub> (součet NO + NO<sub>2</sub>, vyjádřený jako NO<sub>2</sub>)
- tuhé znečišťující látky (TZL) – tuhé částice ve spalínách
- organické látky (OL), vyjádřené jako celkový organický uhlík (TOC)

Znečišťující látky jsou svým původem vzniku součástí paliva nebo okysličovadla a ve výše uvedené formě se do ovzduší dostávají v důsledku uvolněního tepla, obsaženého v palivu spalovacím procesem.

Znečišťující látky v koncentrované podobě, tak jak vystupují ze zdroje znečišťování (u kotelny z komína), se označují jako **emise**; jejich maximální povolená koncentrace je omezena podle zákona o ovzduší a navazujícími předpisy; tzv. emisními limity.

Znečišťující látky, rozptýlené v ovzduší se v tzv. přízemní vrstvě, tj. tam, kde jsou obsahem ovzduší, které dýcháme, označují jako **imise**; nejvyšší dovolené koncentrace těchto látek jsou rovněž omezeny příslušnými předpisy ve formě imisních limitů.

Předpisy vycházejí ze zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a navazujících právních prováděcích předpisů (nařízení vlády a vyhlášky MŽP) č. 350/2002 Sb., až č. 358/2002 Sb.

Stacionárních spalovacích zdrojů znečišťování se bezprostředně dotýkají nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, a vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb., která mj. uvádí seznam znečišťujících látek, požadavky na vedení provozní evidence, metody zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek aj. Imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší jsou uvedeny v nařízení vlády č. 350/2002 Sb. [5.3 až 5.13].

Mezi povinnosti právnických a fyzických osob podle zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší patří, že ve zdrojích znečišťování ovzduší je zakázáno spalování látek, které nejsou palivy určenými výrobcí zařízení ke spalování.

### Kategorie spalovacích zdrojů

Podle míry vlivu na kvalitu ovzduší se stacionární zdroje znečišťování dělí na zvlášť velké, velké, střední a malé. Z technologického hlediska jsou nejpočetnější skupinou spalovací zdroje, v nichž se paliva oxidují za účelem využití uvolněného tepla (např. kotle).

Spalovací zdroje se podle tepelného příkonu nebo výkonu dělí do kategorií:

1. Zvlášť velké spalovací zdroje (ZV), kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém příkonu 50 MW vyšším, bez přihlédnutí ke jmenovitému výkonu.
2. Velké spalovací zdroje (V), kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém příkonu 5 MW do 50 MW, vyšším, nespádající do kategorie a).
3. Střední spalovací zdroje (S), kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitém výkonu od 0,2 MW do 5 MW včetně.
4. Malé spalovací zdroje (M), kterými jsou spalovací zdroje o jmenovitému výkonu menším než 0,2 MW.

Zásadní důležitost má pravidlo uvedené v § 4 čl. 6 zákona č. 86/2002 Sb., které stanoví, že pro účely stanovení kategorie zdroje nebo emisních limitů se jmenovité tepelné příkony nebo výkony pro zdroje kategorií ZV, V a S téhož provozovatele sčítají, jestliže:

- jsou zdroje umístěny ve stejné místnosti, stavbě nebo v pracovním celku,
- spaliny jsou vypouštěny společným komínem bez ohledu na počet průduchů, nebo by s ohledem na uspořádání a druh používaného paliva mohly být vypouštěny společným komínem.

Obdobné pravidlo platí podle § 4 čl. 7 i pro malé spalovací zdroje, kde se pro účely stanovení kategorie zdroje sčítají tepelné výkony malých spalovacích zdrojů téhož provozovatele za předpokladu, že spaliny jsou nebo mohly by být vypouštěny společným komínem.

### Emisní limity obecné a specifické

Jak již bylo uvedeno, přípustnou úroveň znečišťování ovzduší určují v právních předpisech emisní limity. Tzv. obecné emisní limity jsou určeny pro jednotlivé znečišťující látky nebo jejich skupiny u těch zdrojů, které nejsou zařazeny mezi tzv. jmenovitě určené (vybrané) technologie a jsou dány zpravidla hodnotami hmotnostních koncentrací, kombinovaných s limitními hodnotami hmotnostních toků.

Stacionární spalovací zdroje patří mezi jmenovitě určené technologie, pro které jsou stanoveny tzv. specifické emisní limity. Zákon o ochraně ovzduší nově zavádí pojmy „emisní stropy“

a „redukční cíle“, které mohou být stanoveny pro vybrané znečišťující látky nebo skupiny látek pro vybraná území, pro skupiny nebo jednotlivé stacionární zdroje a lhůty pro jejich dosažení podle národního programu snižování emisí znečišťujících látek za účelem dosažení přípustné úrovně znečištění. Tato omezení souvisejí s ochranou klimatického systému Země a týkají se SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC (těžké organické látky) a NH<sub>3</sub>.

### Poplatky za znečišťování

Provozovatelé ZV, V, S i malých stacionárních zdrojů platí poplatky za znečišťování. Poplatky menší než 500 Kč se nevyměňují.

Roční výše poplatků pro malý stacionární zdroj vyměří orgány obce pevnou částkou v rozmezí uvedeném v *tab. 128*, a to úměrně k velikosti zdroje a době jeho provozu v poplatkovém období, popř. podle druhu a spotřeby paliva.

*Tab. 128* Roční výše poplatků pro malý stacionární zdroj

| Palivo                                                                     | Rozmezí sazeb (Kč/rok)     |                   |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------|
|                                                                            | nad 50 do 100 kW<br>včetně | nad 100 do 200 kW |
| Jmenovitý tepelný výkon                                                    |                            |                   |
| Topné oleje s obsahem síry od 0,1 do 0,2 %                                 | 1 000 až 1 500             | 1 500 až 2 000    |
| Topné oleje s obsahem síry do 1 %                                          | 1 500 až 2 500             | 2 500 až 3 000    |
| Jiná kapalná paliva a látky, pokud tento zákon jejich spalování nezakazuje | 6 000 až 8 000             | 8 000 až 12 000   |
| Černé uhlí                                                                 | 1 500 až 2 000             | 2 000 až 3 000    |
| Hnědé uhlí tříděné, palivo z hnědého uhlí                                  | 2 500 až 4 000             | 4 000 až 5 000    |
| Hnědé uhlí energetické, lignit                                             | 4 000 až 6 000             | 6 000 až 10 000   |
| Uhelné kaly, proplástky                                                    | 10 000 až 20 000           | 20 000 až 40 000  |

Poplatky za ZV, V a S stacionární zdroje se platí za znečišťující látky nebo stanovené skupiny látek, pro které má zdroj stanoven emisní limit. Sazby pro tzv. hlavní zpoplatněné látky jsou v *tab. 129*.

*Tab. 129* Sazby pro hlavní zpoplatněné látky

| Znečišťující látka             | Sazba (Kč/t) | Znečišťující látka                 | Sazba (Kč/t) |
|--------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| Tuhé znečišťující látky        | 3 000        | Oxid uhelnatý                      | 600          |
| Oxid siřičitý                  | 1 000        | Amoniak                            | 1 000        |
| Oxidy dusíku                   | 800          | Metan                              | 1 000        |
| Těžké organické látky          | 2 000        | Polycyklické aromatické uhlovodíky | 20 000       |
| Těžké kovy a jejich sloučeniny | 20 000       |                                    |              |

### Emisní limity pro spalovací zdroje

Z hlediska omezování emisí je u spalovacích zdrojů nejdůležitějším právním předpisem nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů.

Emisní limity pro ZV spalovací zdroje jsou v závislosti na jmenovitém tepelném příkonu stanoveny pro SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>), TZL a CO.

Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje jsou stanoveny pro SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, organické látky (u spalování dřeva a biomasy) a TZL v závislosti na druhu paliva a jmenovitém tepelném výkonu. Emisní limity jako hmotnostní koncentrace znečišťující látky jsou stanoveny pro určité vztažné (referenční) podmínky nosného plynu. U spalovacích zdrojů se jedná o suchý plyn za normálních podmínek (10,325 kPa, 0 °C) a referenční objemový obsah kyslíku ve spalínách  $\omega_{O_2}^R$  (%). V tab. 130 až 134 jsou emisní limity uvedeny podle druhu paliva.

Tab. 130 Tuhá paliva – spalovací zařízení s granulačním, výtavným a roštovým ohništěm

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                 | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                 |                                            |     |                               |                                           |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                       | TZL                               | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO  | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $P_t \geq 0,2$                                        | –                                 | –               | 650                                        | –   | nestanoven                    | 6                                         |
|                                                       | –                                 | –               | 1 100 <sup>1)</sup>                        | –   | nestanoven                    | 6                                         |
| $0,2 \leq P_t \leq 1$                                 | –                                 | –               | –                                          | 650 | nestanoven                    | 6                                         |
| $1 < P_t \leq 5$                                      | –                                 | –               | –                                          | 650 | nestanoven                    | 6                                         |
| $0,2 \leq P_t \leq 5$                                 | 250                               | –               | –                                          | –   | nestanoven                    | 6                                         |
| $P_t > 0,2$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | –                                 | 2 500           | –                                          | –   | nestanoven                    | 6                                         |
| $P_t > 5$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon > 50 MW   | 150                               | –               | –                                          | 400 | nestanoven                    | 6                                         |

<sup>1)</sup> pro výtavná ohniště

Tab. 131 Spalovací zařízení spalující dřevo<sup>1)</sup> nebo biomasu

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                    | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                 |                                            |     |                               |                                           |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                          | TZL                               | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO  | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $P_t \geq 0,2$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | 250                               | 2 500           | 650                                        | 650 | 50 <sup>2)</sup>              | 11                                        |

<sup>1)</sup> rovněž tak nekontaminovaný dřevní odpad, kůra a podobné rostlinné látky

<sup>2)</sup> emisní limit platí pro tepelný výkon  $P_t > 1$  MW.

Tab. 132 Spalovací zařízení spalující kapalná paliva

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                 | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                 |                                            |     |                               |                                           |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                       | TZL                               | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO  | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $P_t > 0,2$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | –                                 | –               | –                                          | 175 | nestanoven                    | 3                                         |

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                  | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                 |                                            |    |                               |                                           |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                        | TZL                               | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $0,2 \leq P_t \leq 50$ MW                              | –                                 | <sup>1)</sup>   | 500                                        | –  | nestanoven                    | 3                                         |
| $P_t \geq 5$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | 100                               | –               | –                                          | –  | nestanoven                    | 3                                         |
| $P_t > 5$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW    | –                                 | –               | 450                                        | –  | nestanoven                    | 3                                         |
| $P_t > 5$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW    | –                                 | 1 700           | 450                                        | –  | nestanoven                    | 3                                         |

<sup>1)</sup> obsah síry v palivu maximálně 1 % hmotnostní

Tab. 133 Spalovací zařízení spalující plynná paliva

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                    | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                                        |                                            |     |                               |                                           |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                          | TZL                               | SO <sub>2</sub>                        | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO  | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $P_t \geq 0,2$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | 50 <sup>1)</sup>                  | 352 <sup>1)</sup><br>900 <sup>3)</sup> | 200<br>300 <sup>4)</sup>                   | 250 | nestanoven                    | 3                                         |

<sup>1)</sup> pro plynná paliva z neveřejných distribučních sítí (vyčištěný koksárenský nebo vysokopecní plyn, bioplyn, propan či butan nebo jejich směs, plyn z rafinérií)

<sup>2)</sup> pro plynná paliva z veřejných distribučních sítí

<sup>3)</sup> pro plynná paliva mimo paliva z veřejných distribučních sítí a koksárenský plyn

<sup>4)</sup> při spalování propanu či butanu nebo jejich směsí

Tab. 134 Fluidní kotle spalující fosilní paliva

| Jmenovitý tepelný výkon<br>$P_t$ (MW)                  | Emisní limit (mg/m <sup>3</sup> ) |                           |                                            |     |                               |                                           |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                        | TZL                               | SO <sub>2</sub>           | NO <sub>x</sub><br>jako<br>NO <sub>2</sub> | CO  | Organické látky<br>jako<br>ΣC | Referenční<br>obsah O <sub>2</sub><br>(%) |
| $P_t \geq 5$ ; ale jmenovitý<br>tepelný příkon < 50 MW | 100                               | 800<br>75 % <sup>1)</sup> | 400                                        | 250 | nestanoven                    | 6                                         |
| $P_t < 50$ MW <sup>2)</sup>                            | –                                 | –                         | –                                          | 500 | nestanoven                    | 6                                         |

<sup>1)</sup> nelze-li při spalování tuzemského paliva dosáhnout emisního limitu při únosném přidavku aditiva, musí být koncentrace snížena aspoň na 25 % původní hodnoty

<sup>2)</sup> emisní limity fluidních kotlů se jmenovitým tepelným výkonem nižším než 5 MW jsou stejné jako emisní limity klasických kotlů v závislosti na druhu spalovaného paliva

### Účinnost spalování

Každý zdroj musí spalovat palivo s účinností vyšší nebo rovnou než jsou hodnoty uvedené v tab. 135 a 136.

Tab. 135 Limitní účinnost spalování (%) pro spotřebiče spalující kapalná a plynná paliva

| Jmenovitý tepelný výkon (kW) | Datum uvedení spotřebiče do provozu |                 |               |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|
|                              | do 31. 12. 1982                     | do 31. 12. 1985 | od 1. 1. 1990 |
| 15 až 20                     | 85                                  | 86              | 88            |
| 20 až 50                     | 86                                  | 87              | 89            |
| > 50                         | 87                                  | 88              | 90            |

Tab. 136 Limitní účinnost spalování (%) pro spotřebiče spalující tuhá paliva

| Jmenovitý tepelný výkon (kW) | Datum uvedení spotřebiče do provozu |                 |               |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|
|                              | do 31. 12. 1982                     | do 31. 12. 1985 | od 1. 1. 1990 |
| 15 až 20                     | 68                                  | 69              | 70            |
| 20 až 50                     | 70                                  | 71              | 72            |
| > 50                         | 72                                  | 73              | 74            |

## 5.2 Přibližné stanovení emisí a některých znečišťujících látek výpočtem

Emise u zvláště velkých, velkých a středních zdrojů se podle zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, stanovují především měřením. V některých případech je možné stanovit je přibližně výpočtem; používají se přitom tzv. emisní faktory.

Emisní faktor je střední měrná výrobní emise dané znečišťující látky typická pro určitou skupinu zdrojů a představuje poměr hmotnosti do ovzduší přecházející znečišťující látky ke vztažné veličině, kterou u spalovacích zdrojů je hmotnost paliva u tuhých kapalných paliv, nebo objem paliva u plynných paliv. Emisní faktory se stanoví buď měřením na zdrojích daného typu, nebo výpočtem v případech, kde lze aplikovat tzv. bilanční metodu. Typickým případem aplikace bilanční metody je stanovení emisních faktorů TZL a SO<sub>2</sub> při spalování tuhých paliv, kde výchozí veličinou je obsah popela, popř. obsah síry v původním palivu.

### Emisní faktory spalovacích zdrojů

Hodnoty emisních faktorů u spalovacích zdrojů jsou podle druhu paliva a druhu topeniště uvedeny v příloze č. 5 nařízení vlády č. 352/2002 Sb., a zde jsou uvedeny v tab. 137 až 139.

Tab. 137 Emisní faktory při spalování tuhých paliv

| Druh paliva                                | Druh topeniště | Tepelný výkon kotle | Emisní faktor (kg/t spáleného paliva) |                  |                 |      |      |
|--------------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|------|------|
|                                            |                |                     | TZL                                   | SO <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub> | CO   | OL   |
| Všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks | pevný rošt     | jakýkoliv           | $1,0 \cdot A_p$                       | $19,0 \cdot S_p$ | 3,0             | 45,0 | 8,90 |
| Černé uhlí a koks                          |                | jakýkoliv           | $1,0 \cdot A_p$                       | $19,0 \cdot S_p$ | 1,50            | 45,0 | 8,90 |
| Hnědé uhlí, proplástek, lignit, brikety    | pásový rošt    | ≤ 3 MW              | $1,9 \cdot A_p$                       | $19,0 \cdot S_p$ | 3,0             | 5,00 | 1,29 |
|                                            |                | > 3 MW              | $1,9 \cdot A_p$                       | $19,0 \cdot S_p$ | 3,00            | 1,0  | 0,43 |

| Druh paliva                                     | Druh topeniště            | Tepelný výkon kotle | Emisní faktor (kg/t spáleného paliva) |                       |                 |     |      |
|-------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----|------|
|                                                 |                           |                     | TZL                                   | SO <sub>2</sub>       | NO <sub>x</sub> | CO  | OL   |
| Černé uhlí tříděné a prachové, jiná tuhá paliva | pásový rošt               | ≤ 3 MW              | 1,7 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 3,0             | 5,0 | 1,29 |
|                                                 |                           | > 3 MW              | 1,7 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 7,50            | 1,0 | 0,43 |
| Všechna tuhá paliva mimo černé uhlí a koks      | pásový rošt s pohazovačem | jakýkoliv           | 5,0 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 3,0             | 1,0 | 0,40 |
|                                                 | pohyblivý rošt            |                     | 3,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 3,0             | 1,0 | 0,40 |
|                                                 | granulační                |                     | 8,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 6,0             | 0,5 | 0,14 |
|                                                 | výtavné                   |                     | 5,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 15,0            | 0,5 | 0,14 |
|                                                 | cyklonové                 |                     | 1,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 27,0            | 1,0 | 0,40 |
| Černé uhlí a koks                               | pásový rošt s pohazovačem | jakýkoliv           | 5,0 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 7,5             | 1,0 | 0,42 |
|                                                 | pohyblivý rošt            |                     | 3,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 7,5             | 1,0 | 0,40 |
|                                                 | granulační                |                     | 8,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 9,0             | 0,5 | 0,14 |
|                                                 | tavicí                    |                     | 5,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 15,0            | 0,5 | 0,14 |
|                                                 | cyklonové                 |                     | 1,5 · A <sub>p</sub>                  | 19,0 · S <sub>p</sub> | 27,5            | 0,5 | 0,40 |
| Dřevo                                           | jakékoliv                 | ≤ 3 MW              | 12,5                                  | 1,0                   | 3,0             | 1,0 | 0,89 |
|                                                 |                           | > 3 MW              | 15,0                                  | 1,5                   | 3,0             | 1,0 | 0,89 |

Význam značek: A<sub>p</sub> a S<sub>p</sub> značí obsah popela a síry v původním palivu (%); OL značí organické látky (jako ΣC)

Tab. 138 Emisní faktory při spalování kapalných paliv

| Druh paliva                | Druh topeniště | Tepelný výkon kotle | Emisní faktor (kg/t spáleného paliva) |                  |                 |      |      |
|----------------------------|----------------|---------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|------|------|
|                            |                |                     | TZL                                   | SO <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub> | CO   | OL   |
| Těžký a střední topný olej | jakékoliv      | ≤ 100MW             | 2,91                                  | 20,0 · S         | 10,0            | 0,53 | 0,29 |
|                            |                | > 100 MW            | 1,06                                  | 20,0 · S         | 13,4            | 0,42 | 0,20 |
| Lehký topný olej           | jakékoliv      | jakýkoliv           | 2,13                                  | 20,0 · S         | 10,0            | 0,59 | 0,34 |
| Nafta a podobná paliva     | jakékoliv      | jakýkoliv           | 1,42                                  | 20,0 · S         | 5,0             | 0,71 | 0,34 |
| Propan a butan             | jakékoliv      | ≤ 3 MW              | 0,45                                  | 0,02 · S (0,004) | 2,4             | 0,46 | 0,09 |
|                            |                | > 3 MW              | 0,42                                  | 0,02 · S (0,004) | 2,8             | 0,37 | 0,04 |

Význam značek: S značí obsah síry v původním vzorku palivu (g/kg) u propan-butanu a v (% hmotnostních) u ostatních kapalných paliv; pokud není znám obsah síry S, používají se hodnoty v závorkách; OL značí organické látky (jako (C))

Tab. 139 Emisní faktory při spalování plyných paliv (výběr)

| Druh paliva | Druh topeniště | Tepelný výkon kotle         | Emisní faktor (kg/t spáleného paliva) |                  |                 |     |    |
|-------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|-----|----|
|             |                |                             | TZL                                   | SO <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub> | CO  | OL |
| Zemní plyn  | jakékoliv      | ≤ 0,2 MW                    | 20                                    | 2,0 · S<br>(9,6) | 1 600           | 320 | 64 |
|             |                | > 0,2 MW až do 5 MW včetně  | 20                                    | 2,0 · S<br>(9,6) | 1 920           | 320 | 64 |
|             |                | > 5 MW až do 50 MW včetně   | 20                                    | 2,0 · S<br>(9,6) | 3 300           | 270 | 24 |
|             |                | > 50 MW až do 100 MW včetně | 20                                    | 2,0 · S<br>(9,6) | 4 200           | 270 | 24 |
|             |                | > 100 MW                    | 20                                    | 2,0 · S<br>(9,6) | 5 000           | 270 | 8  |

Význam značek: S značí obsah síry v původním vzorku palivu (mg/m<sup>3</sup>); pokud není znám obsah síry S, používají se hodnoty v závorkách; OL značí organické látky jako (C)

Při hodnocení budov z hlediska spotřeby tepla při vytápění a ohřevu teplé vody, nebo při jejich měření, zjišťujeme spotřebované teplo. Aby bylo možno využít uvedených emisních faktorů ke stanovení emise znečišťujících látek, musí se převést spotřebované teplo na primární palivo. K tomu je potřebná znalost účinnosti spalovacího procesu a výhřevnosti použitého paliva.

Účinnost energetického zdroje je definována velmi jednoduše  $\eta$  [5.14,5.15]

$$\eta = \frac{Q_{\text{užitečné}}}{Q_{\text{přivedené v palivu}}} \quad (5.1)$$

kde přivedené teplo v palivu je vztaženo na výhřevnost paliva  $Q_N$  (MJ/kg). Výhřevnost paliva však není celé teplo obsažené v palivu. To se rovná tzv. spalnému teplu  $Q_H$  (MJ/kg). Rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností je teplo, které se získá kondenzací vodní páry obsažené ve spalínách. Mezi spalným teplem a výhřevností platí vztah:

$$Q_N = Q_H - 24,53 (W + 9 H) \quad (5.2)$$

kde  $W$  a  $H$  jsou hmotnostní podíly vody a vodíku v palivu.

Spalné teplo se zjišťuje v kalorimetrech. Ze zjištěné hodnoty spalného tepla lze pak stanovit výhřevnost odečtením výparného tepla vody (výparné teplo vody je 2,154 MJ/kg).

#### Poznámka:

Spalné teplo se dříve označovalo jako výhřevnost horní (hrubá)  $V_h$ , výhřevnost „vlastní“ pak jako výhřevnost čistá (dolní)  $V_d$  (5.16)

#### Příklad:

Má se stanovit výhřevnost černého uhlí, u něhož bylo zjištěno spalné teplo 28,492 MJ/kg; při obsahu 4 % vody a 5 % vodíku (procenta jsou hmotnostní).



Výpočet výhřevnosti: protože 1 kg vodíku dává 9 kg vody, pak při spalování 1 kg uhlí vzniká množství vody  $W = 0,04 + 9 \cdot 0,05 = 0,49$  kg, takže výhřevnost je

$$Q_N = 28,492 - 2,154 \cdot 0,49 = 27,437 \text{ MJ/kg}$$

Spalné teplo a výhřevnost lze stanovit na základě chemického složení paliva – existuje k tomu řada různých vzorců – velmi jednoduché jsou např. v [5.16]:

$$Q_N = 81 \cdot C + 290 \cdot (H - O/8) + 25 \cdot S - 6 \cdot W \quad (5.3)$$

kde  $C$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $S$  a  $W$  značí obsah uhlíku, vodíku, kyslíku, síry a vody v hmotnostních procentech.

Příklad:

Má se stanovit výhřevnost a spalné teplo černého uhlí, jehož složení je: 72,03 %  $C$ , 4,94 %  $H$ , 8,8 %  $O$ , 0,96 %  $S$  a 4,32 % hygroskopické vlhkosti. Podle vzorce (5.4) je

$$Q_N = 81 \cdot 72,03 + 290 (4,94 - 8,8/8) + 25 \cdot 0,96 - 6 \cdot 4,32 = 28,970 \text{ MJ/kg}$$

Spalné teplo je vyšší o výparné teplo vody, obsažené v uhlí a vzniklé v průběhu spalování, tj.

$$W = 0,0432 + 9 \cdot 0,0494 = 0,4878 \text{ kg}$$

Výparné teplo tohoto množství vody je

$$\ell_{23} = 2,154 \cdot 0,4878 = 1,057 \text{ MJ/kg}$$

a spalné teplo potom je

$$Q_H = Q_N + \ell_{23} = 30,021 \text{ MJ/kg}$$

Pokud se ochladí spaliny pod hodnotu rosného bodu spalin, pak lze i toto teplo využít. Této skutečnosti se využívá v tzv. kondenzačních kotlích.

Druhou složkou účinnosti je užitečné teplo. Je to teplo dodané pracovní látce v kotli (voda, horká voda nebo pára) mezi vstupem pracovní látky do kotle (vratná topná voda, napájecí voda) a výstupem z kotle (výstupní teplá nebo horká voda, pára o výstupním tlaku a teplotě). Užitečné teplo se určí jako součin hmotnostního průtoku pracovní látky a rozdílu entalpií pracovní látky mezi výstupem z kotle a vstupem do kotle.

S použitím uvedených emisních faktorů lze u daného spalovacího zdroje a na základě roční spotřeby paliva stanovit přibližně roční emitované množství příslušné znečišťující látky a poplatky za znečišťování.

V tab. 140 až 142 jsou uvedeny střední hodnoty prvkového rozboru pevných, kapalných a plyných paliv užívaných v ČR [5.17]. Složky pevných a kapalných paliv jsou v hmotnostních procentech, zatímco u plyných paliv jsou vyjádřena v objemových procentech. Veličina  $Q_S^{\text{daf}}$  vyjadřuje spalné teplo,  $Q_i^r$  – výhřevnost.

Tab. 140 Čisté spalitelné látky a pevná paliva (střední hodnoty) [5.17]

| Druh paliva             | $Q_S^{\text{daf}}$ | $Q_i^r$ | $C^{\text{daf}}$ | $H^{\text{daf}}$ | $S^{\text{daf}}$ | $N^{\text{daf}}$ | $O^{\text{daf}}$ | $W_i^r$ | $A^d$ | $V^{\text{daf}}$ |
|-------------------------|--------------------|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|-------|------------------|
|                         | MJ/kg              | MJ/kg   | (%)              | (%)              | (%)              | (%)              | (%)              | (%)     | (%)   | (%)              |
| Uhlík → CO              | 10,17              | 10,17   | 100              | –                | –                | –                | –                | –       | –     | –                |
| Uhlík → CO <sub>2</sub> | 33,82              | 33,82   | 100              | –                | –                | –                | –                | –       | –     | –                |
| Vodík H <sub>2</sub>    | 141,75             | 119,85  | –                | 100              | –                | –                | –                | –       | –     | 100              |

| Druh paliva                     | $Q_S^{daf}$ | $Q_i^r$ | $C^{daf}$ | $H^{daf}$ | $S^{daf}$ | $N^{daf}$ | $O^{daf}$ | $W_i^r$ | $A^d$ | $V^{daf}$ |
|---------------------------------|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|-----------|
|                                 | MJ/kg       | MJ/kg   | (%)       | (%)       | (%)       | (%)       | (%)       | (%)     | (%)   | (%)       |
| Síra S                          | 9,25        | 9,25    | –         | –         | 100       | –         | –         | –       | –     | –         |
| Hnědé uhlí Bílina               | 30,2        | 17,6    | 70,73     | 5,42      | 1,21      | 0,88      | 21,76     | 30,2    | 9,8   | 51        |
| Hnědé uhlí Sokolov – Tisová     | 30,34       | 13,75   | 74,08     | 6,14      | 1,22      | 0,95      | 17,61     | 39,0    | 17,0  | 55        |
| Dtto Družba                     | 29,45       | 11,75   | 71,22     | 5,82      | 0,86      | 0,94      | 21,16     | 37,5    | 28,0  | 52        |
| Dtto Vřesová                    | 31,06       | 13,75   | 73,27     | 5,99      | 0,96      | 0,9       | 18,88     | 39,0    | 19,0  | 53,5      |
| Dtto multiprach                 | 30,08       | 22,75   | 73,69     | 5,69      | 0,66      | 1,07      | 18,89     | 3,80    | 17,5  | 51        |
| Hnědé uhlí Mostecká uh. úpravna | 31,4        | 16,9    | 72,5      | 5,77      | 2,05      | 0,98      | 18,7      | 29,5    | 17,0  | 53        |
| Dtto Hrabák                     | 30,2        | 14,5    | 67,58     | 5,87      | 2,08      | 1,07      | 23,4      | 28,8    | 26,0  | 54        |
| Černé uhlí Kladno               | –           | 21,0    | 5,12      | 79,15     | 0,5       | 0,8       | 14,43     | 20,0    | 20,0  | 36        |
| Dtto Ostrava ESP 1              | –           | 28,7    | 5,03      | 87,91     | 0,53      | 1,32      | 5,21      | 9,0     | 7,5   | 30        |
| Dtto ESP 2                      | –           | 21,0    | 5,08      | 83,38     | 1,08      | 1,28      | 9,18      | 7,7     | 30,0  | 32        |
| Koks otop Ostrava               | –           | 27,6    | –         | –         | 0,67      | –         | –         | 4,0     | 10,3  | –         |
| Dřevo, přirozeně suché listnaté | 17,2        | 15,6    | 50,0      | 6,0       | –         | 0,13      | 43,87     | 15,0    | 0,24  | > 70      |
| Dtto jehličnaté                 | 14,88       | 14,3    | 49,6      | 6,0       | –         | 0,13      | 44,87     | 23,0    | 0,26  | > 72      |
| Sláma                           | 15,63       | 14,2    | 51,9      | 6,1       | 0,1       | 0,5       | 41,4      | 14,0    | 5,0   | 65        |

Tab. 141 Čisté spalitelné látky a kapalná paliva (střední hodnoty) [5.17]

| Druh paliva                                       | $Q_S^{daf}$ | $Q_i^r$ | $C^{daf}$ | $H^{daf}$ | $S^{daf}$ | $N^{daf}$ | $O^{daf}$ | $W_i^r$ | $A^d$ | $V^{daf}$ |
|---------------------------------------------------|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|-----------|
|                                                   | MJ/kg       | MJ/kg   | (%)       | (%)       | (%)       | (%)       | (%)       | (%)     | (%)   | (%)       |
| Uhlík → CO                                        | 10,17       | 10,17   | 100,0     | –         | –         | –         | –         | –       | –     | –         |
| Uhlík → CO <sub>2</sub>                           | 33,82       | 33,82   | 100,0     | –         | –         | –         | –         | –       | –     | –         |
| Vodík H <sub>2</sub>                              | 141,75      | 119,85  | –         | 100,0     | –         | –         | –         | –       | –     | 100       |
| Alkohol 90 %<br>$\rho = 790 \text{ kg/m}^3$       | 29,89       | 26,96   | 52,2      | 13,4      | –         | 0,8       | 23,8      | 9,8     | –     | –         |
| Benzin<br>$\rho = 930 \text{ kg/m}^3$             | 45,1        | 42,02   | 80,7      | 14,2      | –         | 1,0       | 4,1       | –       | –     | –         |
| Dehet – hnědé uhlí<br>$\rho = 930 \text{ kg/m}^3$ | 44,31       | 40,3    | 84,0      | 11,0      | 0,7       | 0,4       | 1,8       | –       | –     | –         |
| Nafta $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$                 | 44,62       | 41,8    | 86,6      | 12,9      | 0,3       | –         | 0,2       | –       | –     | –         |
| Topný olej L,<br>$\rho = 840 \text{ kg/m}^3$      | 45,64       | 42,71   | 86,3      | 13,4      | 0,2       | –         | 0,1       | –       | –     | –         |
| Topný olej T,<br>$\rho = 940 \text{ kg/m}^3$      | 43,6        | 41,01   | 84,9      | 11,6      | 2,1       | 0,2       | 0,1       | –       | >0,2  | –         |
| Petrolej<br>$\rho = 810 \text{ kg/m}^3$           | 42,9        | 40,8    | 85,3      | 14,1      | –         | –         | 0,6       | –       | –     | –         |

Tab. 142 Čisté spalitelné látky a plynná paliva (střední hodnoty) (jednotlivé složky jsou v objemových procentech) [5.17]

| Druh paliva                            | $Q_s$             | $Q_i^r$           | $H_2$ | $CH_4$ | $C_2H_8$ | $C_3H_8$ | $C_4H_{10}$ | $C_mH_n$ | CO   | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | Hust  |
|----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------|----------|----------|-------------|----------|------|-----------------|----------------|----------------|-------|
|                                        | MJ/m <sup>3</sup> | MJ/m <sup>3</sup> | (%)   | (%)    | (%)      | (%)      | (%)         | (%)      | (%)  | (%)             | (%)            | (%)            | (1)   |
| Metan CH <sub>4</sub>                  | 39,82             | 35,88             | –     | 100    | –        | –        | –           | –        | –    | –               | –              | –              | 0,555 |
| Acetylen C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 58,47             | 56,49             | –     | –      | –        | –        | –           | 100      | –    | –               | –              | –              | 0,906 |
| Etylen C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>   | 63,41             | 59,46             | –     | –      | –        | –        | –           | 100      | –    | –               | –              | –              | 0,975 |
| Etan C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>     | 70,29             | 64,35             | –     | –      | –        | –        | –           | 100      | –    | –               | –              | –              | 1,048 |
| Propan C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>   | 101,24            | 93,22             | –     | –      | –        | 100      | –           | –        | –    | –               | –              | –              | 1,555 |
| Pentan C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>  | 30,99             | 28,61             | –     | –      | –        | –        | –           | 100      | –    | –               | –              | –              | 0,487 |
| Butan C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>   | 133,12            | 122,91            | –     | –      | –        | –        | 100         | –        | –    | –               | –              | –              | 2,086 |
| Vodík H <sub>2</sub>                   | 12,75             | 10,78             | 100   | –      | –        | –        | –           | –        | –    | –               | –              | –              | 0,069 |
| Zemní plyn<br>Rusko                    | 39,85             | 35,93             | –     | 98,1   | 0,6      | 0,2      | 0,1         | –        | –    | 0,1             | –              | 0,9            | 0,567 |
| Ekofisk<br>Norsko                      | 44,53             | 40,32             | –     | 85,8   | 8,3      | 2,8      | 0,9         | 0,3      | –    | 1,5             | –              | 0,4            | 0,644 |
| Hassi R Alžír                          | 46,08             | 41,83             | –     | 76,0   | 8,0      | 3,3      | 1,6         | 2,8      | –    | 1,9             | –              | 6,4            | 0,687 |
| Naftový plyn                           | 45,21             | 41,23             | 20,4  | 39,7   | 27,2     | 0,1      | –           | 3,2      | 4,6  | 0,9             | –              | 3,9            | 0,443 |
| Koksový plyn                           | 19,66             | 17,39             | 53,1  | 25,0   | 1,7      | –        | –           | 0,4      | 6,2  | 2,1             | 0,2            | 11,3           | 0,391 |
| Generátorový<br>plyn                   | 6,07              | 5,76              | 15,3  | 2,1    | –        | –        | –           | –        | 27,4 | 6,7             | –              | 48,5           | 0,779 |
| Vodní plyn                             | 12,71             | 11,62             | 50,4  | 4,6    | –        | –        | –           | –        | 34,8 | 5,3             | 0,1            | 4,8            | 0,440 |

Tab. 143 Vlastnosti hořlaviny pevných paliv

| Palivo   |             | Složení hořlaviny |         |         |         | Spalné<br>teplo $Q_s$ |
|----------|-------------|-------------------|---------|---------|---------|-----------------------|
| Druh     | Popis       | $V$ (%)           | $C$ (%) | $H$ (%) | $O$ (%) |                       |
| Dřevo    | Na otop     | ≈ 85              | 40-50   | 6,0-5,0 | 45-30   | 21 800                |
| Rašelina | sušená      | ≈ 60              | 35-50   | 6,2-3,5 | 35-20   | 20 400                |
| Lignit   | hodonínský  | ≈ 55              | 50-60   | 6,0-5,0 | 30-20   | 26 500                |
| Hnědé    | severočeské | 53-54             | 74-69   | 6,0-5,9 | 24-19   | 31 700-<br>28 400     |
| Černé    | karvinské   | 39-32             | 81-85   | 5,8-5,6 | 14-10   | 35 800-<br>33 000     |
| Antracit | OKD         | 10-16             | 90-91   | 4,0-3,7 | 6,0-4,5 | 36 600-<br>35 600     |

Příklad výpočtu roční emise a poplatků za znečišťující látky:

Jako příklad se uvádí výpočet roční emise a poplatků za znečišťující látky TZL, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a CO, vznikající při zásobování budovy teplem

a) s původními tepelné technickými vlastnostmi s roční spotřebou tepla

$Q_r = 960$  GJ/a, při tepelném výkonu kotle 85 kW,

b) v budově po zateplení, které vedlo ke zmenšení roční spotřeby tepla, a to na hodnotu

$$Q_r = 484 \text{ GJ/a, při tepelném výkonu kotle } 42 \text{ kW}$$

Podle *tab. 136* se počítá s účinností spalování  $\eta = 0,72$  v případě ad a) i ad b) (první hodnota je vztažena na dobu uvedení kotle do provozu do 31. 12. 1982, druhá po 1. 1. 1990). Jako palivo bylo použito hnědé uhlí s výhřevností  $Q_i^r = 13,75 \text{ MJ/kg}$  a s následujícím prvkovým složením:

*Tab. 144* Prvkové složení uvažovaného hnědého uhlí (viz *tab. 140*)

| $A_p$ (%) | $S_p$ (%) | $N_p$ (%) | $C_p$ (%) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 17,0      | 1,22      | 0,95      | 74,08     |

V *tab. 145* jsou uvedeny emisní faktory pro uvedené složení paliva podle *tab. 141*, při uvažování kotle s pásovým roštem.

*Tab. 145* Emisní faktory v kg na tunu spáleného paliva (kg/t)

| TZL             | $SO_2$           | $NO_x$ | CO  |
|-----------------|------------------|--------|-----|
| $1,9 \cdot A_p$ | $19,0 \cdot S_p$ | 3,0    | 5,0 |

Výpočet:

1. Stanoví se množství spáleného paliva  
ad a)

$$M_p = \frac{960}{13,75 \cdot 0,72} = 96,970 \text{ t} = 96\,970 \text{ kg}$$

ad b)

$$M_p = \frac{484}{13,75 \cdot 0,72} = 48,889 \text{ t} = 48\,889 \text{ kg}$$

2. Stanoví se množství znečišťujících látek za rok, a to tak, že se provede součin příslušného emisního faktoru podle *tab. 145*, procentuálního zastoupení odpovídajícího prvku (látky) a množství paliva, tj. např. pro tuhé znečišťující látky platí – v případě ad a)

$$M_{TZL} = 1,9 \cdot A_p \cdot M_p = 1,9 \cdot 17 \cdot 96,97 = 3\,132 \text{ kg}$$

3. Stanoví se – s využitím hodnot v *tab. 129*, odpovídající poplatky, např. pro TZL jsou poplatky rovny:  $3,132 \cdot 3000 = 9\,396 \text{ Kč/r}$

Souhrn výsledků je v *tab. 146*.

*Tab. 146* Množství znečišťujících látek (kg/r) a odpovídající poplatky (Kč/r) (a – před zateplením, b – po zateplení)

| Látka           | a                       |        | b     |       |
|-----------------|-------------------------|--------|-------|-------|
|                 | kg/r                    | Kč/r   | kg/r  | Kč/r  |
| TZL             | 3 132                   | 9 396  | 1 579 | 4 737 |
| CO              | 485                     | 291    | 244   | 146   |
| $SO_2$          | 2 248                   | 2 248  | 1 133 | 1 133 |
| $NO_x$          | 291                     | 233    | 147   | 118   |
| Celkem poplatky | –                       | 12 168 | –     | 6 134 |
| Rozdíl          | 6 034 Kč (roční úspora) |        |       |       |

## Poznámky:

1. Ke skleníkovým plynům patří také CO<sub>2</sub>, ten se však nepovažuje za znečišťující látku, proto se jako škodlivina zatím neregistruje – viz [5.18] (to je také důvod, proč se v předcházejících výpočtech nevyskytuje).
2. Oxid uhličitý patří k těm skleníkovým plynům, které se významným způsobem podílejí na zemském oteplování – viz *tab. 127*. Proto zmenšování jeho emisí znamená značný příspěvek ke zmírnění globálního rizika, kterým oteplování Země hrozí. V *tab. 147* jsou uvedeny hodnoty emisí CO<sub>2</sub> vznikající při spalování různých druhů paliv, a to v závislosti na vyrobeném množství tepla v (t/GJ) – viz [5.19, 5.20].

Například v panelovém domě T 06 B byla zjištěna spotřeba tepla při  $Q = 960$  GJ/r. Jako palivo bylo použito hnědé uhlí. Z *tab. 147* zjistíme, že měrná emise CO<sub>2</sub> pro toto uhlí je  $m_{\text{CO}_2} = 0,101$  t/GJ.

Celkové množství emisí CO<sub>2</sub> je

$$M_{\text{CO}_2} = 0,101 \cdot 960 = 96,96 \text{ t/r.}$$

Po zlepšení tepelně technických vlastností obvodového pláště panelového domu se zmenšila spotřeba tepla při vytápění na hodnotu  $Q = 476,5$  GJ/r. Tomu odpovídá množství emisí CO<sub>2</sub>: 48,13 t/r. Zároveň s úsporou tepla při vytápění se tedy zmenšilo také množství emisí CO<sub>2</sub> o hodnotu 48,83 t/r.

3. Za velmi výhodné se považuje z hlediska CO<sub>2</sub> spalování biomasy. Spalováním biomasy vzniká sice rovněž CO<sub>2</sub>, ale ten se do celkové bilance CO<sub>2</sub> nepočítá, protože rostoucí biomasa stejnou koncentrací CO<sub>2</sub> spotřebovává při svém růstu [5.17].

**Tab.147** Emise CO<sub>2</sub> vznikající při spalovacím procesu v závislosti na druhu paliva a vyrobeném teple (t/GJ)

| Druh paliva                            | CO <sub>2</sub> (t/GJ) |
|----------------------------------------|------------------------|
| Uhlí černé koksovateľné, včetně briket | 0,115                  |
| Uhlí černé energetické                 | 0,115                  |
| Hnědé uhlí a lignit                    | 0,101                  |
| Brikety hnědouhelné                    | 0,101                  |
| Koks                                   | 0,115                  |
| Palivové dříví                         | 0,085                  |
| Ostatní tuhá paliva                    | 0,101                  |
| Lehké topné oleje                      | 0,076                  |
| Těžké a střední topné oleje            | 0,075                  |
| Ostatní kapalná paliva                 | 0,075                  |
| Zemní plyn                             | 0,059                  |
| Koksárenský plyn                       | 0,059                  |
| Energoplyn                             | 0,059                  |
| Generátorové plyny                     | 0,059                  |
| Vysokopecní plyn                       | 0,059                  |
| Ostatní plynná paliva                  | 0,059                  |

## 5.3 Literatura

- [5.1] APPENZELLER, T.: Je to vidět i na monitoru: Les dýchá. National Geographic, únor 2004
- [5.2] Nebezpečí oteplování Země. Editor Jeremy Leggett. Academia, Praha, 1992

- [5.3] Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)
- [5.4] Nařízení vlády č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší
- [5.5] Nařízení vlády č. 351/2002 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí
- [5.6] Nařízení vlády č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- [5.7] Nařízení vlády č. 353/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- [5.8] Nařízení vlády č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu
- [5.10] Vyhláška MŽP č. 355/2002 Sb., kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu
- [5.11] Vyhláška MŽP č. 356/2002 Sb., kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování
- [5.12] Vyhláška MŽP č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší
- [5.13] Vyhláška MŽP č. 358/2002 Sb., kterou se stanoví podmínky ochrany ozonové vrstvy Země
- [5.14] HEMERKA, J. – HRDLIČKA, F.: Emise z kotelen a ochrana ovzduší. Příloha časopisu. VVI 2/2004
- [5.15] Indoor Pollutants. National Research Council, NAP 1981, pp. 354 – 358
- [5.16] ANDRLÍK, K. – KAVINA, J. – ROŽAN, J. – SVOBODA, R.: Přehled chemie a chemické technologie. Nakl. Práce, Praha 1950
- [5.17] Topenářská příručka – 120 let topenářství v Čechách a na Moravě. Společnost GAS, s. r. o., Praha
- [5.18] STOLINA, P.: Vznik a omezování emisí ze spalovacích procesů. Topenářství – instalace, 5/99
- [5.19] COPZ Praha, 1992
- [5.20] Zpráva o stavu životního prostředí v ČR. MŽP ČR 6/1994

## 6. Ekonomická efektivnost opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění

Opatření, jehož cílem je zmenšení spotřeby energie při vytápění budov v porovnání s existujícím stavem, je obvykle spojeno se zvýšenými náklady na jeho realizaci. Např. se mohou zlepšit tepelné technické vlastnosti obvodové stěny budovy tím způsobem, že se zmenší hodnota jejího součinitele prostupu tepla proti nějaké původní hodnotě. Součinitel prostupu tepla  $U$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) se může zmenšit zvětšením hodnoty tepelného odporu stěny  $R$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ). Tepelný odpor stěny se může zvětšit zvětšením její tloušťky z hodnoty  $d_1$  na hodnotu  $d_2$ , kde  $d_2 = d_1 + d_x$  – neboť platí:

$$R_1 = d_1/\lambda \text{ a } R_2 = (d_1 + d_x)/\lambda \quad (6.1)$$

kde  $\lambda$  je tepelná vodivost stěny; je-li  $\lambda$  konstantní, pak platí  $R_2 > R_1$ . Jiná možnost je založena na tom, že k původní stěně o tepelném odporu  $R_1$  se přidá další vrstva materiálu o tloušťce  $d_2$  a tepelné vodivosti  $\lambda_2$ , takže stěna bude mít tepelný odpor

$$R_2 = R_1 + d_2/\lambda_2 \quad (6.2)$$

z čehož je zřejmé, že  $R_2 > R_1$ .

Z uvedeného výkladu vyplývá, že v obou případech se spotřebuje při realizaci obvodové stěny „více materiálu“ pro dosažení tepelného odporu  $R_2$  v porovnání s tepelným odporem  $R_1$ , takže i náklady na provedení uvedeného řešení budou větší než náklady na původní stěnu o tepelném odporu  $R_1$ .

Naproti tomu se zmenší součinitel prostupu tepla, neboť platí

$$U_1 = 1/(R_1 + R_i + R_e) \text{ a } U_2 = 1/(R_2 + R_i + R_e) \quad (6.3)$$

a v důsledku vpředu uvedených nerovností pak také  $U_2 < U_1$ .

Součinitele prostupu tepla stěny lze interpretovat jako tepelnou ztrátu stěny ve watech připadající na plochu stěny  $1 \text{ m}^2$  a uskutečňující se při rozdílu vnitřní teploty a teploty vnějšího vzduchu  $1$  kelvin. Celková tepelná ztráta stěny  $Q$  ( $\text{W}$ ) o ploše  $A$  ( $\text{m}^2$ ) a rozdílu vnitřní teploty  $\theta_i$  a teploty vnějšího vzduchu  $\theta_e$ , tj.  $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$  ( $^\circ\text{C}$ ) se pak stanoví jako součin součinitele prostupu tepla stěny, plochy stěny a rozdílu vnitřní teploty a teploty vnějšího vzduchu, tj.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta\theta \quad (6.4)$$

Čím je menší tepelná ztráta stěny, tím je menší teplo potřebné k jejímu pokrytí. Rozšíří-li se tato úvaha na celou budovu, lze říci, že čím má budova menší tepelné ztráty stěnami (obvodovým pláštěm budovy), tím menší je potřeba tepla přiváděného do budovy k zajištění požadovaného tepelného stavu vnitřního prostředí. Nebo jinak řečeno: chceme-li zmenšit spotřebu tepla přiváděného do budovy k zajištění požadovaného tepelného stavu vnitřního prostředí, můžeme toho dosáhnout zmenšením tepelných ztrát budovy. Při konstantní ploše obvodového pláště a rozdílu vnitřní teploty a teploty vnějšího vzduchu je přitom rozhodující veličinou součinitel prostupu tepla obvodového pláště budovy.

Existuje tedy úměrnost mezi zmenšením hodnoty součinitele prostupu tepla obvodového pláště budovy a zmenšením spotřeby tepla dodávaného do budovy při vytápění. V této úměrnosti

je možno pokračovat, neboť zmenší-li se spotřeba tepla, zmenší se také náklady na jeho zajištění. Jak to vyplývá z úvahy uvedené výše, je součinitel prostupu tepla stěny tím menší, čím má stěna větší tloušťku. To znamená, že nás stěna stojí tím více, čím je větší její tloušťka. Máme zde problém dvou protichůdných tendencí: s rostoucí tloušťkou stěny se zmenšují náklady za spotřebované teplo při vytápění, avšak zároveň se zvětšují náklady na její pořízení. Označíme-li náklady na pořízení stěny  $I$  (Kč) a náklady za spotřebované teplo  $P$  (Kč) v závislosti na tloušťce stěny  $d$  (m), pak v grafickém vyjádření získáme křivky, jejichž průběh má charakter znázorněný na obr. 35 na str. 237. Pokud se pro jednotlivé hodnoty tloušťky sečtou odpovídající náklady  $I_x$  a  $P_x$ , získáme hodnoty pro tzv. součtovou křivku, která má nejprve klesající tendenci a pak následuje v určitém bodě obrat, ve kterém nabývá křivka rostoucí tendenci – viz obr. 35. Bod součtové křivky, v níž dochází k obratu směru křivky, udává nejmenší součtové náklady; tloušťka stěny, která těmto nejmenším nákladům odpovídá, se považuje za nejvýhodnější tloušťku z hlediska součtových nákladů na pořízení stěny a nákladů za spotřebované teplo – viz obr. 35 (tato „nejvýhodnější tloušťka“ se také často označuje jako optimální tloušťka). Při sčítání nákladů na pořízení dané stěny a nákladů spojených se zmenšením nákladů za spotřebované teplo při vytápění však vzniká problém.

Problém spočívá v tom, že náklady na pořízení stěny jsou jednorázové, zatímco náklady za spotřebované teplo při vytápění trvají po celou dobu životnosti stěny; tedy trvají  $n$  let. Z toho vyplývá, že náklady na pořízení stěny a náklady za spotřebované teplo při vytápění mají „různou hodnotu“, takže jejich „prosté“ sčítání není správné, nejsou vzájemně sčitatelné. Aby se mohly oba druhy nákladů sčítat, musí se provést transakce, která to umožní.

Taková transakce je známá z úrokového počtu, na jehož základě lze převést jednorázové náklady trvající po celou dobu životnosti stěny (tj. každoroční náklady za spotřebované teplo při vytápění) na současnou hodnotu prostřednictvím „zásobitele“ (tento problém bude probíráán podrobněji v další části této kapitoly). Tím se stávají oba druhy nákladů srovnatelnými a mohou se sčítat. Takže součtová křivka pořizovacích nákladů  $I$  (Kč) a nákladů za spotřebované teplo při vytápění  $N_Q$  (Kč) je dána vztahem

$$N = I + N_Q = I + P \cdot z \quad (6.5)$$

kde  $z$  je zásobitel (je závislý na úrokové míře a životnosti stěny).

Zmenšení spotřeby tepla při vytápění, a tím zmenšení nákladů na jeho zajišťování, nevyčerpává všechny výhody tohoto energetického řešení. Vzhledem k tomu, že výroba tepla je zatím stále závislá na fosilních palivech, která při spalování uvolňují znečišťující látky – jak to bylo popsáno v předcházející části publikace – znamená zmenšení spotřeby tepla a tudíž paliva také zmenšení množství uvolňovaných znečišťujících látek do ovzduší. Tím se také zmenšují poplatky, které vlastníci zdrojů tepla musí platit – viz kap. 5.

Výše bylo uvedeno, že spotřeba tepla při vytápění závisí na tepelných ztrátách budovy. Tepelné ztráty budovy jsou výchozím podkladem pro dimenze vytápěcích zařízení. Toto zařízení může být tím menší, čím menší má budova tepelné ztráty, a tím menší mohou být náklady na pořízení vytápěcího zařízení.

Shrme-li uvedenou úvahu, lze říci, že zmenšení tepelných ztrát a spotřeby tepla při vytápění budov je charakterizováno, v důsledku zlepšení tepelné izolační schopnosti obvodových plášťů budov:

- zvýšením pořizovacích (investičních) nákladů na obvodový plášť budov,
- zmenšením nákladů za spotřebované teplo (palivo) při vytápění,
- zmenšením nákladů na vytápěcí zařízení a zdrojů tepla,
- zmenšením emisí znečišťujících látek do ovzduší (popř. zmenšením poplatků za emise).



Vztah (6.5) může být chápán jako jedna z metod pro hodnocení ekonomické efektivity tepelné izolační schopnosti obvodové stěny. Existují však i jiné metody využitelné v tomto smyslu. Než přistoupíme k jejich popisu, shrneme základní pojmy a definice z úrokového počtu.

## 6.1 Základní pojmy a definice z úrokového počtu

- **Úrokové procento** je počet peněžních jednotek, které je nutno zaplatit za půjčení 100 peněžních jednotek
- **Úrok** je absolutní částka vypočtená z dané půjčky pomocí úrokového procenta
- **Úrokovací období** je období, ve kterém se platí úrok z vypůjčených finančních prostředků periodicky v určitých intervalech; úrokovací období mohou být různá, např. roční, pololetní apod. Nejčastěji se však používá roční úrokovací období (označuje se p. a. = per annum)
- **Úroková míra** je úrokové procento, stanovené pro určité úrokovací období; úrokovou míru lze vyjádřit dvěma způsoby
  - a) **procentem ze sta**; pak se označuje  $p$  a jednotkou je procento (činitel  $p$  je pak úrok ze sta peněžních jednotek za jedno úrokové období),
  - b) **poměrným číslem**; pak se označuje  $i$  a stanoví se ze vztahu

$$i = \frac{p}{100} ; \text{ dále se zavádí veličina } r = (1 + i) = \left(1 + \frac{p}{100}\right) \quad (6.6)$$

Činitel  $i$  je úrok z jedné peněžní jednotky za jedno úrokovací období; činitel  $r$  je pak symbol  $r = 1 + i$ ; místo  $r$  se někdy používá písmeno  $q$ , takže  $q = 1 + i$ .

- **Nominální úroková míra (NUM)** udává, o kolik procent se zvýší vklad v daném období
- **Reálná úroková míra (RUM)** je nominální úroková míra, zahrnující inflaci a relativní vzestup ceny energie

$$\text{RUM}/100 = \frac{1 + \text{NUM}/100}{1 + b/100} - 1 \quad (6.7)$$

kde  $b$  je roční inflace v %.

Přibližně platí

$$\text{RUM} (\%) \approx \text{NUM} (\%) - \text{ROČNÍ INFLACE} (\%) \quad (6.8)$$

Např. je-li  $\text{NUM} = 8 \%$  a roční inflace  $b = 4 \%$ , pak podle přesného vzorce je reálná úroková míra

$$\text{RUM} (\%)/100 = \frac{1 + 8/100}{1 + 4/100} - 1 = \frac{1,08}{1,04} - 1 = 0,0385$$

tj.  $\text{RUM} = 3,85 \%$ .

Podle přibližného vzorce je  $\text{RUM} = 8 - 4 = 4 \%$ . Rozdíl proti přesné hodnotě není příliš velký, avšak při větší inflaci by už mohlo docházet k větší nepřesnosti a tudíž k nevěrohodným výsledkům.

- **Úrokování anticipativní (předlůhuté)** je úrokování, při kterém se platí úrok začátkem úrokovacího období
- **Úrokování dekurzivní (polhůuté)** je úrokování, při kterém se platí úrok koncem úrokovacího období.

Podle způsobu připisování úroku se rozeznává úrokování jednoduché a složité. Při jednoduchém úrokování se úrok v každém úrokovacím období počítá z hodnoty původně zapůjčených prostředků. Při složitém úrokování se úrok v každém úrokovacím období počítá z původně zapůjčených prostředků, zvětšených o úroky z předcházejících úrokovacích období.

Splátky dlužné částky se mohou platit buď vždy na začátku každého úrokovacího období, nebo na konci každého úrokovacího období.

Částky splatné ve stejných časových intervalech se nazývají **anuity**. Mohou být stálé nebo proměnné. Každá annuita se skládá ze složek na úrok a úmor.

Postup, kdy danou hodnotu přepočítáváme z minulosti do přítomnosti nebo z přítomnosti do budoucnosti, se nazývá úročení a představuje tzv. **aktualizaci dané hodnoty**.

Postup, kdy danou hodnotu přepočítáváme z budoucnosti do přítomnosti nebo z přítomnosti do minulosti, se nazývá odúročení a představuje tzv. **diskontování dané hodnoty**.

- **Úrokování jednoduché** – je úrokování, při němž se v každém úrokovacím období počítá úrok z hodnoty původně zapůjčených prostředků. Takže vypůjčíme-li si např. dnes částku  $I_0$ , musíme za  $n$  úrokovacích období, při jednoduchém úrokování a úrokové míře  $i$ , vrátit v budoucnu úhrnnou částku  $I_n$ , tj.

$$I_n = I_0 (1 + i \cdot n) \quad (6.9)$$

- **Úrokování složité** – je úrokování, při němž se v každém úrokovacím období počítá úrok z hodnoty původně zapůjčených prostředků, zvětšených o úroky z předcházejících úrokovacích období. Takže vypůjčíme-li si např. dnes částku  $I_0$ , musíme za  $n$  úrokovacích období, při složitém úrokování a úrokové míře  $i$ , vrátit v budoucnu úhrnnou částku  $J_n$ , tj.

$$I_n = I_0 (1 + i)^n \quad (6.10)$$

Výraz  $(1 + i)^n$  se nazývá **složitý úročitel** a označuje se  $r^n$ .

Původní vklad  $I_0$  vzroste za  $n$  úrokovacích období o úrok

$$u = I_n - I_0 = I_0 (1 + i)^n - I_0 = I_0 ((1 + i)^n - 1) \quad (6.11)$$

Jestliže je známa současná a budoucí hodnota vkladu ( $I_0$ ,  $I_n$ ) a úroková míra  $i$ , lze vypočítat příslušný počet úrokovacích období  $n$  ze vztahu

$$n = \frac{\ln(I_n/I_0)}{\ln(1 + i)} \quad (6.12)$$

Pomocí složitého **diskontování (odúrokování)** se řeší ty úlohy, ve kterých zadanou hodnotu vztaženou k budoucnosti, popř. přítomnosti, máme přepočítat na přítomnost, popř. na minulost. Potřebujeme-li za  $n$  úrokovacích období při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  mít k dispozici částku  $I_n$ , musíme dnes uložit částku

$$I_0 = I_n (1 + i)^{-n} \quad (6.13)$$

přičemž výraz  $(1 + i)^{-n}$  se nazývá **složitý odúročitel**,  $r^{-n}$ .

- **Anuita ze současné hodnoty** – je metoda splácení (umořování) dluhu (dluh sestává ze splátky a úroku), umožňující pomocí činitele ( $1/A_{i,n}$ ) stanovit splátku, která umožní za danou dobu splatnosti příslušnou částku, a to tak, že se tato splátka opakovaně uhrazuje koncem každého úrokovacího období.

Vypůjčíme-li si dnes částku  $I_0$  při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  na  $n$  úrokovacích obdobích, musíme koncem každého úrokovacího období splatit částku

$$a = I_0 \frac{1}{A_{i,n}} = I_0 \frac{r^n \cdot i}{r^n - 1} \quad (6.14)$$

kde činitel ( $1/A_{i,n}$ ) je poměrná anuita ze současné hodnoty pro splátky koncem období (umořovatel).

Musí-li se splácet dluh na počátku každého úrokovacího období, pak tato založená anuita ze současné hodnoty ( $1/B_{i,n}$ ) udává velikost splátky, která  $n$ -krát opakovaná začátkem úrokovacího období dává současnou hodnotu jednotkovou.

Vypůjčíme-li si dnes částku  $I_0$  při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  na  $n$  úrokovacích obdobích, musíme začátkem každého úrokovacího období splatit částku

$$a = I_0 \frac{1}{B_{i,n}} = I_0 \frac{r^n \cdot i}{r^n - 1} \cdot \frac{1}{r} \quad (6.15)$$

kde ( $1/B_{i,n}$ ) je poměrná anuita ze současné hodnoty pro splátky začátkem úrokovacího období.

Anuity ze současné hodnoty umožňují výpočet řady stejných splátek dříve poskytnutého úvěru. Existuje však také metoda, umožňující stanovit anuitu z budoucí hodnoty.

- **Anuita z budoucí hodnoty** – je metoda, která umožňuje stanovit řadu konstantních plateb, které v budoucnu při složitém úrokování vytvoří potřebnou zadanou hodnotu.

Potřebujeme-li za  $n$  úrokovacích období při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  mít k dispozici částku  $I_n$ , musíme koncem každého z  $n$  úrokovacích období uložit částku

$$a = I_n \frac{1}{S_{i,n}} = I_n \frac{i}{r^n - 1} \quad (6.16)$$

kde výraz ( $1/S_{i,n}$ ) se nazývá poměrná anuita z budoucí hodnoty při splátkách koncem úrokovacích období (umořovatel).

Podobně platí i pro anuitu založenou na splátkách začátkem úrokovacích období. Potřebujeme-li za  $n$  úrokovacích období při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  mít k dispozici částku  $I_n$ , musíme začátkem každého z  $n$  úrokovacích období uložit částku

$$a = I_n \frac{1}{T_{i,n}} = I_n \frac{i}{r^n - 1} \cdot \frac{1}{r} \quad (6.17)$$

kde výraz ( $1/T_{i,n}$ ) se nazývá poměrná anuita z budoucí hodnoty při splátkách začátkem úrokovacích období (umořovatel).

V předcházejících definicích se pojednávalo o možnosti pomocí anuit rozkládat jednu částku na řadu ekonomicky rovnocenných plateb. Opačnou úlohu, tj. řešit součet řady pravidelných plateb, lze řešit pomocí násobitelů nebo střadatelů.

#### • Současná hodnota pravidelných plateb

Současná hodnota  $I_0$  řady  $n$  stejných plateb o velikosti  $a$ , placených koncem úrokovacích období, činí při složitém úrokování a úrokové míře  $i$

$$I_o = a \cdot z_{i,n} = a \cdot \frac{r^n - 1}{r^n \cdot i} \quad (6.18)$$

kde  $z_{i,n}$  se nazývá zásobitel pro platby koncem úrokovacích období.

Podobný je princip i způsob výpočtu zásobitelů založených na platbách začátkem úrokovacích období.

Současná hodnota  $I_o$  řady  $n$  stejných plateb o velikosti  $a$ , placených začátkem úrokovacích období, činí při složitém úrokování a úrokové míře  $i$

$$I_o = c \cdot z_{i,no} = c \cdot \frac{r_n - 1}{r^n \cdot i} \cdot r \quad (6.19)$$

kde  $z_{i,no}$  se nazývá zásobitel pro platby začátkem úrokovacích období.

#### • Budoucí hodnota pravidelných plateb

Budoucí hodnota pravidelných plateb se stanovuje pomocí střadatelů.

Budoucí hodnota  $I_n$  řady  $n$  stejných plateb o velikosti  $a$ , placených koncem úrokovacích období, činí při složitém úrokování a úrokové míře  $i$

$$I_n = a \cdot S_{i,n} = a \cdot \frac{r_n - 1}{i} \quad (6.20)$$

kde  $S_{i,n}$  se nazývá střadatel pro platby koncem úrokovacích období.

Budoucí hodnota  $I_n$  řady  $n$  stejných plateb o velikosti  $a$ , placených začátkem úrokovacích období, činí při složitém úrokování a úrokové míře  $i$

$$I_n = c \cdot S_{i,no} = c \cdot \frac{r_n - 1}{i} \cdot r \quad (6.21)$$

kde  $S_{i,no}$  se nazývá střadatel pro platby začátkem úrokovacích období.

### Příklady

#### 1. Složitě úrokování

Zjistíme, jaká bude hodnota vkladu  $I_o = 10\,000$  Kč za dobu  $n = 10$  let, je-li

a) úrok  $p = 5\%$  (úroková míra  $i = 0,05$ ),

b) od šestého roku inflace  $b = 2\%$ .

V případě ad b) je reálná úroková míra rovna – viz vztah (6.7):

$$\text{RUM}/100 = \frac{1 + 5/100}{1 + 2/100} - 1 = 0,029412$$

Výpočet se provede podle vztahu (6.10), tj.

$$I_n = 10\,000 (1 + 0,05)^{10} \text{ a období s inflací } I_{n,\text{inf}} = 12\,762,82 (1 + 0,029412)^5$$

Výsledky jsou v tab. 148.

Tab. 148 Příklad složitého úrokování ( $n$  je úrokovací období,  $I_0$  je počáteční vklad,  $i$  je úroková míra, RUM je reálná úroková míra,  $I_n$  je hodnota vkladu v příslušném úrokovacím období,  $I_{n,\text{inf}}$  je hodnota vkladu v příslušném úrokovacím období při uvažování inflace)

| $N$    | $I_0$  | $i$    | RUM      | $I_n$     | $I_{n,\text{inf}}$ |
|--------|--------|--------|----------|-----------|--------------------|
| 1      | 10 000 | 0,05   | 0,05     | 10 500,00 | 10 500,00          |
| 2      | 10 000 | 0,05   | 0,05     | 11 025,00 | 11 025,00          |
| 3      | 10 000 | 0,05   | 0,05     | 11 576,25 | 11 576,25          |
| 4      | 10 000 | 0,05   | 0,05     | 12 155,06 | 12 155,06          |
| 5      | 10 000 | 0,05   | 0,05     | 12 762,82 | 12 762,82          |
| 6 (1)  | 10 000 | 0,05   | 0,029412 | 13 400,96 | 13 138,20          |
| 7 (2)  | 10 000 | 0,05   | 0,029412 | 14 071,00 | 13 524,62          |
| 8 (3)  | 10 000 | 0,05   | 0,029412 | 14 774,55 | 13 922,40          |
| 9 (4)  | 10 000 | 0,05   | 0,029412 | 15 513,28 | 14 331,89          |
| 10 (5) | 10 000 | 0,05   | 0,029412 | 16 288,95 | 14 753,42          |
|        |        | Rozdíl |          | 1 535,53  |                    |

Rozdíl  $I_n - I_{n,\text{inf}} = 1\,535,53$  Kč představuje znehodnocení vkladu v důsledku uvedené inflace.

## 2. Složitě odúrokování (diskontování)

Za deset let ( $n = 10$  let) potřebujeme částku  $I_n = 100\,000$  Kč. Máme zjistit, jakou částku musíme dnes uložit, je-li úroková míra  $i = 0,05$ . Podle vztahu (6.13) platí

$$I_0 = 100\,000 \cdot (1 + 0,05)^{-10} = 61\,391 \text{ Kč.}$$

K získání částky 100 000 Kč za deset let se musí dnes uložit 61 391 Kč.

## 3. Anuita ze současné hodnoty

a) Získali jsme úvěr ve výši  $I_0 = 100\,000$  Kč. Ten se má splatit za  $n = 5$  let stejnými ročními splátkami koncem úrokovacího období, při úrokové míře  $i = 0,1$ . Roční splátka „ $a$ “ se stanoví podle vzorce (6.14), tj.

$$a_1 = 100\,000 \cdot \frac{(1 + 0,1)^5 \cdot 0,1}{(1 + 0,1)^5 - 1} = 26\,380 \text{ Kč}$$

b) Stejná úloha, avšak úvěr 100 000 Kč se má splatit za  $n = 10$  let, při úrokové míře  $i = 0,07$ .

$$a_2 = 100\,000 \cdot \frac{(1 + 0,07)^{10} \cdot 0,07}{(1 + 0,07)^{10} - 1} = 14\,238 \text{ Kč}$$

V prvním případě je roční splátka  $a_1 = 26\,380$  Kč, ve druhém případě  $a_2 = 14\,238$  Kč. To znamená, že v prvním případě se náš roční rozpočet zatěžuje podstatně více než ve druhém případě.

Avšak z porovnání splátek v prvním a ve druhém případě je zřejmé, že v prvním případě zaplatíme za pět let celkem 131 900 Kč, zatímco ve druhém případě za deset let celkem 142 380 Kč.

Z toho vyplývá, že ve druhém případě se zaplatí za získaný úvěr více o 10 480 Kč, i když by se mohlo zdát podle hodnoty úrokové míry, že splacení úvěru ve druhém případě je výhodnější, než v prvním případě.

#### 4. Současná hodnota pravidelných plateb

Jaká je současná hodnota  $I_0$  řady  $n$  pěti stejných plateb o velikosti  $a = 26\,380$  Kč, placených koncem úrokovacích období, při složitém úrokování a úrokové míře  $i = 0,1$ . Současná hodnota pravidelných plateb koncem úrokovacího období se stanoví podle vztahu (6.18), tj.

$$I_0 = 26\,380 \cdot z = 26\,380 \cdot \frac{(1 + 0,1)^5 - 1}{(1 + 0,1)^5 \cdot 0,1} = 100\,001 \text{ Kč}$$

(ve vztahu (6.18) je zásobitel  $z$  s indexy – v tomto případě jsou vynechány).

„Současná hodnota pravidelných plateb“ je v tepelně ekonomických výpočtech využívána především pro hodnocení úspor tepla při vytápění. To proto, aby se mohly porovnávat jednorázové náklady na tepelnou izolaci budov (popř. na jiné opatření navrhované z hlediska úspor tepla) a získané finanční prostředky z úspor tepla – které se opakují každý rok, po celou dobu životnosti tepelné izolace, v důsledku jejího uplatnění.

#### Poznámka:

Hodnoty úročitelů, odúročitelů, annuity ze současné hodnoty, umořovatele, zásobitele, střadatele apod. jsou tabelovány v závislosti na úrokové míře a počtu úrokovacích období  $n$  v publikacích o úrokovém počtu – viz např. [6.1].

## 6.2 Metody pro hodnocení ekonomické efektivity

Přehled metod pro hodnocení ekonomické efektivity opatření, navržená a realizovaná z hlediska úspory tepla (energie) při vytápění:

- doba návratnosti,
- metoda současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů,
- metoda ročních převedených nákladů,
- vnitřní výnosové procento.

### 6.2.1 Doba návratnosti

Doba návratnosti vložených prostředků  $d_n$  (a) je definována jako podíl vložených prostředků  $I$  (Kč) a dosahovaných ročních úspor tepla získaných tímto opatřením  $U_r$  (Kč/a)

$$d_n = I/U_r \quad (6.22)$$

### 6.2.2 Metoda současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů

V tomto případě se porovnávají pořizovací náklady  $I$  (Kč) a roční úspory  $U_r$  (Kč/a) po dobu životnosti opatření  $n$  (a), převedené na současný základ pomocí zásobitele  $z$  (-).

Jde tedy o stanovení současné hodnot řady  $n$  stejných finančních obnosů o velikosti  $U_r$ , ukládaných koncem úrokovacích období, při složitém úrokování a úrokové míře  $i$  tato současná hodnota se porovnává s jednorázovými pořizovacími náklady (vzhledem k tomu, že se bude používat zpravidla zásobitel pro platby koncem úrokovacích období, bude  $z$  bez příslušného indexu; pokud by to bylo jinak, bude na to upozorněno).

Metodu současné hodnoty lze použít v několika modifikacích, a to jako:

- a) Ukazatele efektivity  $U_{ef}$ , který je definován jako podíl vložených prostředků na opatření ke zmenšení spotřeby tepla  $I$  (Kč) a současné hodnoty úspor tepla  $U_r$  trvajících po dobu životnosti realizovaného opatření  $n$ , tj.

$$U_{ef} = I / (U_r \cdot z) \quad (6.23)$$

kde  $z$  je zásobitel, kterým se převádí hodnota úspor za životnost opatření  $n$ , na současnou hodnotu.

Navržené opatření ke zmenšení spotřeby tepla je efektivní, je-li splněna podmínka:

$U_{ef} < 1$ , v opačném případě je opatření neefektivní.

- b) Metoda ukazatele zisku  $UZ$  (Kč) (nazývá se také čistou současnou hodnotou – anglicky: Net Present Value); tato metoda vychází z rozdílu současné hodnoty úspor tepla ( $U_r \cdot z$ ) a vložených prostředků na dané opatření  $I$ , tj.

$$UZ = (U_r \cdot z) - I \quad (6.24)$$

Navrhované opatření je efektivní tehdy, je-li splněna podmínka  $UZ > 0$  – což znamená, že současná hodnota úspor je větší než prostředky vložené do daného opatření.

- c) Metoda součtu současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů; tato metoda obsahuje následující části:

- investiční náklady na úsporná opatření  $I_1$
- investiční náklady na otopnou soustavu  $I_2$  a dále investiční náklady  $I_3$ , které představují náklady na obnovu otopné soustavy, jejíž životnost je zhruba poloviční v porovnání s životností budovy – je rovna:  $I_3 = I_2 \cdot r$ , kde  $r$  je odúročitel
- provozní náklady budovy, složené z nákladů na odpis a údržbu stavební části  $P_1$ , nákladů na odpis a údržbu otopné soustavy  $P_2$
- náklady na palivo a provoz otopného zařízení  $P_3$ .

Provozní náklady představují periodicky se opakující částky po celou dobu životnosti budovy a převádějí se na současnou hodnotu pomocí zásobitele  $z$ . Z hlediska ekonomické efektivity se považuje za nejvýhodnější takové řešení, při němž je součet všech srovnatelných nákladů nejmenší, tj. platí-li

$$I_1 + I_2 + I_2 \cdot r + (P_1 + P_2 + P_3) \cdot z = \min \quad (6.25)$$

Investiční náklady na úsporná opatření (tepelnou izolaci stěny)  $I_1 = C_1 \cdot d$  ( $C_1$  je cena tepelné izolace (Kč/m<sup>3</sup>),  $d$  je tloušťka (m)).

Investiční náklady na otopnou soustavu  $I_2 = C_2 \cdot U \cdot \Delta\theta$  ( $C_2$  je pořizovací cena otopné soustavy (Kč/W),  $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_e$  je rozdíl výpočtové vnitřní teploty  $\theta_1$  (°C) a teploty vnějšího vzduchu  $\theta_e$  (°C))

Roční náklady na odpis a údržbu stavební části jsou dány vztahem

$$P_1 = (I_1 \cdot p_1) / 100 \quad (6.26)$$

Roční náklady na odpis a údržbu otopné soustavy jsou dány vztahem

$$P_2 = (I_2 \cdot p_2) / 100 \quad (6.27)$$

kde  $p_1$  je procento odpisu a údržby stavební části,  
 $p_2$  procento odpisu a údržby otopné soustavy.

Celkové náklady na palivo a provoz otopné soustavy  $P_3$  (Kč) jsou

$$P_3 = 24 \cdot D \cdot U \cdot C_3 \cdot 10^{-6} \quad (6.28)$$

kde  $C_3$  je cena energie (Kč/MWh),

$D$  počet denostupňů,

$U$  součinitel prostupu tepla (W/(m<sup>2</sup>K)).

### 6.2.3 Metoda ročních převedených nákladů

U této metody se náklady na pořízení a provoz uvažují v ročních ekvivalentech

$$N_r = \Sigma I_i \cdot u_{n,i} + \Sigma P_j \quad (6.29)$$

kde  $u_{n,i}$  je umořovatel.

### 6.2.4 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento se stanovuje z rovnice vyjadřující rovnost pořizovacích nákladů  $I$  a současné hodnoty úspor tepla získané za dobu životnosti opatření ke zmenšení spotřeby tepla, která se stanoví jako součin ročních úspor vynásobených zásobitelem, tj. ( $U_r \cdot z$ ), takže

$$I = U_r \cdot z \quad (6.30)$$

Protože hodnoty veličin  $I$  a  $U_r$  jsou známé, lze vyjádřit z rovnice (6.30) hodnotu zásobitele

$$z = I/U_r$$

Zásobitel je roven

$$z = \frac{r^n - 1}{r^n \cdot i} = \frac{(1 + i)^n - 1}{(1 + i)^n \cdot i} = \frac{(1 + p/100)^n - 1}{(1 + p/100)^n \cdot (p/100)} \quad (6.31)$$

kde  $i$  je úroková míra,

$p$  úrokové procento (%).

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že zásobitel je funkcí doby životnosti opatření  $n$ , úrokové míry  $i$  – tedy úroku  $p$ . Úrok zjištěný z uvedeného vztahu představuje v tomto případě výnosové procento. Uvedenou rovnici lze řešit iterací, nebo přímo z úrokových tabulek, pokud jsou k dispozici.

Např. zásobitel má hodnotu  $z = 13,0$ ; uvažujme dobu životnosti opatření ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění  $n = 30$  let. Z příslušných tabulek zjistíme, že pro  $n = 30$  a  $z = 13$  je  $p \approx 6,5$  %. Z toho plyne, že navržené opatření je výhodné tehdy, když je úroková sazba v bance menší než 6,5 %.

### Komentář k uvedeným metodám

Podle [6.2] metody, založené na součtu pořizovacích a provozních nákladů při vytápění – jehož minimální hodnota udává nejvýhodnější (optimální) tloušťku tepelné izolace – nevyjadřují ekonomickou efektivnost, neboť ta je dána „podílem nákladů a užítku“. V rámci popsaných metod se to týká metody „současné hodnoty pořizovacích a provozních nákladů“ – viz vztah (6.22) a metody „ročních převedených nákladů“ viz vztah (6.29).



Proto se preferují především tyto metody:

- doba návratnosti,
- ukazatel zisku,
- vnitřní výnosové procento.

V současné době se používají vzorce pro výpočet ekonomické efektivity opatření ke zmenšení spotřeby tepla při vytápění v následujícím tvaru:

1. Prostá doba návratnosti (doba splacení investice)  $T$  (rok):

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (6.32)$$

kde  $IN$  jsou investiční výdaje projektu,

$CF$  roční přínosy projektu (cash flow, změna peněžních toků pro realizaci projektu),

2. Reálná doba návratnosti (doba splacení investice) při uvažování diskontní sazby  $T_{sd}$ , se vypočítá z podmínky:

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = 0 \quad (6.33)$$

kde  $CF_t$  jsou roční přínosy projektu (změna peněžních toků pro realizaci projektu),

$r$  je diskont,  
 $(1+r)^{-t}$  odúročitel.

3. Čistá současná hodnota (NPV):

$$NPV \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \quad (6.34)$$

kde  $T_z$  je doba životnosti (hodnocení) projektu.

4. Vnitřní výnosové procento (IRR):

Hodnota vnitřního výnosového procenta IRR (anglicky: Internal Rate of Return) se vypočítá z podmínky:

$$\sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot (1+IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (6.35)$$

Při rozhodování o výhodnosti investice se postupuje podle tohoto pravidla:

- jestliže je IRR rovno nebo větší než je požadovaná výnosnost, pak se projekt realizuje,
- jestliže je IRR menší než je požadovaná výnosnost, projekt se nerealizuje.

Pokud podmínku pro realizaci investice splňuje více variant, zvolí se ta, která dává nejvyšší hodnotu IRR.

## 6.3 Vliv některých činitelů na ekonomickou efektivity dodatečné tepelné izolace

V této části je probrán vliv několika základních činitelů, ovlivňujících ekonomickou efektivity dodatečné tepelné izolace budov – jde o vliv

- tloušťky dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm),
- ceny energie  $C_e$  (Kč/MWh),
- počtu denostupňů  $D$  (d · K),
- hodnoty součinitele prostupu tepla původní stavební konstrukce  $U_p$  (W/(m<sup>2</sup>K)).

Jsou přitom použity tyto metody: návratnost prostředků vynaložených na dodatečnou tepelnou izolaci a ukazatel zisku.

### 6.3.1 Návratnost prostředků vynaložených na dodatečnou tepelnou izolaci

Návratnost vynaložených prostředků na dodatečnou tepelnou izolaci je vyhodnocena podle vztahu (6.22), přičemž jsou uvažovány pořizovací náklady na tepelnou izolaci v závislosti na tloušťce podle hodnot v tab. 149.

Tab. 149 Pořizovací náklady  $I$  (Kč/m<sup>2</sup>) na tepelnou izolaci v závislosti na tloušťce  $d$  (mm)

| $d$ (mm)                 | 20  | 40  | 60  | 100   | 150   | 250   | 350   |
|--------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| $I$ (Kč/m <sup>2</sup> ) | 750 | 810 | 895 | 1 065 | 1 275 | 1 693 | 2 134 |

A dále se uvažuje: cena energie  $C_e = 300$  až  $2\,100$  Kč/MWh; počet denostupňů  $D = 2\,600$ ;  $3\,600$ ;  $4\,000$ ;  $4\,600$  d · K; hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $U_p = 1,4$ ;  $1,1$ ;  $0,8$ ;  $0,5$  W/(m<sup>2</sup>K); součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace  $\lambda = 0,044$  W/(m<sup>2</sup>K). Roční úspory tepla získané zmenšením spotřeby tepla proti spotřebě s původní konstrukcí  $\Delta E$  (W/(m<sup>2</sup> · a)) se stanovily ze vztahu

$$\Delta E = \Delta U \cdot 24 \cdot D = (U_p - U) \cdot 24 \cdot D$$

a finanční úspora  $U_r$  (Kč/(m<sup>2</sup> · a))

$$U_r = \Delta E \cdot C_e$$

Výsledky jsou v tab. 150 až 153. Tabulky jsou rozříděny podle počtu denostupňů. Každá tabulka obsahuje čtyři oddíly, odlišující se hodnotou součinitele prostupu tepla původní konstrukce.

Tab. 150 Návratnost  $d_n$  (roky) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), počtu denostupňů  $D = 2\,600$  d · K a hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  (W/(m<sup>2</sup>K))

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4$ W/(m <sup>2</sup> K)) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                            | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | 73,6                                                          | 55,2 | 52,0 | 53,4 | 58,8 | 72,7 | 88,7 |
| 600               | 36,8                                                          | 27,6 | 26,0 | 26,7 | 29,4 | 36,4 | 44,4 |
| 900               | 24,5                                                          | 18,4 | 17,3 | 17,8 | 19,6 | 24,2 | 29,6 |
| 1 200             | 18,4                                                          | 13,8 | 13,0 | 13,4 | 14,7 | 18,2 | 22,2 |
| 1 500             | 14,7                                                          | 11,0 | 10,4 | 10,7 | 11,8 | 14,5 | 17,7 |
| 1 800             | 12,3                                                          | 9,2  | 8,7  | 8,9  | 9,8  | 12,1 | 14,8 |
| 2 100             | 10,5                                                          | 7,9  | 7,4  | 7,6  | 8,4  | 10,4 | 12,7 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | 89,4 | 77,3 | 74,3 | 79,4 | 95,8 | –    |
| 600               | 82,0                                                                     | 44,7 | 38,6 | 37,2 | 39,7 | 47,9 | 57,9 |
| 900               | 54,7                                                                     | 29,8 | 25,8 | 24,8 | 26,5 | 31,9 | 38,6 |
| 1 200             | 41,0                                                                     | 22,4 | 19,3 | 18,6 | 19,9 | 24,0 | 28,9 |
| 1 500             | 32,8                                                                     | 17,9 | 15,5 | 14,9 | 15,9 | 19,2 | 23,2 |
| 1 800             | 27,3                                                                     | 14,9 | 12,9 | 12,4 | 13,2 | 16,0 | 19,3 |
| 2 100             | 23,4                                                                     | 12,8 | 11,0 | 10,6 | 11,3 | 13,7 | 16,5 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –    | –    | –    | –    | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | –    | 75,0 | 61,1 | 61,1 | 70,3 | 83,3 |
| 900               | –                                                                        | 78,4 | 50,0 | 40,8 | 40,7 | 46,8 | 55,5 |
| 1 200             | –                                                                        | 58,8 | 37,5 | 30,6 | 30,5 | 35,1 | 41,6 |
| 1 500             | –                                                                        | 47,1 | 30,0 | 24,5 | 24,4 | 28,1 | 33,3 |
| 1 800             | –                                                                        | 39,2 | 25,0 | 20,4 | 20,4 | 23,4 | 27,8 |
| 2 100             | –                                                                        | 33,6 | 21,4 | 17,5 | 17,5 | 20,1 | 23,8 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |    |    |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40 | 60 | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –  | –  | –    | –    | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | –  | –  | –    | –    | –    | –    |
| 900               | –                                                                        | –  | –  | –    | 88,2 | 87,7 | 98,8 |
| 1 200             | –                                                                        | –  | –  | 86,1 | 66,1 | 65,8 | 74,1 |
| 1 500             | –                                                                        | –  | –  | 68,9 | 52,9 | 52,6 | 59,3 |
| 1 800             | –                                                                        | –  | –  | 57,4 | 44,1 | 44,0 | 49,4 |
| 2 100             | –                                                                        | –  | –  | 49,2 | 37,8 | 37,6 | 42,3 |

Tab. 151 Návratnost  $d_n$  (roky) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), počtu denostupňů  $D = 3\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$  a hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | 53,2                                                                     | 39,9 | 37,6 | 38,6 | 42,3 | 52,5 | 64,1 |
| 600               | 26,6                                                                     | 19,9 | 18,8 | 19,3 | 21,2 | 26,3 | 32,0 |
| 900               | 17,7                                                                     | 13,3 | 12,5 | 12,6 | 14,2 | 17,5 | 21,4 |
| 1 200             | 13,3                                                                     | 10,0 | 9,4  | 9,6  | 10,6 | 13,1 | 16,0 |
| 1 500             | 10,6                                                                     | 8,0  | 7,5  | 7,7  | 8,5  | 10,5 | 12,8 |
| 1 800             | 8,7                                                                      | 6,6  | 6,3  | 6,4  | 7,1  | 8,8  | 10,7 |
| 2 100             | 7,6                                                                      | 5,7  | 5,4  | 5,5  | 6,1  | 7,5  | 9,2  |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | 64,6 | 55,8 | 53,7 | 57,4 | 69,2 | 83,6 |
| 600               | 59,2                                                                     | 32,3 | 27,9 | 26,8 | 28,7 | 34,6 | 41,8 |
| 900               | 39,5                                                                     | 21,5 | 18,6 | 17,9 | 19,1 | 23,1 | 27,9 |
| 1 200             | 29,6                                                                     | 16,1 | 14,0 | 13,4 | 14,3 | 17,3 | 20,9 |
| 1 500             | 23,7                                                                     | 12,9 | 11,2 | 10,7 | 11,5 | 13,8 | 16,7 |
| 1 800             | 19,7                                                                     | 10,8 | 9,3  | 8,9  | 9,6  | 11,5 | 13,9 |
| 2 100             | 16,9                                                                     | 9,2  | 8,0  | 7,7  | 8,2  | 9,9  | 11,9 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –    | –    | 88,3 | 88,2 | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | 85,0 | 54,2 | 44,2 | 44,1 | 50,7 | 60,1 |
| 900               | –                                                                        | 56,6 | 36,1 | 29,4 | 29,4 | 33,8 | 40,1 |
| 1 200             | –                                                                        | 42,5 | 27,1 | 22,1 | 22,1 | 25,4 | 30,1 |
| 1 500             | –                                                                        | 34,0 | 21,7 | 17,7 | 17,6 | 20,3 | 24,1 |
| 1 800             | –                                                                        | 28,3 | 18,1 | 14,7 | 14,7 | 16,9 | 20,0 |
| 2 100             | –                                                                        | 24,3 | 15,5 | 12,6 | 12,6 | 14,5 | 17,2 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |    |    |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40 | 60 | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –  | –  | –    | –    | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | –  | –  | –    | 95,5 | 95,0 | –    |
| 900               | –                                                                        | –  | –  | 82,9 | 63,7 | 63,4 | 71,3 |
| 1 200             | –                                                                        | –  | –  | 62,2 | 47,8 | 47,5 | 53,5 |
| 1 500             | –                                                                        | –  | –  | 49,7 | 38,2 | 38,0 | 42,8 |
| 1 800             | –                                                                        | –  | –  | 41,5 | 31,8 | 31,7 | 35,7 |
| 2 100             | –                                                                        | –  | –  | 35,5 | 27,3 | 27,2 | 30,6 |

Tab. 152 Návratnost  $d_n$  (roky) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), počtu denostupňů  $D = 4\,000 \text{ d} \cdot \text{K}$  a hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | 47,9                                                                     | 35,9 | 33,8 | 34,7 | 38,2 | 47,3 | 57,7 |
| 600               | 23,9                                                                     | 17,9 | 16,9 | 17,4 | 19,1 | 23,6 | 28,8 |
| 900               | 16,0                                                                     | 12,0 | 11,3 | 11,6 | 12,7 | 15,8 | 19,2 |
| 1 200             | 12,0                                                                     | 9,0  | 8,5  | 8,7  | 9,6  | 11,8 | 14,4 |
| 1 500             | 9,6                                                                      | 7,2  | 6,8  | 6,9  | 7,6  | 9,5  | 11,5 |
| 1 800             | 8,0                                                                      | 6,0  | 5,6  | 5,8  | 6,4  | 7,9  | 9,6  |
| 2 100             | 6,8                                                                      | 5,1  | 4,8  | 5,0  | 5,5  | 6,8  | 8,2  |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | 58,1 | 50,2 | 48,3 | 51,6 | 62,3 | 75,3 |
| 600               | 53,3                                                                     | 29,1 | 25,1 | 24,2 | 25,8 | 31,1 | 37,6 |
| 900               | 35,5                                                                     | 19,4 | 16,7 | 16,1 | 17,2 | 20,8 | 25,1 |
| 1 200             | 26,7                                                                     | 14,5 | 12,6 | 12,1 | 12,9 | 15,6 | 18,8 |
| 1 500             | 21,3                                                                     | 11,6 | 10,0 | 9,7  | 10,3 | 12,5 | 15,1 |
| 1 800             | 17,8                                                                     | 9,7  | 8,4  | 8,1  | 8,6  | 10,4 | 12,5 |
| 2 100             | 15,2                                                                     | 8,3  | 7,2  | 6,9  | 7,4  | 8,9  | 10,8 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –    | 97,5 | 79,5 | 79,4 | 91,3 | –    |
| 600               | –                                                                        | 76,5 | 48,8 | 39,7 | 39,7 | 45,7 | 54,1 |
| 900               | –                                                                        | 51,0 | 32,5 | 26,5 | 26,5 | 30,4 | 36,1 |
| 1 200             | –                                                                        | 38,2 | 24,4 | 19,9 | 19,9 | 22,8 | 27,1 |
| 1 500             | –                                                                        | 30,6 | 19,5 | 15,9 | 15,9 | 18,3 | 21,6 |
| 1 800             | –                                                                        | 25,5 | 16,3 | 13,2 | 13,2 | 15,2 | 18,0 |
| 2 100             | –                                                                        | 21,8 | 13,9 | 11,4 | 11,3 | 13,0 | 15,5 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |    |    |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40 | 60 | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –  | –  | –    | –    | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | –  | –  | –    | 86,0 | 85,5 | 96,3 |
| 900               | –                                                                        | –  | –  | 74,6 | 57,3 | 57,0 | 64,2 |
| 1 200             | –                                                                        | –  | –  | 56,0 | 43,0 | 42,8 | 48,2 |
| 1 500             | –                                                                        | –  | –  | 44,8 | 34,4 | 34,2 | 38,5 |
| 1 800             | –                                                                        | –  | –  | 37,3 | 28,7 | 28,5 | 32,1 |
| 2 100             | –                                                                        | –  | –  | 32,0 | 24,6 | 24,4 | 27,5 |

Tab. 153 Návratnost  $d_n$  (roky) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), počtu denostupňů  $D = 4\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$  a hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | 41,6                                                                     | 31,2 | 29,4 | 30,2 | 33,3 | 41,1 | 50,2 |
| 600               | 20,8                                                                     | 15,6 | 14,7 | 15,1 | 16,6 | 20,6 | 25,1 |
| 900               | 13,9                                                                     | 10,4 | 9,8  | 10,1 | 11,1 | 13,7 | 16,7 |
| 1 200             | 10,4                                                                     | 7,8  | 7,4  | 7,5  | 8,3  | 10,3 | 12,5 |
| 1 500             | 8,3                                                                      | 6,2  | 5,9  | 6,0  | 6,7  | 8,2  | 10,0 |
| 1 800             | 6,9                                                                      | 5,2  | 4,9  | 5,0  | 5,5  | 6,9  | 8,4  |
| 2 100             | 5,9                                                                      | 4,5  | 4,2  | 4,3  | 4,8  | 5,9  | 7,2  |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | 92,7                                                                     | 50,5 | 43,7 | 42,0 | 44,9 | 54,2 | 65,4 |
| 600               | 46,4                                                                     | 25,3 | 21,8 | 21,0 | 22,4 | 27,1 | 32,7 |
| 900               | 30,9                                                                     | 16,8 | 14,6 | 14,0 | 15,0 | 18,1 | 21,8 |
| 1 200             | 23,2                                                                     | 12,6 | 10,9 | 10,5 | 11,2 | 13,5 | 16,4 |
| 1 500             | 18,5                                                                     | 10,1 | 8,7  | 8,4  | 9,0  | 10,8 | 13,1 |
| 1 800             | 15,5                                                                     | 8,4  | 7,3  | 7,0  | 7,5  | 9,0  | 10,9 |
| 2 100             | 13,2                                                                     | 7,2  | 6,2  | 6,0  | 6,4  | 7,7  | 9,3  |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –    | 84,8 | 69,1 | 69,1 | 79,4 | 94,1 |
| 600               | –                                                                        | 66,5 | 42,4 | 34,6 | 34,5 | 39,7 | 47,1 |
| 900               | –                                                                        | 44,3 | 28,3 | 23,0 | 23,0 | 26,5 | 31,4 |
| 1 200             | –                                                                        | 33,2 | 21,2 | 17,3 | 17,3 | 19,9 | 23,5 |
| 1 500             | –                                                                        | 26,6 | 17,0 | 13,8 | 13,8 | 15,9 | 18,8 |
| 1 800             | –                                                                        | 22,2 | 14,1 | 11,5 | 11,5 | 13,2 | 15,7 |
| 2 100             | –                                                                        | 19,0 | 12,1 | 9,9  | 9,9  | 11,3 | 13,4 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40   | 60   | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –    | 84,8 | 69,1 | 69,1 | 79,4 | 94,1 |
| 600               | –                                                                        | 66,5 | 42,4 | 34,6 | 34,5 | 39,7 | 47,1 |
| 900               | –                                                                        | 44,3 | 28,3 | 23,0 | 23,0 | 26,5 | 31,4 |
| 1 200             | –                                                                        | 33,2 | 21,2 | 17,3 | 17,3 | 19,9 | 23,5 |
| 1 500             | –                                                                        | 26,6 | 17,0 | 13,8 | 13,8 | 15,9 | 18,8 |
| 1 800             | –                                                                        | 22,2 | 14,1 | 11,5 | 11,5 | 13,2 | 15,7 |
| 2 100             | –                                                                        | 19,0 | 12,1 | 9,9  | 9,9  | 11,3 | 13,4 |

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | $d_n$ (roky) při $d$ (mm) ( $U_p = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) |    |    |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|----|----|------|------|------|------|
|                   | 20                                                                       | 40 | 60 | 100  | 150  | 250  | 350  |
| 300               | –                                                                        | –  | –  | –    | –    | –    | –    |
| 600               | –                                                                        | –  | –  | 97,3 | 74,8 | 74,4 | 83,8 |
| 900               | –                                                                        | –  | –  | 64,9 | 49,8 | 49,6 | 55,8 |
| 1 200             | –                                                                        | –  | –  | 48,7 | 37,4 | 37,2 | 41,9 |
| 1 500             | –                                                                        | –  | –  | 38,9 | 29,9 | 29,7 | 33,5 |
| 1 800             | –                                                                        | –  | –  | 32,4 | 24,9 | 24,8 | 27,9 |
| 2 100             | –                                                                        | –  | –  | 27,8 | 21,4 | 21,2 | 23,9 |

**Poznámka:**

Prázdné buňky v tab.150 až 153 znamenají, že návratnost vložených prostředků na dodatečnou tepelnou izolaci je větší než 100 let.

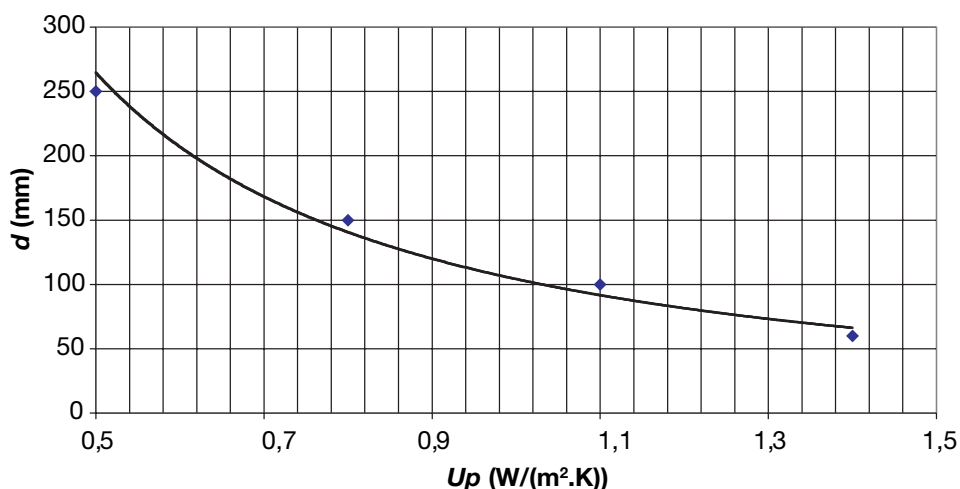
### Komentář k hodnotám v tab. 150 až 153

V tab. 150 až 153 lze zjistit, že absolutní hodnota doby návratnosti  $d_n$  je tím menší, čím je větší

- součinitel prostupu tepla původní konstrukce  $Up$ ,
- počet denostupňů  $D$ ,
- cena energie  $C_e$ .

Při každé cenové úrovni dodatečné tepelné izolace  $C_e$  existuje určitá nejmenší hodnota doby návratnosti  $d_n$ , která je spojena s určitou tloušťkou dodatečné tepelné izolace  $d$ .

Nejmenší hodnota doby návratnosti se posouvá k větším tloušťkám dodatečné tepelné izolace, zmenšuje-li se hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up$ , a to bez ohledu na počet denostupňů a ceně energie – viz obr. 27; např. je-li hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , pak nejmenší doba návratnosti je při tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d = 100 \text{ mm}$ , zatímco při  $Up = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  je tato hodnota při  $d = 250 \text{ mm}$ .



Obr. 27 Nejmenší hodnota doby návratnosti  $d_n$  v závislosti na tloušťce  $d$  (mm) DTI a součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up$  (W)/(m<sup>2</sup>K)

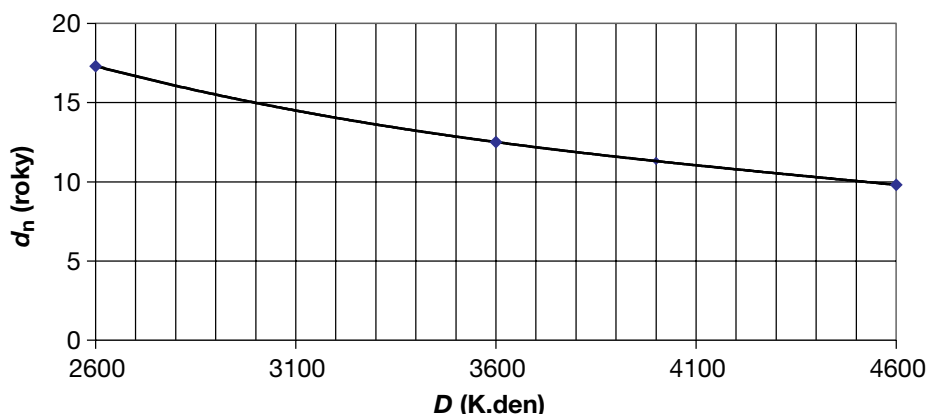
Avšak nejmenší doba návratnosti při  $Up = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  je za hranicemi přijatelné hodnoty – i při nejvyšší uvažované ceně (2 100 Kč/MWh) a největším počtu uvažovaných denostupňů ( $D = 4\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$ ) je  $d_n = 21,2 \text{ let}$  – viz tab. 153. Z uvedeného vyplývá zřejmý závěr: jestliže je hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce na této úrovni, pak nelze dosáhnout přijatelné návratnosti vložených prostředků na dodatečnou tepelnou izolaci (tím ovšem neříkáme, že nemůže nastat situace, kdy je žádoucí dodatečně tepelně izolovat konstrukci i v tomto případě – např. jde-li o realizaci tzv. quazi-nulové budovy, popř. nízkoenergetické budovy apod.)

Z tab. 150 až 153 lze také zjistit, že tloušťka dodatečné tepelné izolace 20 mm, a v některých případech až tloušťka 60 mm, nemusí být ekonomicky efektivní.

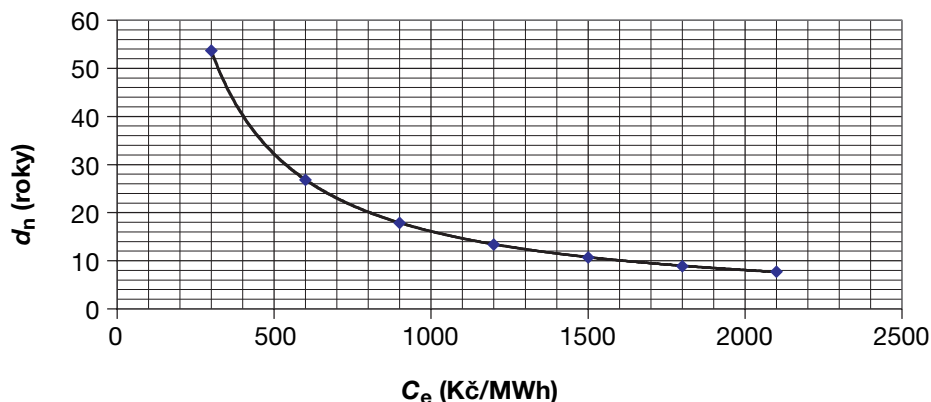
Vliv počtu denostupňů na návratnost  $d_n$  je na obr. 28 (hodnoty platí při ceně energie  $C_e = 900 \text{ Kč/MWh}$  a tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d = 60 \text{ mm}$ ). Z obr. 28 je vidět, že rozdíl v době návratnosti může být až dvojnásobný v rozsahu uvažovaného počtu denostupňů.

Denostupně charakterizují místo, ve kterém se budova bude nacházet nebo nachází. Proto je užitečné uplatňovat, při úvahách o ekonomické efektivnosti vynaložených prostředků na tepelnou izolaci budovy, konkrétní údaje ovlivňující spotřebu tepla při vytápění (tedy mj. počet denostupňů platných v daném místě).

Vliv ceny energie na návratnost je znázorněn na obr. 29 (uvedený průběh závislosti platí pro počet denostupňů  $D = 3\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$ , hodnotu součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  a tloušťku dodatečné tepelné izolace  $d = 100 \text{ mm}$  – což je v tomto případě nejvýhodnější tloušťka). Z průběhu křivky je vidět, že pro podmínky uplatněné v tomto případě je příznivá doba návratnosti tehdy, je-li cena energie  $C_e \approx 1\,100 \text{ Kč/MWh}$  a větší.



Obr. 28 Vliv počtu denostupňů  $D \text{ (d} \cdot \text{K)}$  na dobu návratnosti  $d_n \text{ (roky)}$



Obr. 29 Vliv ceny energie  $C_e \text{ (Kč/MWh)}$  na dobu návratnosti  $d_n \text{ (roky)}$

### 6.3.2 Ukazatel zisku

Ukazatel zisku  $UZ \text{ (Kč/m}^2\text{)}$  je ukazatelem ekonomické efektivnosti, který vychází z porovnání finančních prostředků investovaných do dodatečné tepelné izolace budovy a finančního zisku plynoucího z úspory energie v dané budově – viz rovnici (6.24). Proti předcházejícímu kritériu – návratnosti prostředků vynaložených na dodatečnou tepelnou izolaci – je ukazatel zisku kvantitativním ukazatelem, který vyjadřuje přímou finanční hodnotu daného řešení, spojeného s dodatečnou tepelnou izolací budovy.

Proto přistupuje při stanovování hodnoty ukazatele zisku, v porovnání s podmínkami uvažovanými při stanovování doby návratnosti, další podstatný činitel, a to úroková míra  $i \text{ (-)}$  (úrokové procento  $p \text{ (%)}$ ).



Úroková míra je v následujícím rozboru uvažována v širokém rozpětí; od hodnoty  $i = 0,01$  až do hodnoty  $i = 0,15$  ( $p = 1$  až  $15\%$ ), čímž se pokrývá široký rozsah „ceny peněz“.

Výsledky výpočtů ukazatele zisku jsou v *tab. 154 až 157*. Stejně jako v předcházejícím tabulkách i v těchto tabulkách je základním třídícím kritériem počet denostupňů, avšak počet uvažovaných činitelů je větší, takže také rozsah *tab. 154 až 157* je větší. Tabulky jsou proto také jinak koncipovány.

**Tab. 154** Ukazatel zisku  $UZ$  ( $K\check{c}/m^2$ ) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  ( $K\check{c}/MWh$ ), hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  ( $W/(m^2K)$ ) a úrokové míře  $i$  (-), době životnosti  $n = 30$  let a při počtu denostupňů  $D = 2\,600$  d · K

|            |                      |     |     |         |          |          |          |           |
|------------|----------------------|-----|-----|---------|----------|----------|----------|-----------|
| $C_e$      | ( $K\check{c}/MWh$ ) | 300 | 600 | 900     | 1 200    | 1 500    | 1 800    | 2 100     |
| $d$        | (mm)                 | 20  | 20  | 20      | 20       | 20       | 20       | 20        |
| $U_p$      | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4 | 1,4     | 1,4      | 1,4      | 1,4      | 1,4       |
| $i = 0,07$ |                      |     |     |         |          |          |          |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |         |          |          |          | 134,9705  |
| $i = 0,04$ |                      |     |     |         |          |          |          |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |         |          | 130,8634 | 307,0361 | 483,2088  |
| $i = 0,01$ |                      |     |     |         |          |          |          |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     | 38,7933 | 301,7244 | 564,6555 | 827,5866 | 1 090,518 |

|            |                      |     |     |          |          |          |           |           |
|------------|----------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                 | 40  | 40  | 40       | 40       | 40       | 40        | 40        |
| $U_p$      | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                      |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          |          |          | 20,00872  | 158,3435  |
| $i = 0,07$ |                      |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          |          | 100,4793 | 282,5751  | 464,671   |
| $i = 0,04$ |                      |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          | 205,0043 | 458,7554 | 712,5065  | 966,2576  |
| $i = 0,01$ |                      |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     | 326,1418 | 704,8557 | 1 083,57 | 1 462,284 | 1 840,997 |

|            |                      |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|----------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                 | 60  | 60  | 60       | 60       | 60        | 60        | 60        |
| $U_p$      | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                      |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          |          |           | 77,73094  | 239,8528  |
| $i = 0,07$ |                      |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          |          | 172,0386  | 385,4464  | 598,8541  |
| $i = 0,04$ |                      |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     |          | 294,537  | 591,9213  | 889,3055  | 1 186,69  |
| $i = 0,01$ |                      |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |     | 436,5044 | 880,3392 | 1 324,174 | 1 768,009 | 2 211,844 |

|            |                        |     |     |         |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100 | 100     | 100      | 100       | 100       | 100       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4     | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         |          |           | 62,85132  | 250,8265  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         |          | 172,1982  | 419,6378  | 667,0774  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         | 314,2313 | 659,0391  | 1 003,847 | 1 348,655 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 478,838 | 993,4507 | 1 508,063 | 2 022,676 | 2 537,289 |

|            |                        |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150      | 150      | 150       | 150       | 150       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           |           | 154,818   |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 69,37796  | 338,2535  | 607,1291  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 223,7155 | 598,3944  | 973,0733  | 1 347,752 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 402,5823 | 961,7765 | 1 520,971 | 2 080,165 | 2 639,359 |

|            |                        |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250      | 250      | 250       | 250       | 250       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           | 40,37584  | 329,2718  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 319,8867  | 722,464   | 1 125,041 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 109,4945 | 710,3261 | 1 311,158 | 1 911,989 | 2 512,821 |

|            |                        |     |     |     |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350      | 350      | 350       | 350       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 361,0815  | 776,9284  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 348,5434 | 969,1792 | 1 589,815 | 2 210,451 |

|            |                        |     |     |     |     |     |     |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$        | (mm)                   | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 75,96507 |

|            |                        |     |     |     |          |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40  | 40  | 40       | 40       | 40       | 40       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1      |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 129,8341 | 286,4731 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 125,1113 | 358,8892 | 592,667  | 826,4449 |

|            |                        |     |     |          |          |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60  | 60       | 60       | 60       | 60       | 60        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          |          | 111,0299  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 106,361  | 306,6332 | 506,9054  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 1,696133 | 300,5948 | 599,4936 | 898,3923 | 1 197,291 |

|            |                        |     |     |          |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100 | 100      | 100      | 100      | 100       | 100       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          | 1,502741  | 179,2532  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 173,4788 | 421,1745  | 668,8703  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 44,02975 | 413,7063 | 783,3829 | 1 153,059 | 1 522,736 |

|            |                        |     |     |     |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150 | 150      | 150      | 150       | 150       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          |           | 119,3049  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          | 112,8341 | 390,4009  | 667,9678  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 382,0321 | 796,2901 | 1 210,548 | 1 624,806 |

|            |                        |     |     |     |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250 | 250      | 250      | 250       | 250       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 139,7917  | 445,257   |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 130,5817 | 586,4771 | 1 042,373 | 1 498,268 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      | 350      | 350       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 97,14397  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 244,4988 | 720,1986 | 1 195,898 |

|            |                        |     |     |     |     |          |         |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|---------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100 | 100 | 100 | 100      | 100     | 100      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8     | 0,8      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |         |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 58,70246 | 283,443 | 508,1834 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150      | 150      | 150      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 71,60968 | 340,9316 | 610,2536 |

|            |                        |     |     |     |     |     |         |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250     | 250      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8     | 0,8      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |         |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     | 172,756 | 483,7153 |

|            |                        |     |     |     |     |     |     |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 181,3457 |

Tab.155 Ukazatel zisku  $UZ$  (Kč/m<sup>2</sup>) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  (W/(m<sup>2</sup>K)) a úrokové míře  $i$  (-) a době životnosti  $n = 30$  let a při počtu denostupňů  $D = 3\,600$  d · K

|            |                        |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $C_e$      | (Kč/MWh)               | 300 | 600 | 900      | 1200     | 1500      | 1800      | 2100      |
| $d$        | (mm)                   | 20  | 20  | 20       | 20       | 20        | 20        | 20        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           | 47,8890   | 180,8705  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 125,2455  | 300,2946  | 475,3437  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 225,7257 | 469,6571  | 713,5885  | 957,5199  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 342,1753 | 706,2338 | 1 070,292 | 1 434,351 | 1 798,409 |

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40       | 40       | 40        | 40        | 40        | 40        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           |           | 123,8746  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           | 147,7024  | 339,2428  | 530,7833  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 198,5309  | 450,6636  | 702,7963  | 954,9291  |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 244,0429 | 595,3906  | 946,7382  | 1 298,086 | 1 649,434 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 238,7463 | 763,1194 | 1 287,493 | 1 811,866 | 2 336,239 | 2 860,612 |

|            |                        |     |         |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60      | 60       | 60        | 60        | 60        | 60        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4     | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |         |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |         |          |           |           | 43,10585  | 199,4568  |
| $i = 0,1$  |                        |     |         |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |         |          | 2,90548   | 227,3819  | 451,8582  | 676,3346  |
| $i = 0,07$ |                        |     |         |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |         |          | 286,9505  | 582,4381  | 877,9257  | 1 173,413 |
| $i = 0,04$ |                        |     |         |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |         | 340,2885 | 752,0513  | 1 163,814 | 1 575,577 | 1 987,34  |
| $i = 0,01$ |                        |     |         |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 334,081 | 948,6215 | 1 563,162 | 2 177,702 | 2 792,243 | 3 406,783 |

|            |                        |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100      | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           | 22,70461  | 203,9887  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 236,3669  | 496,6403  | 756,9137  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 305,4349  | 648,0436  | 990,6523  | 1 333,261 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 367,2786  | 844,7048  | 1 322,131 | 1 799,557 | 2 276,983 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 360,0812 | 1 072,622 | 1 785,162 | 2 497,703 | 3 210,244 | 3 922,784 |

|            |                        |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150      | 150       | 150       | 150       | 150       | 150       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           |           | 103,9226  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 139,1057  | 421,9269  | 704,748   |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 214,1571  | 586,4464  | 958,7357  | 1 331,025 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 281,3584  | 800,1446  | 1 318,931 | 1 837,717 | 2 356,503 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 273,5376 | 1 047,806 | 1 822,075 | 2 596,344 | 3 370,613 | 4 144,881 |

|            |                        |     |     |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250      | 250       | 250       | 250       | 250       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           |           | 130,2794  | 434,1593  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           | 307,0491  | 707,0589  | 1 107,069 |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 536,6591  | 1 094,074 | 1 651,489 | 2 208,903 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 802,7617 | 1 634,682 | 2 466,603 | 3 298,523 | 4 130,444 |

|            |                        |     |     |          |           |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350      | 350       | 350      | 350       | 350       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4      | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           |          |           | 63,2738   |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           |          | 345,1685  | 758,3633  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 169,1521  | 744,9402 | 1 320,728 | 1 896,516 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 444,0258 | 1 303,368 | 2 162,71 | 3 022,052 | 3 881,394 |

|            |                        |     |     |          |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40  | 40       | 40       | 40       | 40        | 40        |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          |           | 17,6575   |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          | 123,8401  | 279,4801  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 57,53919 | 274,424  | 491,3088  | 708,1936  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 161,0772 | 484,7696 | 808,4619 | 1 132,154 | 1 455,847 |

|            |                        |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60  | 60       | 60       | 60        | 60        | 60        |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           | 12,0361   | 163,2088  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           |           |           |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 214,1999 | 491,4998  | 768,7998  | 1 046,1   |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 346,5793 | 760,439  | 1 174,299 | 1 588,159 | 2 002,018 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100 | 100 | 100 | 100      | 100      | 100      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          | 56,81817 | 243,7879 |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 165,5801 | 411,6961 | 657,8121 |

|                           |  |  |  |          |          |           |           |           |
|---------------------------|--|--|--|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $i = 0,04$                |  |  |  |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |  |  |          | 306,8534 | 649,8168  | 992,7801  | 1 335,743 |
| $i = 0,01$                |  |  |  |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |  |  | 470,5796 | 982,4395 | 1 494,299 | 2 006,159 | 2 518,019 |

|                             |     |     |     |          |           |          |           |           |
|-----------------------------|-----|-----|-----|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| $d$ (mm)                    | 150 | 150 | 150 | 150      | 150       | 150      | 150       | 150       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1       | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$                   |     |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |           |          |           | 191,6222  |
| $i = 0,07$                  |     |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |           | 103,9829 | 379,7795  | 655,576   |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          | 262,2932  | 646,6165 | 1 030,94  | 1 415,263 |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |          |           |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 445,7641 | 1 019,352 | 1 592,94 | 2 166,528 | 2 740,116 |

|                             |     |     |     |          |          |           |           |           |
|-----------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$ (mm)                    | 250 | 250 | 250 | 250      | 250      | 250       | 250       | 250       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,07$                  |     |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          |           | 128,1026  | 431,6197  |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 421,7596  | 844,7116  | 1 267,664 |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 200,7195 | 831,9593 | 1 463,199 | 2 094,439 | 2 725,679 |

|                             |     |     |     |     |          |           |           |           |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$ (mm)                    | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      | 350       | 350       | 350       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,07$                  |     |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |           |           | 82,91433  |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          | 72,62591  | 513,9511  | 955,2763  |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 500,6448 | 1 159,306 | 1 817,967 | 2 476,628 |

|                             |     |     |     |     |     |     |     |          |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$ (mm)                    | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     |     | 51,08155 |



|            |                        |     |     |     |     |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60  | 60  | 60  | 60       | 60       | 60       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 104,8598 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 170,8951 | 384,0741 | 597,2531 |

|            |                        |     |     |     |          |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|
| $d$ (m)    | (mm)                   | 100 | 100 | 100 | 100      | 100      | 100      | 100       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$ (Kč)  | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 186,003  | 394,5035  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$ (Kč)  | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 179,7166 | 490,8957 | 802,0749 | 1 113,254 |

|            |                        |     |     |     |          |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150 | 150      | 150      | 150      | 150       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 224,1627 | 474,0231  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 216,6292 | 589,5365 | 962,4438 | 1 335,351 |

|            |                        |     |     |     |          |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250 | 250      | 250      | 250      | 250       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 37,93447 | 326,4235  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 29,23632 | 459,7954 | 890,3545 | 1 320,914 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      | 350      | 350       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8       |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 14,03631  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 155,9023 | 613,8828 | 1 071,863 |

Tab. 156 Ukazatel zisku  $UZ$  ( $K\check{c}/m^2$ ) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  ( $K\check{c}/MWh$ ), hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $Up$  ( $W/(m^2K)$ ) a úrokové míře  $i$  (-), době životnosti  $n = 30$  let a při počtu denostupňů  $D = 4\,000$  d · K

|            |                      |     |          |          |          |           |           |           |
|------------|----------------------|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $C_e$      | ( $K\check{c}/MWh$ ) | 300 | 600      | 900      | 1200     | 1500      | 1800      | 2100      |
| $d$        | (mm)                 | 20  | 20       | 20       | 20       | 20        | 20        | 20        |
| $Up$       | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                      |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |          |          |           | 136,543   | 284,300   |
| $i = 0,07$ |                      |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |          | 27,99603 | 222,495   | 416,994   | 611,493   |
| $i = 0,04$ |                      |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          | 63,10471 | 334,1396 | 605,1745  | 876,2094  | 1 147,244 |
| $i = 0,01$ |                      |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     | 59,01877 | 463,5282 | 868,0375 | 1 272,547 | 1 677,056 | 2 081,566 |

|            |                      |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|----------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                 | 40  | 40       | 40       | 40        | 40        | 40        | 40        |
| $Up$       | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                      |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |          |           |           | 79,40437  | 227,6384  |
| $i = 0,1$  |                      |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |          | 41,29099  | 254,1137  | 466,9365  | 679,7592  |
| $i = 0,07$ |                      |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          | 30,44241 | 310,5899  | 590,7374  | 870,8848  | 1 151,032 |
| $i = 0,04$ |                      |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          | 361,1588 | 751,5451  | 1 141,931 | 1 532,318 | 1 922,704 |
| $i = 0,01$ |                      |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     | 355,2736 | 937,9104 | 1 520,547 | 2 103,184 | 2 685,821 | 3 268,458 |

|            |                      |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|----------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                 | 60  | 60       | 60        | 60        | 60        | 60        | 60        |
| $Up$       | ( $W/(m^2K)$ )       | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                      |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |           |           |           | 147,3398  | 321,0631  |
| $i = 0,1$  |                      |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          |           | 102,6728  | 352,0909  | 601,5091  | 850,9273  |
| $i = 0,07$ |                      |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     |          | 89,95873  | 418,2783  | 746,5979  | 1 074,917 | 1 403,237 |
| $i = 0,04$ |                      |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     | 20,02848 | 477,5427  | 935,057   | 1 392,571 | 1 850,085 | 2 307,600 |
| $i = 0,01$ |                      |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | ( $K\check{c}/m^2$ ) |     | 470,6455 | 1 153,468 | 1 836,291 | 2 519,114 | 3 201,937 | 3 884,759 |

|            |                        |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100      | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           | 143,5607  | 344,9875  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 91,77059  | 380,9632  | 670,1559  | 959,3485  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 77,02907  | 457,7054  | 838,3818  | 1 219,058 | 1 599,735 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 526,4207  | 1 056,894 | 1 587,368 | 2 117,841 | 2 648,315 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 518,4236 | 1 310,135 | 2 101,847 | 2 893,559 | 3 685,271 | 4 476,983 |

|            |                        |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150      | 150       | 150       | 150       | 150       | 150       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           | 38,25958  | 257,1362  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 296,2286  | 610,4743  | 924,72    |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 379,619   | 793,2738  | 1 206,929 | 1 620,583 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 454,2871  | 1 030,716 | 1 607,145 | 2 183,574 | 2 760,003 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 445,5973 | 1 305,896 | 2 166,195 | 3 026,493 | 3 886,792 | 4 747,09  |

|            |                        |     |          |           |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250      | 250       | 250       | 250       | 250       | 250       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           | 332,866   | 670,5104  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 84,82138  | 529,2767  | 973,7321  | 1 418,187 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 165,0493  | 784,399   | 1 403,749 | 2 023,099 | 2 642,448 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |           |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 155,7124 | 1 080,069 | 2 004,425 | 2 928,781 | 3 853,137 | 4 777,493 |

|            |                        |     |     |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350      | 350       | 350       | 350       | 350       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           |           |           | 307,4153  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           | 161,5264  | 620,6317  | 1 079,737 |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 425,0579  | 1 064,822 | 1 704,587 | 2 344,351 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 730,4732 | 1 685,298 | 2 640,122 | 3 594,946 | 4 549,771 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 20  | 20  | 20  | 20  | 20       | 20       | 20       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 101,4222 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 157,6539 | 339,1847 | 520,7155 |

|               |                        |     |     |          |          |          |           |           |
|---------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$           | (mm)                   | 40  | 40  | 40       | 40       | 40       | 40        | 40        |
| $Up$          | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$     |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$          | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          |           | 109,6194  |
| $i = 0,07$    |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$          | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 54,66677 | 227,6001  | 400,5335  |
| $i = 0,04;30$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$          | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 153,9324 | 394,9155 | 635,8987  | 876,8818  |
| $i = 0,01$    |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$          | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 268,9746 | 628,6328 | 988,2911 | 1 347,949 | 1 707,607 |

|            |                        |     |          |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60       | 60       | 60       | 60        | 60        | 60        |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |          |           | 112,8179  | 280,7875  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |          | 210,5273  | 431,6328  | 652,7382  |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 29,33322 | 337,4443 | 6 45,5554 | 9 53,6664 | 1 261,778 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 24,68834 | 484,5325 | 944,3767 | 1 404,221 | 1 864,065 | 2 323,909 |

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100      | 100      | 100       | 100       | 100       | 100       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           | 181,4646  | 389,2087  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 28,84897  | 302,3112  | 575,7734  | 849,2357  |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 78,21118 | 459,2816  | 840,352   | 1 221,422 | 1 602,493 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 72,46641 | 641,1996 | 1 209,933 | 1 778,666 | 2 347,399 | 2 916,132 |

|            |                        |     |     |          |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150      | 150      | 150      | 150       | 150       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          | 121,783   | 354,5802  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          | 257,2032 | 563,6438  | 870,0845  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 6,077645 | 433,1035 | 860,1294 | 1 287,155 | 1 714,181 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 636,9601 | 1 274,28 | 1 911,6  | 2 548,92  | 3 186,24  |

|            |                        |     |     |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250      | 250      | 250       | 250       | 250       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           |           | 100,3706  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           | 330,4474  | 667,6886  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 186,7863 | 656,7329  | 1 126,68  | 1 596,626 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 411,1327 | 1 112,51 | 1 813,888 | 2 515,265 | 3 216,643 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |           |           | 108,8153  |

|            |                        |     |     |     |     |     |     |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 329,2381 |

|                           |  |  |  |          |          |           |           |           |
|---------------------------|--|--|--|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $i = 0,04$                |  |  |  |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |  |  |          |          | 317,8066  | 808,1679  | 1 298,529 |
| $i = 0,01$                |  |  |  |          |          |           |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |  |  | 61,53735 | 793,3831 | 1 525,229 | 2 257,075 | 2 988,92  |

|                             |     |     |     |     |     |     |          |          |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
| $d$ (mm)                    | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40       | 40       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |     |     |          |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 10,07767 | 146,7573 |

|                             |     |     |     |     |          |          |          |          |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|----------|
| $d$ (mm)                    | 60  | 60  | 60  | 60  | 60       | 60       | 60       | 60       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |     |          |          |          |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 57,24744 | 215,9553 |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |          |          |          |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 52,46229 | 289,3279 | 526,1934 | 763,059  |

|                             |     |     |     |     |          |          |           |           |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$ (mm)                    | 100 | 100 | 100 | 100 | 100      | 100      | 100       | 100       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8       | 0,8       |
| $i = 0,07$                  |     |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          |           | 98,73688  |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          | 93,33612 | 325,0033  | 556,6706  |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 318,0184 | 663,773  | 1 009,528 | 1 355,282 |

|                             |     |     |     |     |          |          |           |          |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|----------|
| $d$ (mm)                    | 150 | 150 | 150 | 150 | 150      | 150      | 150       | 150      |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8       | 0,8      |
| $i = 0,07$                  |     |     |     |     |          |          |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          |           | 119,5857 |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |     |          |          |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          | 113,1136 | 390,7363  | 668,359  |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |          |          |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 382,3658 | 796,7072 | 1 211,049 | 1 625,39 |

|                             |     |     |     |     |          |          |           |           |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$ (mm)                    | 250 | 250 | 250 | 250 | 250      | 250      | 250       | 250       |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8       | 0,8       |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 230,2605  | 550,8039  |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |     |          |          |           |           |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 220,5959 | 698,9949 | 1 177,394 | 1 655,793 |

|            |                        |     |     |     |     |          |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      | 350      | 350      |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |          |          | 252,707  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |          |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     | 410,3359 | 919,2031 | 1 428,07 |

|            |                        |     |     |     |     |     |     |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150      |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 64,53989 |

|            |                        |     |     |     |     |     |     |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250      |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |     |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     |     | 94,94265 |

Tab. 157 Ukazatel zisku  $UZ$  (Kč/m<sup>2</sup>) v závislosti na tloušťce dodatečné tepelné izolace  $d$  (mm), ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh), hodnotě součinitele prostupu tepla původní stěny  $U_p$  (W/(m<sup>2</sup>K)) a úrokové míře  $i$  (-), době životnosti  $n = 30$  let a při počtu denostupňů  $D = 4\,600$  d · K

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $C_e$      | (Kč/MWh)               | 300 | 600      | 900      | 1200      | 1500      | 1800      | 2100      |
| $d$        | (mm)                   | 20  | 20       | 20       | 20        | 20        | 20        | 20        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           |           | 78,46578  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           | 99,60405  | 269,5249  | 439,4457  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 144,6954  | 368,3693  | 592,0431  | 815,717   |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 185,0704 | 496,7606  | 808,4507  | 1 120,141 | 1 431,831 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 180,3716 | 645,5574 | 1 110,743 | 1 575,929 | 2 041,115 | 2 506,301 |

|            |                        |     |     |     |          |          |         |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|---------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40  | 40  | 40       | 40       | 40      | 40       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4     | 1,4      |
| $i = 0,15$ |                        |     |     |     |          |          |         |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          | 42,34586 | 212,815 | 383,2842 |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |     |          |          |         |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 168,9846 | 413,7308 | 658,477 | 903,2231 |

|                            |  |          |           |           |           |           |           |  |
|----------------------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| $i = 0,07$                 |  |          |           |           |           |           |           |  |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |          | 156,5088  | 478,6784  | 800,848   | 1 123,018 | 1 445,187 |  |
| $i = 0,04$                 |  |          |           |           |           |           |           |  |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  | 87,88844 | 536,8327  | 985,7769  | 1 434,721 | 1 883,665 | 2 332,61  |  |
| $i = 0,01$                 |  |          |           |           |           |           |           |  |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  | 530,0647 | 1 200,097 | 1 870,129 | 2 540,162 | 3 210,194 | 3 880,226 |  |

|                              |     |          |           |           |           |           |           |     |
|------------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| $d$ (mm)                     | 60  | 60       | 60        | 60        | 60        | 60        | 60        | 60  |
| $U_p$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4 |
| $i = 0,15$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 103,909   | 303,6908  | 503,4726  |     |
| $i = 0,1$                    |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 252,3237  | 539,1546  | 825,9855  | 1 112,816 |     |
| $i = 0,07$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 237,7025  | 615,2701  | 992,8376  | 1 370,405 | 1 747,973 |     |
| $i = 0,04$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 157,2828 | 683,4241  | 1 209,566 | 1 735,707 | 2 261,848 | 2 787,99  |     |
| $i = 0,01$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 675,4924 | 1 460,739 | 2 245,985 | 3 031,231 | 3 816,477 | 4 601,723 |     |

|                              |     |          |           |           |           |           |           |     |
|------------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| $d$ (mm)                     | 100 | 100      | 100       | 100       | 100       | 100       | 100       | 100 |
| $U_p$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4 |
| $i = 0,15$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 93,20399  | 324,8448  | 556,4856  |     |
| $i = 0,1$                    |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 265,2862  | 597,8577  | 930,4293  | 1 263,001 |     |
| $i = 0,07$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 248,3334  | 686,1112  | 1 123,889 | 1 561,667 | 1 999,445 |     |
| $i = 0,04$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 155,0892 | 765,1338  | 1 375,178 | 1 985,223 | 2 595,268 | 3 205,312 |     |
| $i = 0,01$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 755,9371 | 1 666,406 | 2 576,874 | 3 487,343 | 4 397,811 | 5 308,28  |     |

|                              |     |     |     |          |          |          |           |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----|
| $d$ (mm)                     | 150 | 150 | 150 | 150      | 150      | 150      | 150       | 150 |
| $U_p$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4      | 1,4      | 1,4      | 1,4       | 1,4 |
| $i = 0,15$                   |     |     |     |          |          |          |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          | 235,2485 | 486,9566  |     |
| $i = 0,1$                    |     |     |     |          |          |          |           |     |
| $U_Z$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 170,5303 | 531,9129 | 893,2954 | 1 254,678 |     |



|                           |  |          |          |           |           |           |           |  |
|---------------------------|--|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| $i = 0,07$                |  |          |          |           |           |           |           |  |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |          | 152,1089 | 627,8119  | 1 103,515 | 1 579,218 | 2 054,921 |  |
| $i = 0,04$                |  |          |          |           |           |           |           |  |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  | 50,78681 | 713,6802 | 1 376,574 | 2 039,467 | 2 702,36  | 3 365,254 |  |
| $i = 0,01$                |  |          |          |           |           |           |           |  |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> ) |  | 703,6869 | 1 693,03 | 2 682,374 | 3 671,717 | 4 661,061 | 5 650,404 |  |

|                             |     |          |           |           |           |           |           |          |
|-----------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| $d$ (mm)                    | 250 | 250      | 250       | 250       | 250       | 250       | 250       | 250      |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4      |
| $i = 0,15$                  |     |          |           |           |           |           |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           |           |           | 200,1513 |
| $i = 0,1$                   |     |          |           |           |           |           |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 248,455   | 636,7459  | 1 025,037 |          |
| $i = 0,07$                  |     |          |           |           |           |           |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           | 351,4946  | 862,6182  | 1 373,742 | 1 884,866 |          |
| $i = 0,04$                  |     |          |           |           |           |           |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 443,7567  | 1 156,009 | 1 868,261 | 2 580,513 | 3 292,766 |          |
| $i = 0,01$                  |     |          |           |           |           |           |           |          |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 433,0192 | 1 496,029 | 2 559,038 | 3 622,048 | 4 685,058 | 5 748,067 |          |

|                             |     |          |           |           |           |           |           |     |
|-----------------------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| $d$ (mm)                    | 350 | 350      | 350       | 350       | 350       | 350       | 350       | 350 |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,4 | 1,4      | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4       | 1,4 |
| $i = 0,1$                   |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           |           | 272,538   | 673,6276  |     |
| $i = 0,07$                  |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |           |           | 505,8554  | 1 033,826 | 1 561,797 |     |
| $i = 0,04$                  |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 73,18746  | 808,9166  | 1 544,646 | 2 280,375 | 3 016,104 |     |
| $i = 0,01$                  |     |          |           |           |           |           |           |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 62,09608 | 1 160,144 | 2 258,192 | 3 356,24  | 4 454,288 | 5 552,336 |     |

|                             |     |     |     |          |         |          |          |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|----------|---------|----------|----------|-----|
| $d$ (mm)                    | 20  | 20  | 20  | 20       | 20      | 20       | 20       | 20  |
| $Up$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1     | 1,1      | 1,1      | 1,1 |
| $i = 0,04$                  |     |     |     |          |         |          |          |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |         | 89,25899 | 229,1355 |     |
| $i = 0,01$                  |     |     |     |          |         |          |          |     |
| $UZ$ (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 85,04161 | 293,802 | 502,5624 | 711,3228 |     |

|            |                        |     |          |          |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40       | 40       |          | 40        | 40        | 40        |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |          |           | 96,48203  | 247,5624  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |          | 184,3668  | 383,2401  | 582,1135  |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 21,39173 | 298,5223 | 575,6529  | 852,7835  | 1 129,914 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 17,21388 | 430,8208 | 844,4278 | 1 258,035 | 1 671,642 | 2 085,249 |

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60       | 60       | 60        | 60        | 60        | 60        |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           |           | 46,7956   |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           | 70,82548  | 263,9906  | 457,1557  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 122,0851  | 376,3564  | 630,6277  | 884,899   |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 167,9832 | 522,3109  | 876,6387  | 1 230,966 | 1 585,294 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 162,6416 | 691,4624 | 1 220,283 | 1 749,104 | 2 277,925 | 2 806,746 |

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100      | 100      | 100       | 100       | 100       | 100       |
| $Up$       | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           |           | 99,80856  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           | 129,5286  | 368,4343  | 607,34    |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 192,9263  | 507,4079  | 821,8895  | 1 136,371 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 249,6929 | 687,9238  | 1 126,155 | 1 564,386 | 2 002,617 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 243,0864 | 897,1295 | 1 551,173 | 2 205,216 | 2 859,259 | 3 513,302 |

|            |                        |     |          |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150      | 150      | 150       | 150       | 150       | 150       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1      | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,15$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           |           |           | 30,27959  |
| $i = 0,1$  |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          |           | 63,58374  | 331,3005  | 599,0172  |
| $i = 0,07$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          |          | 134,6269  | 487,0337  | 839,4404  | 1 191,847 |
| $i = 0,04$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |          | 198,2393 | 689,3191  | 1 180,399 | 1 671,479 | 2 162,558 |
| $i = 0,01$ |                        |     |          |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     | 190,8361 | 923,7541 | 1 656,672 | 2 389,59  | 3 122,508 | 3 855,426 |

|            |                        |     |     |          |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250      | 250       | 250       | 250       | 250       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1      | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           |           | 74,75101  | 369,3762  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |           | 246,1371  | 633,9645  | 1 021,792 |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 468,7543  | 1 009,193 | 1 549,631 | 2 090,07  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 726,7526 | 1 533,337 | 2 339,921 | 3 146,505 | 3 953,089 |

|            |                        |     |     |         |           |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350     | 350       | 350       | 350       | 350       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 1,1 | 1,1 | 1,1     | 1,1       | 1,1       | 1,1       | 1,1       |
| $i = 0,1$  |                        |     |     |         |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         |           |           |           | 17,96688  |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |         |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         |           |           | 294,049   | 698,7239  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |         |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         | 121,662   | 685,5775  | 1 249,493 | 1 813,409 |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |         |           |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 390,868 | 1 232,491 | 2 074,113 | 2 915,736 | 3 757,359 |

|            |                        |     |     |     |     |     |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 40  | 40  | 40  | 40  | 40  | 40       | 40       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |     |     |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     | 133,0893 | 290,2709 |

|            |                        |     |     |     |          |          |          |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 60  | 60  | 60  | 60       | 60       | 60       | 60        |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |          |          | 21,82534  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          | 17,57046 | 200,0846 | 382,5987  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |          |          |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 194,5816 | 466,977  | 739,3724 | 1 011,768 |

|            |                        |     |     |          |          |          |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 100 | 100 | 100      | 100      | 100      | 100       | 100       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      | 0,8      | 0,8       | 0,8       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          |          |          | 82,11207  | 273,2974  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |          | 0,66923  | 267,0865 | 533,5038  | 799,9212  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |          |          |          |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 127,8534 | 525,4712 | 923,089  | 1 320,707 | 1 718,325 |

|            |                        |     |     |         |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 150 | 150 | 150     | 150      | 150       | 150       | 150       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8     | 0,8      | 0,8       | 0,8       | 0,8       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         |          |           | 99,66302  | 328,7735  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |         | 2,064484 | 321,3306  | 640,5967  | 959,8628  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |         |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     | 154,478 | 630,9706 | 1 107,463 | 1 583,956 | 2 060,449 |

|            |                        |     |     |     |          |           |           |           |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|----------|-----------|-----------|-----------|
| $d$        | (mm)                   | 250 | 250 | 250 | 250      | 250       | 250       | 250       |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8       | 0,8       | 0,8       |
| $i = 0,07$ |                        |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          |           |           | 158,7183  |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |          | 150,1247  | 518,7496  | 887,3745  |
| $i = 0,01$ |                        |     |     |     |          |           |           |           |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     | 507,6353 | 1 057,794 | 1 607,953 | 2 158,112 |

|            |                        |     |     |     |     |     |          |          |
|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|
| $d$        | (mm)                   | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 350      | 350      |
| $U_p$      | (W/(m <sup>2</sup> K)) | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8      | 0,8      |
| $i = 0,04$ |                        |     |     |     |     |     |          |          |
| $UZ$       | (Kč/m <sup>2</sup> )   |     |     |     |     |     | 218,6112 | 610,7131 |

|            |                      |  |  |  |          |          |           |           |
|------------|----------------------|--|--|--|----------|----------|-----------|-----------|
| $i = 0,01$ |                      |  |  |  |          |          |           |           |
| UZ         | (Kč/m <sup>2</sup> ) |  |  |  | 206,7891 | 791,9863 | 1 377,184 | 1 962,381 |

### Komentář k tab. 154 až 157

Prázdné buňky v tab. 154 až 157 znamenají ztrátu, tzn., že vynaložené finanční prostředky jsou větší než zisk plynoucí z úspory energie. Z těchto tabulek je také ihned vidět, pro které hodnoty uvažovaných činitelů je přijaté řešení dodatečné tepelné izolace ekonomicky výhodné nebo nevýhodné.

Tab. 154 až 157 nejsou však úplné, tj. neobsahují všechny uvažované činitele v plném rozsahu. Úplná tabulka by obsahovala všechny tloušťky 20 až 350 mm, všechny hodnoty součinitelů prostupu tepla původní konstrukce 1,4 až 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) a všechny hodnoty úrokové míry 0,15 – 0,01; ve všech případech v odpovídajících odstupňovaných hodnotách. Jestliže některý činitel není v uvedených tabulkách, pak to znamená, že by při jeho uplatnění nebylo dosaženo zisku. Proto se neuvádí – podobně jako prázdné buňky v příslušném řádku.

Např. v tab. 154 se při tloušťce tepelné izolace 20 mm začíná až s hodnotou úrokové míry  $i = 0,07$ , a to proto, že úroková míra 0,1 a 0,15 je natolik vysoká při uplatnění této tloušťky dodatečné tepelné izolace, že to vede ke ztrátě (vynaložené prostředky na takovou dodatečnou tepelnou izolaci převyšují prostředky získané z úspory energie při vytápění).

V téže tabulce není vůbec část tabulky, která by obsahovala oddíl se součinitelem prostupu tepla původní konstrukce  $U_p = 0,5$  W/(m<sup>2</sup>K); konečnou tento oddíl chybí ve všech tabulkách (tzn. že při uvedených podmínkách se nemůže očekávat žádný zisk při uplatnění dodatečné tepelné izolace, má-li původní konstrukce tuto hodnotu součinitele prostupu tepla, což je obdobný závěr jako u tabulek obsahujících návratnost).

Ještě jeden příklad z tab. 154: V oddílu, ve kterém se uplatňuje součinitel prostupu tepla původní konstrukce  $U_p = 0,8$  W/(m<sup>2</sup>K), se začíná až od tloušťky dodatečné tepelné izolace 100 mm (z důvodů výše uvedených) a pouze jedním řádkem zisku při nejnižší úrovni úrokové míry.

Obecně o získaných výsledcích v tab. 154 až 157 platí, že zisk z úspor energie při vytápění je tím větší, čím větší je cena energie, čím větší je hodnota součinitele prostupu tepla původní konstrukce a čím menší je úroková míra.

## 6.3.3 Vyhodnocení ekonomické efektivity opatření ke zlepšení obvodového pláště panelového domu

Jedná se o typ BANKS, popsany v kap. 2, a to ve čtyřech variantách A1, A2, A3 a A4. Pro úpravy platí měrné pořizovací náklady  $I$  (Kč/m<sup>2</sup>) uvedené v tab. 158; celkové pořizovací náklady  $I_0$  jsou v tab. 159.

Tab. 158 Měrné pořizovací náklady úprav  $I$  (Kč/m<sup>2</sup>)

| Druh konstrukce | $I$ (Kč/m <sup>2</sup> ) varianty |       |       |        |
|-----------------|-----------------------------------|-------|-------|--------|
|                 | A1                                | A2    | A3    | A4     |
| Obvodová stěna  | 1 000                             | 1 090 | 1 160 | 1 820  |
| Okno            | 6 000                             | 6 000 | 6 000 | 12 000 |
| Střecha         | 70                                | 220   | 350   | 1 520  |

Tab. 159 Celkové pořizovací náklady  $I_o$  (Kč/m<sup>2</sup>)

| Druh konstrukce | Plocha (m <sup>2</sup> ) | $I_o$ (Kč/m <sup>2</sup> ) varianty |           |           |           |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                 |                          | A1                                  | A2        | A3        | A4        |
| Obvodová stěna  | 1 516,8                  | 1 516 800                           | 1 653 312 | 1 759 488 | 2 760 576 |
| Okno            | 441,0                    | 2 646 000                           | 2 646 000 | 2 646 000 | 5 292 000 |
| Střecha         | 306,2                    | 21 434                              | 67 364    | 107 170   | 465 424   |
| Celkem          |                          | 4 184 234                           | 4 366 676 | 4 512 658 | 8 518 000 |

V tab. 160 a 161 jsou uvedeny vícenáklady, tj. náklady, které jsou přímo spojeny s energetickými úsporami (např. při výměně oken se uvažují vícenáklady u oken s lepšími tepelně technickými vlastnostmi proti oknům s vlastnostmi používanými v současné době).

Tab. 160 Měrné pořizovací náklady úprav  $I$  (Kč/m<sup>2</sup>) – pouze vícenáklady

| Druh konstrukce | $I$ (Kč/m <sup>2</sup> ) varianty |       |       |       |
|-----------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | A1                                | A2    | A3    | A4    |
| Obvodová stěna  | 1 000                             | 1 090 | 1 160 | 1 820 |
| Okno            | 3 000                             | 3 000 | 3 000 | 9 000 |
| Střecha         | 70                                | 220   | 350   | 1 520 |

Tab. 161 Celkové pořizovací náklady  $I_o$  (Kč/m<sup>2</sup>) – pouze vícenáklady

| Druh konstrukce | Plocha (m <sup>2</sup> ) | $I_o$ (Kč/m <sup>2</sup> ) varianty |           |           |           |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                 |                          | A1                                  | A2        | A3        | A4        |
| Obvodová stěna  | 1 516,8                  | 1 516 800                           | 1 653 312 | 1 759 488 | 2 760 576 |
| Okno            | 441,0                    | 1 323 000                           | 1 323 000 | 1 323 000 | 3 969 000 |
| Střecha         | 306,2                    | 21 434                              | 67 364    | 107 170   | 465 424   |
| Celkem          |                          | 2 861 234                           | 3 043 676 | 3 189 658 | 7 195 000 |

V tab. 162 jsou uvedeny výsledky výpočtu tepelných ztrát prostupem u jednotlivých variant, včetně varianty A0, jejíž hodnoty platí pro původní stav tepelně technických vlastností obvodového pláště. Přitom je uvažován podíl okenních ploch  $a = 0,18$ .

Tab. 162 Dům BANKS (8 podlaží, 32 b. j.) Tepelná ztráta prostupem  $H_T$  (W/K) – varianta A0 až A4 ( $b$  je činitel teplotní redukce)

| Druh konstrukce | Plocha (m <sup>2</sup> ) | b (-)           | Varianta |            |       |            |       |            |       |            |       |            |
|-----------------|--------------------------|-----------------|----------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
|                 |                          |                 | A0       |            | A1    |            | A2    |            | A3    |            | A4    |            |
|                 |                          |                 | $U_i$    | $U_j.Aj.b$ | $U_i$ | $U_j.Aj.b$ | $U_i$ | $U_j.Aj.b$ | $U_i$ | $U_j.Aj.b$ | $U_i$ | $U_j.Aj.b$ |
| Stěna           | 1 516,8                  | 1               | 0,63     | 955,58     | 0,4   | 606,72     | 0,3   | 455,04     | 0,25  | 379,20     | 0,1   | 151,68     |
| Okno            | 441                      | 1 <sup>*)</sup> | 2,8      | 1 234,80   | 1,7   | 749,70     | 1,7   | 749,70     | 1,7   | 749,70     | 0,7   | 308,70     |
| Střecha         | 306,2                    | 1               | 0,46     | 140,85     | 0,4   | 122,48     | 0,3   | 91,86      | 0,25  | 76,55      | 0,1   | 30,62      |
| Podlaha         | 306,2                    | 0,75            | 0,77     | 176,83     | 0,77  | 176,83     | 0,77  | 176,83     | 0,77  | 176,83     | 0,77  | 176,83     |
| Σ               | 2 570,2                  |                 | 0,98     | 2 508,07   | 0,64  | 1 655,73   | 0,57  | 1 473,43   | 0,54  | 1 382,28   | 0,26  | 667,83     |

<sup>\*)</sup> Pro okno je součinitel teplotní redukce  $b = 1$ , jelikož příslušná hodnota (1,15) je zahrnuta už v hodnotě součinitele prostupu tepla  $U_j$

Celková jednotková tepelná ztráta budovy, včetně tepelné ztráty větráním  $H_V$  (W/K), je v tab. 163.

Tepelná ztráta větráním je

$$H_V = V \cdot \rho_c = V \cdot n \cdot \rho_c = 5193 \cdot 0,5 \cdot 0,34 = 882,8 \text{ W/K}$$

Tab. 163 Dům BANKS (8 podlaží 32 b.j.). Celková jednotková tepelná ztráta

$H = (H_T + H_V)$  (W/K) pro varianty A0 – A4 ( $H_V$  (W/K)) je tepelná ztráta větráním).

| Druh ztráty           | Varianta |          |          |          |          |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                       | A0       | A1       | A2       | A3       | A4       |
| $H_V$ (W/K)           | 882,8    | 882,8    | 882,8    | 882,8    | 882,8    |
| $H_T$ (W/K)           | 2 508,07 | 1 655,73 | 1 473,43 | 1 382,28 | 667,83   |
| $H = H_T + H_V$ (W/K) | 3 390,87 | 2 538,53 | 2 356,23 | 2 265,08 | 1 550,63 |

V tab. 164 jsou uvedeny hodnoty roční spotřeby tepla při vytápění pro jednotlivé varianty.

Tab. 164 Roční spotřeba tepla při vytápění pro jednotlivé varianty ( $\theta_e$  je teplota vnějšího vzduchu (°C),  $\theta_i$  je vnitřní teplota (°C),  $Q_t$  je roční spotřeba tepla)

A0

| Měsíc | $\theta_e$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $t = 24 \cdot d$ | $H$ (kW/K) | $Q_t$ (kWh)      |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|------------|------------------|
| X     | 9,3             | 10,7                       | 744              |            | 26 987,1         |
| XI    | 3,3             | 16,7                       | 720              |            | 40 761,4         |
| XII   | -0,3            | 20,3                       | 744              |            | 51 199,8         |
| I     | -1,5            | 21,5                       | 744              | 3,39       | 54 226,4         |
| II    | -0,2            | 20,2                       | 672              |            | 46 017,2         |
| III   | 1,9             | 18,1                       | 744              |            | 45 651,1         |
| IV    | 8,5             | 11,5                       | 720              |            | 28 069,2         |
|       |                 |                            |                  | $\Sigma$   | <b>292 912,3</b> |

A1

| Měsíc | $\theta_e$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $t = 24 \cdot d$ | $H$ (kW/K)       | $Q_t$ (kWh)      |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| X     | 9,3             | 10,7                       | 744              |                  | 20 220,4         |
| XI    | 3,3             | 16,7                       | 720              |                  | 30 541,0         |
| XII   | -0,3            | 20,3                       | 744              |                  | 38 362,1         |
| I     | -1,5            | 21,5                       | 744              | 2,54             | 40 629,8         |
| II    | -0,2            | 20,2                       | 672              |                  | 34 479,0         |
| III   | 1,9             | 18,1                       | 744              |                  | 34 204,7         |
| IV    | 8,5             | 11,5                       | 720              |                  | 21 031,2         |
|       |                 |                            |                  | $\Sigma$         | <b>219 468,2</b> |
|       |                 |                            |                  | $\Delta (0 - 1)$ | <b>73 444,1</b>  |

A2

| Měsíc | $\theta_e$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $t = 24 \cdot d$ | $H$ (kW/K)      | $Q_t$ (kWh)      |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| X     | 9,3             | 10,7                       | 744              |                 | 18 787,5         |
| XI    | 3,3             | 16,7                       | 720              |                 | 28 376,6         |
| XII   | -0,3            | 20,3                       | 744              |                 | 35 643,6         |
| I     | -1,5            | 21,5                       | 744              | 2,36            | 37 750,6         |
| II    | -0,2            | 20,2                       | 672              |                 | 32 035,6         |
| III   | 1,9             | 18,1                       | 744              |                 | 31 780,7         |
| IV    | 8,5             | 11,5                       | 720              |                 | 19 540,8         |
|       |                 |                            |                  | $\Sigma$        | <b>203 915,3</b> |
|       |                 |                            |                  | $\Delta(0 - 2)$ | <b>88 996,9</b>  |

A3

| Měsíc | $\theta_e$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $t = 24 \cdot d$ | $H$ (kW/K)      | $Q_t$ (kWh)      |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| X     | 9,3             | 10,7                       | 744              |                 | 18 071,0         |
| XI    | 3,3             | 16,7                       | 720              |                 | 27 294,5         |
| XII   | -0,3            | 20,3                       | 744              |                 | 34 284,3         |
| I     | -1,5            | 21,5                       | 744              | 2,27            | 36 310,9         |
| II    | -0,2            | 20,2                       | 672              |                 | 30 813,9         |
| III   | 1,9             | 18,1                       | 744              |                 | 30 568,7         |
| IV    | 8,5             | 11,5                       | 720              |                 | 18 795,6         |
|       |                 |                            |                  | $\Sigma$        | <b>196 138,9</b> |
|       |                 |                            |                  | $\Delta(0 - 3)$ | <b>96 773,4</b>  |

A4

| Měsíc | $\theta_e$ (°C) | $\theta_i - \theta_e$ (°C) | $t = 24 \cdot d$ | $H$ (kW/K)      | $Q_t$ (kWh)      |
|-------|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| X     | 9,3             | 10,7                       | 744              |                 | 12 339,2         |
| XI    | 3,3             | 16,7                       | 720              |                 | 18 637,2         |
| XII   | -0,3            | 20,3                       | 744              |                 | 23 410,0         |
| I     | -1,5            | 21,5                       | 744              | 1,55            | 24 793,8         |
| II    | -0,2            | 20,2                       | 672              |                 | 21 040,3         |
| III   | 1,9             | 18,1                       | 744              |                 | 20 872,9         |
| IV    | 8,5             | 11,5                       | 720              |                 | 12 834,0         |
|       |                 |                            |                  | $\Sigma$        | <b>133 927,4</b> |
|       |                 |                            |                  | $\Delta(0 - 4)$ | <b>158 984,8</b> |

**Poznámka:**

Veličina  $\Delta(0 - j)$ , kde  $j$  je číslo varianty, představuje rozdíl ve spotřebě tepla  $j$ -té varianty a varianty s počátečními tepelné technickými vlastnostmi – tedy úsporu tepla.

Finanční vyjádření úspor tepla je – při uvažování základní ceny tepla 300 Kč/GJ (1 086 Kč/kWh):

- úspora varianty A1 proti variantě A0 –  $\Delta(0 - 1) = 79\,538$  Kč
- úspora varianty A2 proti variantě A0 –  $\Delta(0 - 2) = 96\,549$  Kč



- úspora varianty A3 proti variantě A0 –  $\Delta$  (0 – 3) = 105 055 Kč
- úspora varianty A4 proti variantě A0 –  $\Delta$  (0 – 4) = 171 725 Kč

Vyhodnocení ekonomické efektivity opatření navržených pro uvedenou budovu je provedeno metodou peněžních toků (cash-flow), při uvažování vzestupné ceny energie a reálné hodnoty úrokového procenta, a to tak, že základní cena se zvyšuje prvních 5 let o 8 % ročně a v dalších 5 letech o 4 % ročně. Potom následuje růst o 2 % ročně. Nominální úrokové procento se uvažuje ve výši  $p_n = 5 \%$ , procento inflace  $i = 3 \%$ , takže reálné úrokové procento je přibližně 2 %.

Výsledky jsou v tab. 165 až 172. V jednotlivých sloupcích těchto tabulek značí:

- sloupec 1 čas  $T$  v rocích
- sloupec 2 růst ceny energie
- sloupec 3 hodnota ročních úspor
- sloupec 4 diskontované roční úspory
- sloupec 5 vícenáklady na pořízení varianty
- sloupec 6 peněžní tok (Kč)

**Tab.165** Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A1 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrstnosti)

Roční úspora energie 79 980 Kč  
Náklady 4 184 234 Kč  
Diskont 0,02

více než 31 let

| 1   | 2                   | 3            | 4                         | 5           | 6           |
|-----|---------------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| $T$ | zvýšení cen energií | roční úspora | diskontovaná roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0   |                     |              |                           | - 4 184 234 |             |
| 1   | 1,00                | 79 980       | 78 412                    |             | - 4 105 822 |
| 2   | 1,08                | 86 378       | 83 024                    |             | - 4 022 798 |
| 3   | 1,08                | 93 289       | 87 908                    |             | - 3 934 890 |
| 4   | 1,08                | 100 752      | 93 079                    |             | - 3 841 811 |
| 5   | 1,08                | 108 812      | 98 554                    |             | - 3 743 257 |
| 6   | 1,08                | 117 517      | 104 352                   |             | - 3 638 905 |
| 7   | 1,04                | 122 218      | 106 398                   |             | - 3 532 507 |
| 8   | 1,04                | 127 106      | 108 484                   |             | - 3 424 023 |
| 9   | 1,04                | 132 190      | 110 611                   |             | - 3 313 412 |
| 10  | 1,04                | 137 478      | 112 780                   |             | - 3 200 632 |
| 11  | 1,04                | 142 977      | 114 991                   |             | - 3 085 641 |
| 12  | 1,02                | 145 837      | 114 991                   |             | - 2 970 650 |
| 13  | 1,02                | 148 754      | 114 991                   |             | - 2 855 658 |
| 14  | 1,02                | 151 729      | 114 991                   |             | - 2 740 667 |
| 15  | 1,02                | 154 763      | 114 991                   |             | - 2 625 676 |
| 16  | 1,02                | 157 858      | 114 991                   |             | - 2 510 685 |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 17 | 1,02 | 161 016 | 114 991 |   | - 2 395 693 |
| 18 | 1,02 | 164 236 | 114 991 |   | - 2 280 702 |
| 19 | 1,02 | 167 521 | 114 991 |   | - 2 165 711 |
| 20 | 1,02 | 170 871 | 114 991 |   | - 2 050 719 |
| 21 | 1,02 | 174 288 | 114 991 |   | - 1 935 728 |
| 22 | 1,02 | 177 774 | 114 991 |   | - 1 820 737 |
| 23 | 1,02 | 181 330 | 114 991 |   | - 1 705 745 |
| 24 | 1,02 | 184 956 | 114 991 |   | - 1 590 754 |
| 25 | 1,02 | 188 655 | 114 991 |   | - 1 475 763 |
| 26 | 1,02 | 192 429 | 114 991 |   | - 1 360 772 |
| 27 | 1,02 | 196 277 | 114 991 |   | - 1 245 780 |
| 28 | 1,02 | 200 203 | 114 991 |   | - 1 130 789 |
| 29 | 1,02 | 204 207 | 114 991 |   | - 1 015 798 |
| 30 | 1,02 | 208 291 | 114 991 |   | - 900 806   |

IRR pro 30 let = 0,5 %

Tab.166 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A2 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrtnosti)

Roční úspora energie 97 086 Kč  
Náklady 4 366 678 Kč  
Diskont 0,02

více než 31 let

| 1        | 2                      | 3            | 4                            | 5           | 6           |
|----------|------------------------|--------------|------------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen<br>energií | roční úspora | diskontovaná<br>roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                        |              |                              | - 4 366 678 |             |
| 1        | 1,00                   | 97 086       | 95 182                       |             | - 4 271 496 |
| 2        | 1,08                   | 104 853      | 100 781                      |             | - 4 170 714 |
| 3        | 1,08                   | 113 241      | 106 710                      |             | - 4 064 005 |
| 4        | 1,08                   | 122 300      | 112 987                      |             | - 3 951 018 |
| 5        | 1,08                   | 132 084      | 119 633                      |             | - 3 831 385 |
| 6        | 1,08                   | 142 651      | 126 670                      |             | - 3 704 715 |
| 7        | 1,04                   | 148 357      | 129 154                      |             | - 3 575 561 |
| 8        | 1,04                   | 154 292      | 131 686                      |             | - 3 443 875 |
| 9        | 1,04                   | 160 463      | 134 268                      |             | - 3 309 606 |
| 10       | 1,04                   | 166 882      | 136 901                      |             | - 3 172 705 |
| 11       | 1,04                   | 173 557      | 139 585                      |             | - 3 033 120 |
| 12       | 1,02                   | 177 028      | 139 585                      |             | - 2 893 534 |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 13 | 1,02 | 180 569 | 139 585 |   | - 2 753 949 |
| 14 | 1,02 | 184 180 | 139 585 |   | - 2 614 363 |
| 15 | 1,02 | 187 864 | 139 585 |   | - 2 474 778 |
| 16 | 1,02 | 191 621 | 139 585 |   | - 2 335 192 |
| 17 | 1,02 | 195 453 | 139 585 |   | - 2 195 607 |
| 18 | 1,02 | 199 362 | 139 585 |   | - 2 056 021 |
| 19 | 1,02 | 203 350 | 139 585 |   | - 1 916 436 |
| 20 | 1,02 | 207 417 | 139 585 |   | - 1 776 851 |
| 21 | 1,02 | 211 565 | 139 585 |   | - 1 637 265 |
| 22 | 1,02 | 215 796 | 139 585 |   | - 1 497 680 |
| 23 | 1,02 | 220 112 | 139 585 |   | - 1 358 094 |
| 24 | 1,02 | 224 514 | 139 585 |   | - 1 218 509 |
| 25 | 1,02 | 229 005 | 139 585 |   | - 1 078 923 |
| 26 | 1,02 | 233 585 | 139 585 |   | - 939 338   |
| 27 | 1,02 | 238 257 | 139 585 |   | - 799 752   |
| 28 | 1,02 | 243 022 | 139 585 |   | - 660 167   |
| 29 | 1,02 | 247 882 | 139 585 |   | - 520 581   |
| 30 | 1,02 | 252 840 | 139 585 |   | - 380 996   |

IRR pro 30 let = 1,4 %

Tab.167 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A3 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrtnosti)

Roční úspora energie 100 209 Kč  
Náklady 4 512 658 Kč  
Diskont 0,02

více než 31 let

| 1        | 2                   | 3            | 4                         | 5           | 6           |
|----------|---------------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen energií | roční úspora | diskontovaná roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                     |              |                           | - 4 512 658 |             |
| 1        | 1,00                | 100 209      | 98 244                    |             | - 4 414 414 |
| 2        | 1,08                | 108 226      | 104 023                   |             | - 4 310 391 |
| 3        | 1,08                | 116 884      | 110 142                   |             | - 4 200 249 |
| 4        | 1,08                | 126 234      | 116 621                   |             | - 4 083 627 |
| 5        | 1,08                | 136 333      | 123 481                   |             | - 3 960 146 |
| 6        | 1,08                | 147 240      | 130 745                   |             | - 3 829 401 |
| 7        | 1,04                | 153 129      | 133 308                   |             | - 3 696 093 |
| 8        | 1,04                | 159 255      | 135 922                   |             | - 3 560 171 |
| 9        | 1,04                | 165 625      | 138 587                   |             | - 3 421 583 |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 10 | 1,04 | 172 250 | 141 305 |   | - 3 280 278 |
| 11 | 1,04 | 179 140 | 144 076 |   | - 3 136 203 |
| 12 | 1,02 | 182 723 | 144 076 |   | - 2 992 127 |
| 13 | 1,02 | 186 377 | 144 076 |   | - 2 848 052 |
| 14 | 1,02 | 190 105 | 144 076 |   | - 2 703 976 |
| 15 | 1,02 | 193 907 | 144 076 |   | - 2 559 900 |
| 16 | 1,02 | 197 785 | 144 076 |   | - 2 415 825 |
| 17 | 1,02 | 201 741 | 144 076 |   | - 2 271 749 |
| 18 | 1,02 | 205 775 | 144 076 |   | - 2 127 674 |
| 19 | 1,02 | 209 891 | 144 076 |   | - 1 983 598 |
| 20 | 1,02 | 214 089 | 144 076 |   | - 1 839 523 |
| 21 | 1,02 | 218 370 | 144 076 |   | - 1 695 447 |
| 22 | 1,02 | 222 738 | 144 076 |   | - 1 551 372 |
| 23 | 1,02 | 227 193 | 144 076 |   | - 1 407 296 |
| 24 | 1,02 | 231 736 | 144 076 |   | - 1 263 220 |
| 25 | 1,02 | 236 371 | 144 076 |   | - 1 119 145 |
| 26 | 1,02 | 241 099 | 144 076 |   | - 975 069   |
| 27 | 1,02 | 245 921 | 144 076 |   | - 830 994   |
| 28 | 1,02 | 250 839 | 144 076 |   | - 686 918   |
| 29 | 1,02 | 255 856 | 144 076 |   | - 542 843   |
| 30 | 1,02 | 260 973 | 144 076 |   | - 398 767   |

IRR pro 30 let = 1,4 %

Tab.168 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A4 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrátlosti)

Roční úspora energie 172 680 Kč  
Náklady 8 518 000 Kč  
Diskont 0,02

více než 31 let

| 1        | 2                   | 3            | 4                         | 5           | 6           |
|----------|---------------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen energií | roční úspora | diskontovaná roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                     |              |                           | - 8 518 000 |             |
| 1        | 1,00                | 172 680      | 169 294                   |             | - 8 348 706 |
| 2        | 1,08                | 186 494      | 179 253                   |             | - 8 169 453 |
| 3        | 1,08                | 201 414      | 189 797                   |             | - 7 979 656 |
| 4        | 1,08                | 217 527      | 200 961                   |             | - 7 778 695 |
| 5        | 1,08                | 234 929      | 212 783                   |             | - 7 565 912 |
| 6        | 1,08                | 253 724      | 225 299                   |             | - 7 340 613 |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 7  | 1,04 | 263 873 | 229 717 |   | - 7 110 896 |
| 8  | 1,04 | 274 427 | 234 221 |   | - 6 876 675 |
| 9  | 1,04 | 285 405 | 238 814 |   | - 6 637 861 |
| 10 | 1,04 | 296 821 | 243 496 |   | - 6 394 365 |
| 11 | 1,04 | 308 694 | 248 271 |   | - 6 146 094 |
| 12 | 1,02 | 314 867 | 248 271 |   | - 5 897 823 |
| 13 | 1,02 | 321 165 | 248 271 |   | - 5 649 553 |
| 14 | 1,02 | 327 588 | 248 271 |   | - 5 401 282 |
| 15 | 1,02 | 334 140 | 248 271 |   | - 5 153 011 |
| 16 | 1,02 | 340 823 | 248 271 |   | - 4 904 740 |
| 17 | 1,02 | 347 639 | 248 271 |   | - 4 656 469 |
| 18 | 1,02 | 354 592 | 248 271 |   | - 4 408 199 |
| 19 | 1,02 | 361 684 | 248 271 |   | - 4 159 928 |
| 20 | 1,02 | 368 917 | 248 271 |   | - 3 911 657 |
| 21 | 1,02 | 376 296 | 248 271 |   | - 3 663 386 |
| 22 | 1,02 | 383 822 | 248 271 |   | - 3 415 116 |
| 23 | 1,02 | 391 498 | 248 271 |   | - 3 166 845 |
| 24 | 1,02 | 399 328 | 248 271 |   | - 2 918 574 |
| 25 | 1,02 | 407 315 | 248 271 |   | - 2 670 303 |
| 26 | 1,02 | 415 461 | 248 271 |   | - 2 422 032 |
| 27 | 1,02 | 423 770 | 248 271 |   | - 2 173 762 |
| 28 | 1,02 | 432 245 | 248 271 |   | - 1 925 491 |
| 29 | 1,02 | 440 890 | 248 271 |   | - 1 677 220 |
| 30 | 1,02 | 449 708 | 248 271 |   | - 1 428 949 |

IRR pro 30 let = 0,9 %

Tab.169 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A1 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrtnosti)

Roční úspora energie 79 980 Kč  
Náklady 2 861 234 Kč  
Diskont 0,02

27 let

| 1        | 2                   | 3            | 4                         | 5           | 6           |
|----------|---------------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen energií | roční úspora | diskontovaná roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                     |              |                           | - 2 861 234 |             |
| 1        | 1,00                | 79 980       | 784 12                    |             | - 2 782 822 |
| 2        | 1,08                | 86 378       | 830 24                    |             | - 2 699 798 |
| 3        | 1,08                | 93 289       | 879 08                    |             | - 2 611 890 |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 4  | 1,08 | 100 752 | 93 079  |   | - 2 518 811 |
| 5  | 1,08 | 108 812 | 98 554  |   | - 2 420 257 |
| 6  | 1,08 | 117 517 | 104 352 |   | - 2 315 905 |
| 7  | 1,04 | 122 218 | 106 398 |   | - 2 209 507 |
| 8  | 1,04 | 127 106 | 108 484 |   | - 2 101 023 |
| 9  | 1,04 | 132 190 | 110 611 |   | - 1 990 412 |
| 10 | 1,04 | 137 478 | 112 780 |   | - 1 877 632 |
| 11 | 1,04 | 142 977 | 114 991 |   | - 1 762 641 |
| 12 | 1,02 | 145 837 | 114 991 |   | - 1 647 650 |
| 13 | 1,02 | 148 754 | 114 991 |   | - 1 532 658 |
| 14 | 1,02 | 151 729 | 114 991 |   | - 1 417 667 |
| 15 | 1,02 | 154 763 | 114 991 |   | - 1 302 676 |
| 16 | 1,02 | 157 858 | 114 991 |   | - 1 187 685 |
| 17 | 1,02 | 161 016 | 114 991 |   | - 1 072 693 |
| 18 | 1,02 | 164 236 | 114 991 |   | - 957 702   |
| 19 | 1,02 | 167 521 | 114 991 |   | - 842 711   |
| 20 | 1,02 | 170 871 | 114 991 |   | - 727 719   |
| 21 | 1,02 | 174 288 | 114 991 |   | - 612 728   |
| 22 | 1,02 | 177 774 | 114 991 |   | - 49 737    |
| 23 | 1,02 | 181 330 | 114 991 |   | - 38 245    |
| 24 | 1,02 | 184 956 | 114 991 |   | - 267 754   |
| 25 | 1,02 | 188 655 | 114 991 |   | - 152 763   |
| 26 | 1,02 | 192 429 | 114 991 |   | - 37 772    |
| 27 | 1,02 | 196 277 | 114 991 |   | 77 220      |
| 28 | 1,02 | 200 203 | 114 991 |   | 192 211     |
| 29 | 1,02 | 204 207 | 114 991 |   | 307 202     |
| 30 | 1,02 | 208 291 | 114 991 |   | 422 194     |

IRR pro 30 let = 2,9 %

Tab.170 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A2 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrtnosti)

Roční úspora energie 97 086 Kč  
Náklady 3 043 676 Kč  
Diskont 0,02

24 let

| 1        | 2                   | 3            | 4                         | 5           | 6           |
|----------|---------------------|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen energií | roční úspora | diskontovaná roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                     |              |                           | - 3 043 676 |             |

| 1  | 2    | 3       | 4       | 5 | 6           |
|----|------|---------|---------|---|-------------|
| 1  | 1,00 | 97 086  | 95 182  |   | - 2 948 494 |
| 2  | 1,08 | 104 853 | 100 781 |   | - 2 847 712 |
| 3  | 1,08 | 113 241 | 106 710 |   | - 2 741 003 |
| 4  | 1,08 | 122 300 | 112 987 |   | - 2 628 016 |
| 5  | 1,08 | 132 084 | 119 633 |   | - 2 508 383 |
| 6  | 1,08 | 142 651 | 126 670 |   | - 2 381 713 |
| 7  | 1,04 | 148 357 | 129 154 |   | - 2 252 559 |
| 8  | 1,04 | 154 292 | 131 686 |   | - 2 120 873 |
| 9  | 1,04 | 160 463 | 134 268 |   | - 1 986 604 |
| 10 | 1,04 | 166 882 | 136 901 |   | - 1 849 703 |
| 11 | 1,04 | 173 557 | 139 585 |   | - 1 710 118 |
| 12 | 1,02 | 177 028 | 139 585 |   | - 1 570 532 |
| 13 | 1,02 | 180 569 | 139 585 |   | - 1 430 947 |
| 14 | 1,02 | 184 180 | 139 585 |   | - 1 291 361 |
| 15 | 1,02 | 187 864 | 139 585 |   | - 1 151 776 |
| 16 | 1,02 | 191 621 | 139 585 |   | - 1 012 190 |
| 17 | 1,02 | 195 453 | 139 585 |   | - 872 605   |
| 18 | 1,02 | 199 362 | 139 585 |   | - 733 019   |
| 19 | 1,02 | 203 350 | 139 585 |   | - 593 434   |
| 20 | 1,02 | 207 417 | 139 585 |   | - 453 849   |
| 21 | 1,02 | 211 565 | 139 585 |   | - 314 263   |
| 22 | 1,02 | 215 796 | 139 585 |   | - 174 678   |
| 23 | 1,02 | 220 112 | 139 585 |   | - 35 092    |
| 24 | 1,02 | 224 514 | 139 585 |   | 104 493     |
| 25 | 1,02 | 229 005 | 139 585 |   | 244 079     |
| 26 | 1,02 | 233 585 | 139 585 |   | 383 664     |
| 27 | 1,02 | 238 257 | 139 585 |   | 523 250     |
| 28 | 1,02 | 243 022 | 139 585 |   | 662 835     |
| 29 | 1,02 | 247 882 | 139 585 |   | 802 421     |
| 30 | 1,02 | 252 840 | 139 585 |   | 942 006     |

IRR pro 30 let = 3,8 %

Tab.171 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A3 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrátlosti)

Roční úspora energie 100 209 Kč  
Náklady 3 189 658 Kč  
Diskont 0,02

24 let

| 1        | 2                      | 3            | 4                            | 5           | 6           |
|----------|------------------------|--------------|------------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen<br>energií | roční úspora | diskontovaná<br>roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                        |              |                              | - 3 189 658 |             |
| 1        | 1,00                   | 100 209      | 98 244                       |             | - 3 091 414 |
| 2        | 1,08                   | 108 226      | 104 023                      |             | - 2 987 391 |
| 3        | 1,08                   | 116 884      | 110 142                      |             | - 2 877 249 |
| 4        | 1,08                   | 126 234      | 116 621                      |             | - 2 760 627 |
| 5        | 1,08                   | 136 333      | 123 481                      |             | - 2 637 146 |
| 6        | 1,08                   | 147 240      | 130 745                      |             | - 2 506 401 |
| 7        | 1,04                   | 153 129      | 133 308                      |             | - 2 373 093 |
| 8        | 1,04                   | 159 255      | 135 922                      |             | - 2 237 171 |
| 9        | 1,04                   | 165 625      | 138 587                      |             | - 2 098 583 |
| 10       | 1,04                   | 172 250      | 141 305                      |             | - 1 957 278 |
| 11       | 1,04                   | 179 140      | 144 076                      |             | - 1 813 203 |
| 12       | 1,02                   | 182 723      | 144 076                      |             | - 1 669 127 |
| 13       | 1,02                   | 186 377      | 144 076                      |             | - 1 525 052 |
| 14       | 1,02                   | 190 105      | 144 076                      |             | - 1 380 976 |
| 15       | 1,02                   | 193 907      | 144 076                      |             | - 1 236 900 |
| 16       | 1,02                   | 197 785      | 144 076                      |             | - 1 092 825 |
| 17       | 1,02                   | 201 741      | 144 076                      |             | - 948 749   |
| 18       | 1,02                   | 205 775      | 144 076                      |             | - 804 674   |
| 19       | 1,02                   | 209 891      | 144 076                      |             | - 660 598   |
| 20       | 1,02                   | 214 089      | 144 076                      |             | - 516 523   |
| 21       | 1,02                   | 218 370      | 144 076                      |             | - 372 447   |
| 22       | 1,02                   | 222 738      | 144 076                      |             | - 228 372   |
| 23       | 1,02                   | 227 193      | 144 076                      |             | - 84 296    |
| 24       | 1,02                   | 231 736      | 144 076                      |             | 59 780      |
| 25       | 1,02                   | 236 371      | 144 076                      |             | 203 855     |
| 26       | 1,02                   | 241 099      | 144 076                      |             | 347 931     |
| 27       | 1,02                   | 245 921      | 144 076                      |             | 492 006     |
| 28       | 1,02                   | 250 839      | 144 076                      |             | 636 082     |
| 29       | 1,02                   | 255 856      | 144 076                      |             | 780 157     |
| 30       | 1,02                   | 260 973      | 144 076                      |             | 924 233     |

IRR pro 30 let = 3,7 %



Tab.172 Průběh peněžních toků (cash-flow)  
pro alternativu A3 ve srovnání s alternativou  
A0 (původní stav) u panelového domu BANKS

Vyhledání  
bodu obratu  
(reálné doby  
návrátlosti)

Roční úspora energie 172 680 Kč  
Náklady 7 195 000 Kč  
Diskont 0,02

více než 30 let

| 1        | 2                      | 3            | 4                            | 5           | 6           |
|----------|------------------------|--------------|------------------------------|-------------|-------------|
| <i>T</i> | zvýšení cen<br>energií | roční úspora | diskontovaná<br>roční úspora | náklady     | peněžní tok |
| 0        |                        |              |                              | - 7 195 000 |             |
| 1        | 1,00                   | 172 680      | 169 294                      |             | - 7 025 706 |
| 2        | 1,08                   | 186 494      | 179 253                      |             | - 6 846 453 |
| 3        | 1,08                   | 201 414      | 189 797                      |             | - 6 656 656 |
| 4        | 1,08                   | 217 527      | 200 961                      |             | - 6 455 695 |
| 5        | 1,08                   | 234 929      | 212 783                      |             | - 6 242 912 |
| 6        | 1,08                   | 253 724      | 225 299                      |             | - 6 017 613 |
| 7        | 1,04                   | 263 873      | 229 717                      |             | - 5 787 896 |
| 8        | 1,04                   | 274 427      | 234 221                      |             | - 5 553 675 |
| 9        | 1,04                   | 285 405      | 238 814                      |             | - 5 314 861 |
| 10       | 1,04                   | 296 821      | 243 496                      |             | - 5 071 365 |
| 11       | 1,04                   | 308 694      | 248 271                      |             | - 4 823 094 |
| 12       | 1,02                   | 314 867      | 248 271                      |             | - 4 574 823 |
| 13       | 1,02                   | 321 165      | 248 271                      |             | - 4 326 553 |
| 14       | 1,02                   | 327 588      | 248 271                      |             | - 4 078 282 |
| 15       | 1,02                   | 334 140      | 248 271                      |             | - 3 830 011 |
| 16       | 1,02                   | 340 823      | 248271                       |             | - 3 581 740 |
| 17       | 1,02                   | 347 639      | 248 271                      |             | - 3 333 469 |
| 18       | 1,02                   | 354 592      | 248 271                      |             | - 3 085 199 |
| 19       | 1,02                   | 361 684      | 248 271                      |             | - 2 836 928 |
| 20       | 1,02                   | 368 917      | 248 271                      |             | - 2 588 657 |
| 21       | 1,02                   | 376 296      | 248 271                      |             | - 2 340 386 |
| 22       | 1,02                   | 383 822      | 248 271                      |             | - 2 092 116 |
| 23       | 1,02                   | 391 498      | 248 271                      |             | - 1 843 845 |
| 24       | 1,02                   | 399 328      | 248 271                      |             | - 1 595 574 |
| 25       | 1,02                   | 407 315      | 248 271                      |             | - 1 347 303 |
| 26       | 1,02                   | 415 461      | 248 271                      |             | - 1 099 032 |
| 27       | 1,02                   | 423 770      | 248 271                      |             | - 850 762   |
| 28       | 1,02                   | 432 245      | 248 271                      |             | - 602 491   |
| 29       | 1,02                   | 440 890      | 248 271                      |             | - 354 220   |
| 30       | 1,02                   | 449 708      | 248 271                      |             | - 105 949   |

IRR pro 30 let = 1,9 %

Nejvýhodnější hodnoty ekonomických ukazatelů vycházejí podle metody peněžních toků u varianty A3. Při uvažování zmenšených pořizovacích nákladů vychází reálná návratnost  $d_n = 23$  let; vnitřní výnosové procento (IRR) je v tomto případě 4 %. Při uvažování úplných pořizovacích nákladů na opatření ke zlepšení tepelně technických vlastností obvodového pláště budovy je doba návratnosti za hranicemi životnosti dodatečné tepelné izolace – navržené řešení není ekonomicky efektivní.

## 6.4 Zdroje financování opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění budov

Z předcházejících částí je zřejmé, že opatření přijatá ke zmenšení spotřeby energie při vytápění budov vyžadují odpovídající finanční prostředky. Jejich zdroje mohou být různé. Za typické jsou považovány

- vlastní finanční prostředky
- úvěr
- kombinace stavebního spoření, dotace a úvěr

### 6.4.1 Financování opatření ke zmenšení spotřeby energie vlastním kapitálem

V tomto případě je vhodné posoudit, co je výhodnější: investovat do opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění, nebo uložit příslušnou finanční částku do banky (do nějakých cenných papírů). Jinak řečeno, investujeme-li do opatření ke zmenšení spotřeby energie, mělo by to přinášet větší, popř. aspoň stejný užitek, jako užitek, který se získá z kapitálu uloženého v bance.

Např. máme k dispozici částku  $I = 1\,615\,605$  Kč. Posoudíme, jaké možnosti poskytuje tato částka při jejím použití k financování dodatečné tepelné izolace obvodového pláště o ploše  $A = 1\,517$  m<sup>2</sup>, jehož součinitel prostupu tepla (původní hodnota)  $Up = 1,4$  W/(m<sup>2</sup>K). Uvažujeme tloušťku DTI rovnu  $d = 100$  mm, životnost  $n = 30$  let a úrokovou míru  $i = 0,04$  ( $p = 4$  %). Jestliže se částka  $I = 1\,615\,605$  Kč uloží, pak se získá úrok, který vytváří zisk, a to ve výši (viz rovnici (6.11)):

$$Z_u = 1\,615\,605 \cdot ((1 + 0,04)^{30} - 1) = 3\,624\,448 \text{ Kč}$$

Aby se získaly stejné finanční prostředky z investice do DTI, musí se spotřeba tepla zmenšit natolik, aby vedla k roční úspoře (viz rovnici (6.24)):

$$U_r = \frac{1\,615\,605}{17,292} = 94\,431 \text{ Kč/r} - \text{což na m}^2 \text{ činí: } 62,25 \text{ Kč/(m}^2 \text{ r)}$$

(Číselná hodnota  $17,292 = z$  – je zásobitel odpovídající době životnosti  $n = 30$  roků a úroku 4 %). Současná hodnota úspor za 30 let je  $UZ = 62,25 \cdot 17,292 = 1\,076$  Kč/m<sup>2</sup>. Tato hodnota bude využita ke zjištění podmínek, za kterých se dosáhne stejného zisku z investování do DTI, jako při uložení investované částky do banky. Poslouží k tomu tab. 154 až 157. Určujícími veličinami pro hledání hodnoty  $1\,076$  Kč/m<sup>2</sup> v těchto tabulkách přitom jsou:

- tloušťka dodatečné tepelné izolace  $d = 100$  mm
- součinitel prostupu tepla původní konstrukce  $Up = 1,4$  (W/(m<sup>2</sup>K))
- úroková míra  $i = 0,04$

V *tab. 154*, která platí pro počet denostupňů 2 600 d · K, zjistíme, že uvedené hodnotě úspor 1 076 Kč/m<sup>2</sup> (v tabulce je tato úspora označena jako ukazatel zisku *UZ*) odpovídá sloupec s cenou energie  $C_e = 1\,800$  Kč/MWh – přesně jde o hodnotu 1 003,847 Kč/m<sup>2</sup> (i když zjištěná hodnota neodpovídá úplně požadované hodnotě, vzhledem k tomu, že se jedná o orientační úvahu, můžeme tuto odchylku považovat za uspokojivou). Závěr tedy je: jestliže je cena energie 1 800 Kč/MWh a větší, dosáhne se stejného nebo většího užítu z investovaných prostředků do dodatečné tepelné izolace obvodového pláště budovy, než při jejich uložení do banky. Naopak, je-li cena energie menší než 1 800 Kč/MWh, je investice do dodatečné tepelné izolace budovy neefektivní.

Podobně můžeme pokračovat i s hledáním dané hodnoty úspory i v *tab. 155 až 157*. Výsledky jsou souhrnně v *tab.173*.

*Tab. 173* Minimální cena energie zajišťující efektivnost investice v závislosti na počtu denostupňů, při úrokovém procentu  $p = 10\%$  (příklad)

| Počet denostupňů $D$ (d · K) | Cena energie $C_e$ (Kč/MWh) | Odkaz na tabulku |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 2 600                        | 1 800                       | 154              |
| 3 600                        | 1 500                       | 155              |
| 4 000                        | 1 200                       | 156              |
| 4 600                        | 1 200                       | 157              |

Z tabulky je zřejmé, že se vzrůstem počtu denostupňů se posunuje dolní hranice ceny energie, zaručující rovnost porovnávání způsobů investování daných prostředků, k menším hodnotám. Naopak, je-li cena energie pod těmito hodnotami, je investice do dodatečné tepelné izolace nevýhodná, v porovnání s uložení těchto prostředků do banky.

## 6.4.2 Financování opatření ke zmenšení spotřeby energie prostředky získanými úvěrem

Při financování opatření ke zmenšení spotřeby energie na základě úvěru jsou důležité podmínky úvěrování, tj. na jak dlouhou dobu se úvěr poskytuje a jakým úrokem je úvěr zatížen. Tuto situaci charakterizuje hodnota ročních splátek neboli anuit. Uvažuje-li se konec úrokovacího období, pak se anuita stanoví ze vztahu – viz rovnici (6.14)

$$a = I_0 \frac{r^n \cdot i}{r^n - 1}$$

$$\text{kde } r = 1 + i = 1 + \frac{p}{100},$$

$p$  je úrokové procento (%),

$n$  doba splatnosti úvěru (roky),

$I_0$  vypůjčená částka (Kč).

Anuita tedy představuje splátku, která musí být na konci každého úrokovacího období splacena, aby byla vypůjčená částka umořena (připomínáme, že anuita má dvě složky: splátku a úrok).

Jako příklad se uvádí výpočet ročních anuitních splátek při úvěru 100 000 Kč a různé době splatnosti (5, 10, 20) let a při různém úrokovém procentu (5, 10, 15) %. První výpočet anuity je proveden pro dobu splatnosti  $n = 5$  let a úrokové procento  $p = 5\%$  – viz *tab. 174*.

Tab.174 Anuita, úrok a úmor splátky 100 000 Kč za  $n = 5$  let při  $p = 5 \%$

| $n$ (rok)   | Úvěr (Kč) | Úrok (Kč) | Úmor (Kč) | Anuita (Kč) |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1           | 100 000   | 5 000     | 18 097,48 | 23 097,4898 |
| 2           | 81 902,52 | 4 095,126 | 19 002,35 | 23 097,4898 |
| 3           | 62 900,17 | 3 145,008 | 19 952,47 | 23 097,4898 |
| 4           | 42 947,69 | 2 147,385 | 20 950,10 | 23 097,4898 |
| 5           | 21 997,60 | 1 099,88  | 21 997,60 | 23 097,4898 |
| Součet      |           | 15 487,40 | 100 000   | 115 487,399 |
| Vícenáklady |           |           |           | 15 487,40   |

Jak ukazuje tabulka, má-li se splatit úvěr 100 000 Kč za uvedených podmínek, musí se koncem každého roku (po dobu 5 let) zaplatit částka 23 097,50 Kč. Vzniknou přitom vícenáklady ve výši 15 487,40 Kč.

Souhrn výsledků zahrnující všechny varianty podle zadání je v tab. 175.

Tab. 175 Souhrn anuit a vícenákladů při splácení úvěru 100 000 Kč, v závislosti na době splatnosti  $n$  a úrocích  $p$

| $n$ (rok) | $p$ (%) | Anuita (Kč) | Vícenáklady (Kč) |
|-----------|---------|-------------|------------------|
| 5         | 5       | 23 097,4898 | 15 487,40        |
| 5         | 10      | 26 379,7481 | 31 898,74        |
| 5         | 15      | 29 831,5552 | 49 157,78        |
| 10        | 5       | 12 950,4575 | 29 504,57        |
| 10        | 10      | 16 274,5395 | 62 274,53        |
| 10        | 15      | 19 925,2063 | 99 252,06        |
| 20        | 5       | 8 024,25872 | 60 485,17        |
| 20        | 10      | 11 745,9625 | 134 919,20       |
| 20        | 15      | 15 976,147  | 219 522,90       |

Z hodnot v tab. 175 je vidět, že vícenáklady narůstají velmi prudce se zvětšující se dobou splatnosti a s růstem úroků.

Podobně jako byly zkoumány podmínky při uplatnění vlastního kapitálu, za kterých bylo jeho využití jako investice do dodatečné tepelné izolace obvodového pláště budovy efektivní, můžeme provést i ve spojitosti se získaným úvěrem.

Jako příklad uvažujme: hodnoty odpovídající lhůtě splatnosti  $n = 20$  let, úrok  $p = 10 \%$ , plochu obvodového pláště  $A = 200 \text{ m}^2$  a hodnotu součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up = 1,4 \text{ (W/(m}^2\text{K))}$ , tloušťku dodatečné tepelné izolace  $d = 100 \text{ mm}$  a životnost tepelné izolace 30 let.

Z tab. 175 a příslušného řádku (řádek s hodnotami  $n = 20$  let a  $p = 10 \%$ ) zjistíme, že vícenáklady jsou 134 919 Kč, takže celková investice je  $I = 234 919 \text{ Kč}$ .

Z tab. 154, která platí pro počet denostupňů  $D = 2 600 \text{ d} \cdot \text{K}$ , v oddílu obsahujícím tloušťku dodatečné tepelné izolace  $d = 100 \text{ mm}$  a hodnotu součinitele prostupu tepla původní konstrukce  $Up = 1,4 \text{ (W/(m}^2\text{K))}$ , odečteme pro  $i = 0,1$  ( $p = 10 \%$ ) hodnotu  $UZ = 251 \text{ Kč/m}^2$  – to je největší hodnota, platná při ceně energie  $C_e = 2 100 \text{ Kč/MWh}$ .

Vynásobí-li se hodnota  $UZ$  plochou obvodového pláště, obdrží se zisk plynoucí z úspory energie, takže

$$Z = 251 \cdot 200 = 50\,200 \text{ Kč}$$

Porovná-li se tato hodnota s investicí vynaloženou na dodatečnou tepelnou izolaci  $I = 234\,919 \text{ Kč}$ , je zřejmé, že vynaložená investice je, za podmínek výše uvedených, naprosto neefektivní.

Zjistíme, jak to bude s efektivností téže investice, jestliže by se realizovala v místě s počtem denostupňů  $D = 4\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$ . Potřebný údaj  $UZ$  se odečte z *tab. 156* (při uvažování stejných podmínek jako při  $D = 2\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$ ).

I v tomto případě je největší hodnota  $UZ = 1\,263 \text{ Kč/m}^2$  platná při ceně energie

$$C_e = 2\,100 \text{ Kč/MWh. Zisk potom je}$$

$$Z = 1\,263 \cdot 200 = 252\,000 \text{ Kč}$$

Z výsledků plyne, že za uvedených podmínek je investice efektivní.

Zjistíme situaci při ceně energie  $C_e = 1\,800 \text{ Kč/MWh}$ . V tomto případě je  $UZ = 930 \text{ Kč/m}^2$ , takže  $Z = 186\,000 \text{ Kč}$  – což je menší hodnota než hodnota investice, tedy při uvedené ceně energie je investice již neefektivní.

Ještě jeden příklad, provedený za stejných podmínek jako v předcházejícím příkladě (včetně postupu); pouze se změnou úroku, který je v tomto případě  $p = 5\%$  ( $i = 0,05$ ). Vzhledem k tomu, že v *tab. 154 – 156* jsou hodnoty  $UZ$  pouze pro  $i = 0,04$  a  $0,07$ , stanoví se odpovídající hodnoty  $UZ$  interpolací. Výsledky jsou v následující tabulce, kde

$$\Delta Z = (Z - I) \text{ (Kč)} \text{ (v případě záporné hodnoty nejde o zisk, ale o ztrátu).}$$

*Tab. 176* Minimální cena energie zajišťující efektivnost investice v závislosti na počtu denostupňů, při úrokovém procentu  $p = 5\%$  (příklad)

| $D \text{ (d} \cdot \text{K)}$ | $C_e \text{ (Kč/MWh)}$ | $Z \text{ (Kč)}$ | $\Delta Z = (Z - I) \text{ (Kč)}$ |
|--------------------------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 2 600                          | 2 100                  | 224 400          | 63 915                            |
|                                | 1 800                  | 161 800          | 1 315                             |
| 4 600                          | 2 100                  | 560 600          | 400 115                           |
|                                | 1 800                  | 450 200          | 289 715                           |
|                                | 1 500                  | 339 600          | 179 115                           |
|                                | 1 200                  | 229 000          | 68 515                            |
|                                | 900                    | 118 600          | - 41 885                          |

Z tabulky je vidět, že pokles úrokové míry má významný vliv na efektivnost vynaložených prostředků. Zvláště v místech s počtem denostupňů  $D = 4\,600 \text{ d} \cdot \text{K}$  se dosahuje velmi dobrých výsledků; vynaložené prostředky na dodatečnou tepelnou izolaci jsou efektivní i při ceně energie mírně nad  $900 \text{ Kč/MWh}$ .

### 6.4.3 Efektivnost prostředků získaných z různých zdrojů

V této části se porovnají prostředky vynaložené na úsporu energie při vytápění, získané

- vlastních zdrojů,
- ze stavebního spoření,
- na základě hypotéky.

Porovnání se provede na příkladu dodatečného tepelného izolování rodinného domu, který je podrobně popsán v kap. 2. Předpokládá se úprava obvodového pláště podle *tab. 177* a dvě varianty úprav. Výchozí variantou je varianta  $V_0$ , která představuje původní stav, s tím rozdílem, že se uvažuje součinitel prostupu tepla obvodového pláště  $U = 1,4$  (W/(m<sup>2</sup>K)), místo skutečné hodnoty  $U = 0,7$  (W/(m<sup>2</sup>K)). Varianty  $V_1$  a  $V_2$  jsou upravené varianty.

*Tab. 177* Součinitel prostupu tepla obvodového pláště  $U$  (W/(m<sup>2</sup>K)) ve variantách  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  ( $A$  je plocha (m<sup>2</sup>))

| Druh Konstrukce | Plocha (m <sup>2</sup> ) | $U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) pro variantu |       |       |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|
|                 |                          | $V_0$                                   | $V_1$ | $V_2$ |
| Obvodová stěna  | 257,6                    | 1,4                                     | 0,4   | 0,1   |
| Okna            | 30,2                     | 2,7                                     | 1,7   | 0,7   |
| Střecha         | 137,7                    | 0,95                                    | 0,4   | 0,1   |
| Podlaha         | 137,7                    | 1,00                                    | 1,00  | 1,00  |

V *tab. 178* je uvedena roční spotřeba tepla a úspora tepla u variant  $V_1$  a  $V_2$  v porovnání s variantou  $V_0$ .

*Tab. 178* Roční spotřeba tepla  $E_r$  (kWh/r) a úspora tepla  $\Delta E_r$  (kWh/r) u variant  $V_1$  a  $V_2$  v porovnání s variantou  $V_0$

| Spotřeba, úspora     | $V_0$  | $V_1$  | $V_2$  |
|----------------------|--------|--------|--------|
| $E_r$ (kWh/r)        | 53,443 | 24 108 | 11 972 |
| $\Delta E_r$ (kWh/r) | –      | 29 335 | 41 471 |

Současná hodnota ročních úspor za dobu životnosti dodatečné tepelné izolace  $n = 30$  let, při uvažování úrokového procenta  $p_u = 5$  % a ročním zvýšení ceny energie  $p_e = 3$  % je v závislosti na ceně energie v *tab. 179*. Hodnoty v *tab. 179* platí pro zásobitele, který se v tomto případě stanoví ze vztahu – viz [6.3]:

$$D_x = \frac{(p_e/p_u)^n - 1}{(p_e/p_u) - 1} = \frac{(1,03/1,05)^{30} - 1}{(1,03/1,05) - 1} = 23,01 \quad (6.36)$$

*Tab. 179* Současná hodnota úspor  $N_r$  (Kč) v závislosti na ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh) u variant  $V_1$  a  $V_2$

| $C_e$ (Kč/MWh) | $N_r$ (Kč) |           |
|----------------|------------|-----------|
|                | $V_1$      | $V_2$     |
| 600            | 404 999    | 572 558   |
| 900            | 607 487    | 858 825   |
| 1 200          | 809 998    | 1 145 093 |
| 1 500          | 1 012 486  | 1 431 360 |
| 1 800          | 1 214 997  | 1 717 650 |
| 2 100          | 1 417 496  | 2 003 920 |

Efektivnost dodatečné tepelné izolace vyjádřená různými ukazateli, při získání prostředků z různých zdrojů, je vyčíslena v *tab. 180 a 181*.

Uvažuje se:

- návratnost prostředků  $d_n$  (roky) – viz rovnici (6.22)
- zisk:  $Z = N_r - I$  (rozdíl současné hodnoty úspor a investice)
- ukazatel efektivnosti  $U_{ef}$  (-)
- vnitřní výnosové procento  $VVP$  (%)

V *tab. 180* je efektivnost dodatečné tepelné izolace při změně součinitele prostupu tepla z původní hodnoty  $U_p = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  na hodnotu  $U = 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , při uvažování těchto zdrojů

- vlastní zdroje: A = 529 520 Kč
- stavební spoření: B = 593 062 Kč
- hypotéka, úvěr 11,5 %: C = 918 082 Kč
- hypotéka, úvěr 7,5 %: D = 599 893 Kč

**Tab. 180** Efektivnost dodatečné tepelné izolace při změně součinitele prostupu tepla z původní hodnoty  $U_p = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  na hodnotu  $U = 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , při různých způsobech financování a v závislosti na ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh)

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | Ukazatel     | Zdroje financování |         |                        |         |
|-------------------|--------------|--------------------|---------|------------------------|---------|
|                   |              | A                  | B       | C                      | D       |
| 1 200             | $d_n$ (roky) | 15,0               | 16,8    | 26,1                   | 17,0    |
|                   | Z (Kč)       | 280 478            | 216 936 | -108 084 <sup>*)</sup> | 210 105 |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,65               | 0,73    | 1,13                   | 0,74    |
|                   | VVP (%)      | 5,1                | 4,1     | –                      | 4,1     |
| 1 500             | $d_n$ (roky) | 12,0               | 13,5    | 20,9                   | 14,5    |
|                   | Z (Kč)       | 482 966            | 419 424 | 94 404                 | 412 593 |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,52               | 0,58    | 0,91                   | 0,59    |
|                   | VVP (%)      | 7,2                | 6,1     | 2,4                    | 5,4     |
| 1 800             | $d_n$ (roky) | 10,0               | 11,2    | 17,4                   | 11,4    |
|                   | Z (Kč)       | 685 177            | 621 935 | 295 915                | 615 104 |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,43               | 0,49    | 0,75                   | 0,49    |
|                   | VVP (%)      | 9,1                | 8,0     | 3,9                    | 7,8     |
| 2 100             | $d_n$ (roky) | 8,6                | 9,6     | 15,0                   | 9,7     |
|                   | Z (Kč)       | 887 976            | 824 434 | 499 414                | 817 603 |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,37               | 0,42    | 0,65                   | 0,42    |
|                   | VVP (%)      | 11,0               | 9,6     | 5,1                    | 9,5     |

<sup>\*)</sup> Záporné znaménko znamená ztrátu – to znamená, že zisk z úspory energie při vytápění je menší než investice.

V *tab. 181* je efektivnost dodatečné tepelné izolace při změně součinitele prostupu tepla z původní hodnoty  $U_p = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  na hodnotu  $U = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , při uvažování těchto zdrojů:

- vlastní zdroje: A = 1 041 060 Kč
- stavební spoření: B = 1 165 987 Kč
- hypotéka, úvěr 11,5 %: C = 1 804 990 Kč
- hypotéka, úvěr 7,5 %: D = 1 179 417 Kč

Tab. 181 Efektivnost dodatečné tepelné izolace při změně součinitele prostupu tepla z původní hodnoty  $U_p = 1,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  na hodnotu  $U = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , při různých způsobech financování a v závislosti na ceně energie  $C_e$  (Kč/MWh)

| $C_e$<br>(Kč/MWh) | Ukazatel     | Zdroje financování |                        |                         |                        |
|-------------------|--------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|                   |              | A                  | B                      | C                       | D                      |
| 1 200             | $d_n$ (roky) | 20,9               | 23,4                   | 36,2                    | 23,7                   |
|                   | Z (Kč)       | 140 033            | - 20 894 <sup>*)</sup> | - 659 893 <sup>*)</sup> | - 34 324 <sup>*)</sup> |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,91               | 1,02                   | 1,58                    | 1,03                   |
|                   | VVP (%)      | 2,4                | 1,6                    | -                       | 1,5                    |
| 1 500             | $d_n$ (roky) | 16,8               | 18,7                   | 29,0                    | 18,9                   |
|                   | Z (Kč)       | 390 300            | 265 373                | - 377 630 <sup>*)</sup> | 251 943                |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,73               | 0,81                   | 1,26                    | 0,82                   |
|                   | VVP (%)      | 4,2                | 3,2                    | -                       | 3,1                    |
| 1 800             | $d_n$ (roky) | 13,6               | 15,6                   | 24,2                    | 15,8                   |
|                   | Z (Kč)       | 676 590            | 551 663                | - 87 340 <sup>*)</sup>  | 538 233                |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,61               | 0,68                   | 1,05                    | 0,69                   |
|                   | VVP (%)      | 6,0                | 4,8                    | 1,4                     | 4,7                    |
| 2 100             | $d_n$ (roky) | 11,6               | 13,4                   | 20,7                    | 13,5                   |
|                   | Z (Kč)       | 962 860            | 837 933                | 198 930                 | 824 503                |
|                   | $U_{ef}$ (-) | 0,52               | 0,50                   | 0,90                    | 0,59                   |
|                   | VVP (%)      | 7,6                | 6,2                    | 2,5                     | 6,1                    |

<sup>\*)</sup> Záporné znaménko znamená ztrátu – to znamená, že zisk z úspory energie při vytápění je menší než investice.

Z výsledků v tab. 180 a 181 vyplývá, že

- nejvýhodnější je situace, kdy má investor vlastní kapitál;
- dále následuje kombinace: vlastní kapitál, stavební spoření a státní podpora; hypoteční úvěr je přijatelný od ceny energie 1 500 Kč/MWh, při úroku ne vyšším než 7,5 % se splatností 10 let.

#### Poznámky:

- Podmínky stavebního spoření jsou popsány např. v [6.4], kde je mj. uvedeno, kdo se může stát účastníkem stavebního spoření, jaká je právní úprava, výhody a nevýhody, rady a tipy, způsob uzavření smlouvy aj. Najde se zde např. to, že vklady účastníků stavebního spoření jsou obvykle úročeny 1 % až 4 % ročně (v současné době stavební spořitelny své úroky snižují, což se týká pouze nových klientů). Vedle úroků je dalším výnosem účastníka státní podpora; ta dělá ze stavebního spoření atraktivní formu investice a nadprůměrného zhodnocení volných finančních prostředků s minimálními riziky.

Státní podpora (příspěvek, dotace) v současné době činí 15 % z ročně naspořené částky (maximálně 3 000 Kč ročně). Nárok na státní podporu se posuzuje vždy k 31. prosinci každého kalendářního roku. Klient může mít libovolné množství smluv o stavebním spoření i u různých stavebních spořitel, ale v jednom roce může čerpat státní příspěvek vždy jen na jednu smlouvu. Dále je účastníkům stavebního spoření, kteří splnili ve smlouvě sjednané podmínky, což je především naspoření předem dohodnuté částky (40 až 50 % cílové částky) a dobu strádání (v současnosti 2 roky), ale někdy i splnění určitého parametru spořivosti (hodnotící číslo, ohodnocovací číslo atd.), nabídnuta možnost čerpá-



ní velmi výhodného úvěru na stavební účely, spojené s řešením bydlení. Klient musí uzavřít se stavební spořitelnou písemnou smlouvu, ve které se zavazuje ukládat pravidelně (lze měsíčně, čtvrtletně, pololetně, ročně) dohodnutou částku, přičemž jde o minimální výši. Lze však ukládat i vyšší částky, nebo nepravidelné úložky. Stavební spoření lze zaplatit i jednorázově na 6 let dopředu. Hodně klientů ukládá také 20 000 Kč 1x ročně, zpravidla na konci kalendářního roku.

2. Pokud jde o problémy hypotečního úvěru, najdou se příslušné odpovědi např. v [6.5]. Je zde také provedeno mj. porovnání hypoték poskytnutých různými bankami. Porovnání je vztaženo na výši hypotéky 1 000 000 Kč a dobu splatnosti 20 let.

## Srovnání hypoték

nabídky bank • propočet splátek • rady a informace • pomoc s hypotékou

| banka              | minimální<br>úr. sazba | poplatek<br>za úvěr | vedení účtu<br>(měsíčně) | splátka<br>úvěru | celkové<br>náklady | reálná<br>sazba |
|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Česká spořitelna   | 3,90 %                 | 5 000               | 110                      | 6 007            | 6 138              | 4,15 %          |
| ČMBH               | 4,80 %                 | 6 000               | 150                      | 6 490            | 6 665              | 5,12 %          |
| GE Capital Bank    | 3,89 %                 | 7 000               | 200                      | 6 002            | 6 231              | 4,32 %          |
| HVB Bank           | 3,90 %                 | 10 000              | 0                        | 6 007            | 6 049              | 3,98 %          |
| Komerční banka     | 4,30 %                 | 8 000               | 80                       | 6 219            | 6 332              | 4,51 %          |
| Raiffeisen-bank    | 3,84 %                 | 8 000               | 100                      | 5 976            | 6 109              | 4,09 %          |
| Živnostenská banka | 3,70 %                 | 9 000               | 100                      | 5 903            | 6 040              | 3,96 %          |

**Reálná sazba** je taková úroková sazba z hypotečního úvěru, do jejíž výše je zahrnut poplatek za zpracování úvěru, poplatek za vedení úvěrového účtu a příp. úrokové zvýhodnění ve výši 1 % při nároku na státní podporu. Při výpočtu této sazby nejsou brány v úvahu další poplatky, související s poskytnutím hypotečního úvěru (životní pojištění, pojištění nemovitosti atd.).

## 6.4.4 Program státních podpor opatření ke zmenšování spotřeby energie

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky vypisuje pro každý rok Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie, který zajišťuje Česká energetická agentura. Tento program podporuje realizaci opatření k hospodárnému užití energie a snížení zátěže životního prostředí se zaměřením na co nejvyšší efektivitu vynaložených prostředků státního rozpočtu, rozšíření využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie aj.

Dotaci mohou získat podnikatelské subjekty, neziskové organizace, města, obce a kraje a jimi zřízené organizace. Příjemce dotace musí mít sídlo na území ČR.

- V oblasti užití energie ve výrobních a rozvodných zařízeních energie může dotace činit až 15 % investičních nákladů na úsporná opatření, nejvýše však 3 mil. na jednu akci.
- V oblasti kombinované výroby elektrické energie a tepla může dotace činit až 15 % investičních nákladů na instalaci zařízení, nejvýše však 1,5 mil. na jednu akci.
- V oblasti vyššího využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie může dotace činit až 15 % investičních nákladů na úsporná opatření, nejvýše však 2 mil. na jednu akci,

- V rámci podpory opatření ke zvýšení účinnosti užití energie v oblasti komplexního opatření ke snížení energetické náročnosti
  - a) v průmyslovém sektoru – dotace může činit až 15 % investičních nákladů na úsporná opatření, nejvýše však 2 mil. na jednu akci,
  - b) ve veřejném sektoru – dotace může činit až 15 % investičních nákladů na úsporná opatření, nejvýše však 1,5 mil. na jednu akci.
- Projekty financované z úspor energie – dotace může činit až 30 % celkových nákladů, nejvýše však 1,5 mil. na jednu akci.

## 6.5 Literatura

- [6.1] KODYM, E.: Úrokové tabulky pro techniky a ekonomy. SNTL, Praha, 1971
- [6.2] MEIER, K.: Wärmeschutz-Alternativen.Forschung + Praxis, DBZ, 3/89
- [6.3] BRÄNDLE, K. – CHRISTENSEN, S. – RENTSCHLER, P.: Energiebewußtes Bauen.Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart, 1979
- [6.4] <http://www.stavebni-sporeni.com/princip.htm>
- [6.5] [www.hypoteka oi.cz](http://www.hypoteka oi.cz)

## 7. Příklad vyhodnocení ekonomické efektivity komplexního opatření ke zmenšení spotřeby energie při vytápění

### 7.1 Vstupní údaje pro hodnocení ekonomické efektivity

Pro hodnocení ekonomické efektivity opatření vedoucích k úsporám energie jsou nutné následující údaje:

- a) Obor tepelně technických vlastností konstrukcí a budov
  - součinitel prostupu tepla plných konstrukcí, kterými dochází k tepelným ztrátám
  - součinitel prostupu tepla výplní otvorů (okna a dveře ve vnějších konstrukcích)
  - návrhová vnitřní teplota
  - návrhová vnější teplota
  - tepelné ztráty konstrukcemi
  - tepelné ztráty objektu
  - násobnost výměny vzduchu v místnostech a v objektu
- b) Obor technických zařízení budov
  - zdroj vytápění
  - doba vytápění
  - vytápěcí vnitřní teplota
  - potřeba tepla pro krytí tepelných ztrát
  - skutečná spotřeba tepla na vytápění objektu
  - spotřeba tepla na ohřev TV
- c) Obor ekonomických vstupů
  - současná cena energie z vytápěcího média
  - ceny stavebních prací v místě situování objektu
  - obvyklé ceny stavebních prací
  - vývoj cen energie po dobu další životnosti objektu
  - vývoj cen stavebních prací po dobu další životnosti objektu

Pro hodnocení ekonomické efektivity opatření vedoucích k úsporám energie jsou potřebné následující údaje:

- d) Obor tepelně technických vlastností konstrukcí a budov
  - součinitel prostupu tepla plných konstrukcí, kterými dochází k tepelným ztrátám
  - součinitel prostupu tepla výplní otvorů (okna a dveře ve vnějších konstrukcích)
  - návrhová vnitřní teplota
  - návrhová vnější teplota
  - tepelné ztráty konstrukcemi
  - tepelné ztráty objektu
  - násobnost výměny vzduchu v místnostech a v objektu
- e) Obor technických zařízení budov
  - zdroj vytápění
  - doba vytápění
  - vytápěcí vnitřní teplota

- potřeba tepla pro krytí tepelných ztrát
- skutečná spotřeba tepla na vytápění objektu
- spotřeba tepla na ohřev TV

f) Obor ekonomických vstupů

- současná cena energie z vytápěcího média
- ceny stavebních prací v místě situování objektu
- obvyklé ceny stavebních prací
- vývoj cen energie po dobu další životnosti objektu
- vývoj cen stavebních prací po dobu další životnosti objektu

## 7.2 Příklady hodnocení ekonomické efektivity

### 7.2.1 Možnost snížení spotřeby tepla na vytápění panelového bytového domu

Hodnocení ekonomické efektivity je provedeno pro bytový dům stavební soustavy T 06 B. Bytový věžový dům je postaven v Praze 10. Dům má 14 nadzemních podlaží o výšce nad základní úrovní 40,05 m. Zastavěná plocha je  $25,80 \times 18,50 = 477,30 \text{ m}^2$ . Plocha vnějších konstrukcí  $A_n = 4\,503,03 \text{ m}^2$ , obestavěný prostor budovou  $V_n = 19\,115,86 \text{ m}^3$ .



Obr. 30 Dům stavební soustavy T 06 B

Obvodový plášť budovy je sendvičový s tepelně izolační vrstvou z expandovaného polystyrenu o tloušťce 40 mm, střešní konstrukce je plochá jednoplášťová, s tepelně izolační vrstvou z plynosilikátových tvárníc tloušťky 150 mm. Okna a balkonové dveře jsou dřevěné zdvojené. Dům je zásobován teplem z centrálního zdroje a výměňkové stanice. Energetické vstupy do budovy jsou uvedeny v tab. 182.

Tab. 182 Spotřeba energie na vytápění a ohřev TV v domě za poslední topná období

| Rok         | 1998     | 1999     | 2000     | 2001         | 2002         | Průměr       |
|-------------|----------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|
| vytápění    | 2 782,00 | 2 848,00 | 2 482,00 | 2 957,00     | 2 396,00     | 2 693,00     |
| ohřev TV    |          |          | 914,31   | 1 056,51     | 1 413,00     | 1 127,94     |
| Celkem      |          | 2 848,00 | 3 396,31 | 4 013,51     | 3 809,00     | 3 516,71     |
| Cena Kč/GJ  |          |          |          | 277,35       | 342,70       | 310,03       |
| Cena celkem |          |          |          | 1 113 147,00 | 1 305 344,00 | 1 113 147,00 |

**a) Skladby hodnocených obvodových a vnitřních konstrukcí:**

Pro stanovení tepelných ztrát budovy byly vybrány konstrukce, kterými dochází k výrazným tepelným ztrátám a které podstatně ovlivňují celkovou současnou spotřebu energie na vytápění v objektu.

Obvodová stěna průčelí:

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| omítka vnitřní tenkovrstvá | 5 mm   |
| železobeton vnitřní        | 100 mm |
| pěnový polystyren          | 40 mm  |
| vnější železobeton         | 60 mm  |
| vnější nástřík             | 2 mm   |

Obvodová stěna – štítů:

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| omítka vnitřní tenkovrstvá | 5 mm   |
| železobeton                | 150 mm |
| pěnový polystyren          | 40 mm  |
| železobeton vnější         | 60 mm  |
| vnější nástřík             | 2 mm   |

Střešní konstrukce:

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| krytina z asfaltových pásů | 15 mm  |
| plynosilikátové tvarovky   | 250 mm |
| spádová vrstva             | 50 mm  |
| parotěsná vrstva           | 0,5 mm |
| stropní panel              | 190 mm |

Strop nad nevytápěným podlažím:

|                 |        |
|-----------------|--------|
| PVC             | 3 mm   |
| cementový potěr | 40 mm  |
| lepenka A 400H  | 3 mm   |
| FIBREX          | 18 mm  |
| cementový potěr | 20 mm  |
| stropní panel   | 120 mm |

Meziokenní vložka:

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| dřevotříská              | 19 mm |
| pěnový polystyren        | 25 mm |
| větraná vzduchová vrstva | 20 mm |
| tabulové sklo            |       |

**b) Současné tepelné technické vlastnosti obvodových konstrukcí:**

Tepelné technické vlastnosti konstrukcí byly stanoveny výpočtem podle ustanovení ČSN 73 0540. Fyzikální vlastnosti použitých materiálů byly převzaty z ČSN 73 0540 – část 3.

Výpočty byly provedeny výpočtovým programem „TEPLO“ (autor Svoboda, Stavební fakulta ČVUT). Výsledky hodnocení jsou uvedeny v *tab. 183*.

*Tab. 183* Výsledky hodnocení tepelně technických vlastností konstrukcí

| Konstrukce | Název konstrukce       | Požadavek<br>ČSN<br>$U$  | Tepelný<br>odpor<br>$R$ | Součinitel<br>prost.<br>tepla $U$ | Hodnocení  |
|------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------|
|            |                        | (W/(m <sup>2</sup> K))   | (m <sup>2</sup> K/W)    | (W/(m <sup>2</sup> K))            |            |
| 1          | obvodová stěna průčelí | 0,38                     | 0,79                    | 1,042                             | nevyhovuje |
| 2          | štítový sendvičový     | 0,38                     | 0,80                    | 1,029                             | nevyhovuje |
| 3          | meziokenní vložka      | 0,30                     | 0,62                    | 1,274                             | nevyhovuje |
| 4          | jednoplášťová střecha  | 0,30                     | 1,04                    | 0,83                              | nevyhovuje |
| 5          | strop nad suterénem    | 0,60                     | 0,42                    | 1,488                             | nevyhovuje |
| 6          | okna a vnější dveře    | $U = 1,80$               | 0,18                    | 2,9                               | nevyhovuje |
| 7          | vstupní portál         | $U = 1,80$               | 0,18                    | 2,9                               | nevyhovuje |
| 8          | infiltrace spárami     | $i = 0,70 \cdot 10^{-4}$ |                         |                                   | nevyhovuje |
| 9          | vnitřní konstrukce     | 0,6 – 1,30               |                         |                                   | nevyhovuje |

#### c) Současné tepelné ztráty budovy

Výpočet tepelných ztrát byl proveden „obálkovou metodou“, která vychází ze stanovení tepelných ztrát obvodovým pláštěm budovy podle ČSN 06 0210:1994. Aby byly zohledněny i tepelné ztráty vnitřními konstrukcemi, je výsledná hodnota vnějších tepelných ztrát zvýšena o 10 %. Výsledky výpočtů tepelných ztrát jsou uvedeny v *tab. 184*.

*Tab. 184* Výpočet tepelných ztrát budovy

| Konstrukce                     | Plocha            | Součinitel<br>prostupu<br>tepla | Teplotní<br>rozdíl | Tepelná<br>ztráta | Poměr<br>tepelných<br>ztrát |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|
|                                | (m <sup>2</sup> ) | $U$ (W/(m <sup>2</sup> K))      | $t_i - t_e$ (K)    | (W)               |                             |
| průčelí                        | 887,08            | 1,042                           | 32                 | 29 579            | 8,46 %                      |
| meziokenní vložky              | 538,40            | 1,274                           | 32                 | 21 949            | 6,28 %                      |
| štítová stěna                  | 1 036,40          | 1,029                           | 32                 | 34 127            | 9,77 %                      |
| střecha                        | 479,90            | 0,83                            | 32                 | 12 746            | 3,65 %                      |
| strop nad TP                   | 479,90            | 1,488                           | 15                 | 10 711            | 3,07 %                      |
| okna dřevěná zdvoj.            | 996,50            | 2,9                             | 32                 | 92 475            | 26,46 %                     |
| balkonové dveře                | 343,20            | 2,9                             | 32                 | 31 849            | 9,11 %                      |
| vstupní portál                 | 10,80             | 3,6                             | 32                 | 1 244             | 0,36 %                      |
| okna, dveře infiltrace         | 5 091,00          | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$         | 32                 | 118 597           | 23,76 %                     |
| vnitřní konstrukce             |                   |                                 |                    | 31 770            | 9,09 %                      |
| Současné tepelné ztráty celkem |                   |                                 |                    | 385 048           | 100,00 %                    |

Tab.185 Stanovení tepelných ztrát výměnou vzduchu

|                                                                                                                                                                                                        |          |                                                         |        |      |                      |     |            |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------|--------|------|----------------------|-----|------------|---------|
| Tepelná ztráta infiltrací $Q_v$ podle ČSN 06 0210:1994                                                                                                                                                 |          |                                                         |        |      |                      |     |            |         |
| $Q_v = 1\,300 \sum (i_L \cdot L) \cdot B \cdot M \cdot \Delta T$                                                                                                                                       |          |                                                         |        |      |                      |     |            |         |
| Konstrukce                                                                                                                                                                                             | $L$      | $i \cdot 10^4$                                          |        |      | $B$                  | $M$ | $\Delta T$ | $Q_v$   |
|                                                                                                                                                                                                        | (m)      | $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n})$ |        |      | $(\text{Pa}^{0,67})$ | (-) | (°C)       | (W)     |
| dřevěná okna                                                                                                                                                                                           | 3 786,70 | 0,7                                                     | 0,0001 | 1300 | 8,0                  | 1,0 | 32         | 88 215  |
| balkonové dveře                                                                                                                                                                                        | 1 304,16 | 0,7                                                     |        |      |                      |     |            | 30 382  |
| $\Delta T = (\theta_{\text{im}} - \theta_e)$<br>(°C)                                                                                                                                                   |          |                                                         |        |      |                      |     | Celkem     | 118 597 |
| Spotřeba tepelné energie větráním: $118,6 \text{ (kW)} \cdot 1,80 = 213,48 \text{ (MWh)} \cdot 3,6 = 768,53 \text{ (GJ)}$                                                                              |          |                                                         |        |      |                      |     |            |         |
| $L$ – délka spár otevíratelných částí výplní otvorů, $i$ – součinitel průvzdušnosti spár,<br>$B$ – charakteristické číslo budovy, $M$ – charakteristické číslo místnosti, $\Delta T$ – teplotní rozdíl |          |                                                         |        |      |                      |     |            |         |

Tab . 186 Stanovení násobnosti výměny vzduchu

|                                                                                                                                                                                                          |          |                                                         |        |       |                      |     |                   |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------|--------|-------|----------------------|-----|-------------------|-------|
| Tepelná ztráta infiltrací $n_v$ podle ČSN 06 0210:1994<br>$n = 3\,600 \sum (i_L \cdot L) \cdot B \cdot M \cdot V$                                                                                        |          |                                                         |        |       |                      |     |                   |       |
| Konstrukce                                                                                                                                                                                               | $L$      | $i \cdot 10^4$                                          |        |       | $B$                  | $M$ | $V^{-1}$          | $n$   |
|                                                                                                                                                                                                          | (m)      | $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n})$ |        |       | $(\text{Pa}^{0,67})$ | (-) | $(\text{m}^{-3})$ | (1/h) |
| dřevěná okna                                                                                                                                                                                             | 3 786,70 | 0,7                                                     | 0,0001 | 3 600 | 8,0                  | 1,0 | 0,0000523         | 0,399 |
| balkonové dveře                                                                                                                                                                                          | 1 304,16 | 0,7                                                     |        |       |                      |     |                   | 0,138 |
| $V = 16\,233 \times 0,85$<br>(m <sup>3</sup> )                                                                                                                                                           |          |                                                         |        |       |                      |     | Celkem            | 0,537 |
| Spotřeba tepelné energie větráním: $118,6 \text{ (kW)} \cdot 1,80 = 213,48 \text{ (MWh)} \cdot 3,6 = 768,53 \text{ (GJ)}$                                                                                |          |                                                         |        |       |                      |     |                   |       |
| $L$ – délka spár otevíratelných částí výplní otvorů, $i$ – součinitel průvzdušnosti spár,<br>$B$ – charakteristické číslo budovy, $M$ – charakteristické číslo místnosti,<br>$V$ – vytápěný objem budovy |          |                                                         |        |       |                      |     |                   |       |

### Závěr k výpočtům současných tepelných ztrát

1. K nejvyšším tepelným ztrátám dochází u oken, a to prostupem a infiltrací. Je to dáno velkou plochou oken a balkonových dveří a jejich současnými tepelně technickými vlastnostmi. Tepelné ztráty okny a vnějšími dveřmi představují cca 55 % všech tepelných ztrát.
2. Dalším zdrojem tepelných ztrát jsou nedostatečné tepelně technické vlastnosti obvodových konstrukcí. Tepelné odpory konstrukcí odpovídají požadavkům tepelně technické normy platné v období realizace budovy, z hlediska dnešních požadavků jsou nevyhovující.
3. Významné jsou rovněž tepelné ztráty střešní konstrukcí. Jejich podíl na celkových tepelných ztrátách budovy činí cca 4 %, ale tepelně technické vlastnosti střešní konstrukce ovlivňují tepelnou pohodu v bytech pod střechou.
4. Druhým nejvyšším zdrojem tepelných ztrát jsou tepelné ztráty vyvolané výměnou vzduchu. Vzhledem k výpočtově stanovené výměně vzduchu v místnostech ve výši  $n = 0,54 \text{ 1/h}$ , je splněn hygienický požadavek na výměnu vzduchu.

## Porovnání vypočtených tepelných ztrát se skutečnou spotřebou tepla na vytápění objektu

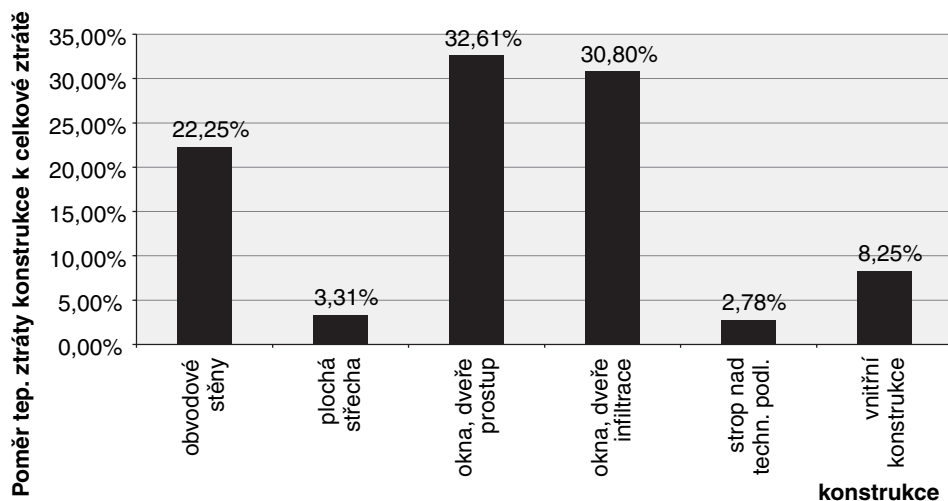
Porovnání vypočtené potřeby tepla na krytí tepelných ztrát se skutečnou naměřenou spotřebou tepla na vytápění v budově bylo provedeno podle metodiky výpočtu uvedené v ČSN 73 0540:1979. Z předaných faktur za dodané teplo za poslední tři topná období vychází průměrná spotřeba tepla na vytápění budovy:

$$E_{\text{skut}} = 2\,693,0 \text{ GJ/r}$$

Z vypočtených tepelných ztrát budovy obálkovou metodou vychází spotřeba tepla na vytápění ve výši:

$$E_{\text{vyp}} = 2 \cdot 15 \cdot 336,059 = 722,53 \text{ MWh} = 2\,601,1 \text{ GJ/r}$$

Z rozdílu mezi skutečnou naměřenou spotřebou tepla na vytápění budovy a spotřebou vypočtenou podle výpočtového postupu ČSN 73 0540:1979 vyplývá, že rozdíl mezi oběma hodnotami je v rozsahu do 10 % (cca 3,5 %). Z provedeného rozboru vyplývá, že tepelně technické vlastnosti obvodových konstrukcí byly správně stanoveny a že lze na podkladě vypočtených tepelných ztrát jednotlivými konstrukcemi navrhnout taková úsporná opatření, která zaručí nejen splnění požadovaných kritérií, ale rovněž značné snížení spotřeby tepla na vytápění budovy. Rozložení tepelných ztrát budovy je uvedeno na obr. 31.



Obr.31 Rozložení tepelných ztrát budovy

### a) Návrh dodatečných tepelných izolací konstrukcí

Návrh dodatečných tepelných izolací konstrukcí byl proveden pro následující varianty:

1. návrh konstrukcí podle požadavků ČSN 73 0540:1994
2. návrh konstrukcí podle požadavků ČSN 73 0450:2002 – požadované hodnoty
3. návrh konstrukcí podle požadavků ČSN 73 0450:2002 – doporučené hodnoty
4. stěnové konstrukce  $U = 0,20 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , střecha  $U = 0,20 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , okna  $U = 1,10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
5. stěnové konstrukce  $U = 0,15 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , střecha  $U = 0,15 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , okna  $U = 0,90 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
6. stěnové konstrukce  $U = 0,10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , střecha  $U = 0,10 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , okna  $U = 0,70 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
7. stěnové konstrukce  $U = 0,05 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , střecha  $U = 0,05 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ , okna  $U = 0,50 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

Výsledky hodnocení jednotlivých variant jsou uvedeny v tab. 187 až 194.



Tab. 187 Současný stav

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |          |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|----------|
| Plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |          |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 1,087    | 0,83    | 2,929           | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 1,488             |                       |          |
| $Q$ (W)                      | 85 655   | 12 746  | 125 567         | 118 597                 | 10 711            | 31 770                |          |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 385 047               | 100,00 % |

Tab. 188 Návrh konstrukcí podle ustanovení ČSN 73 0540:1994

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,46     | 0,316   | 1,86            | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,8               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 36 239   | 4 853   | 79 739          | 118 597                 | 5 759             | 24 519                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 269 705               | 70,04 % |

Tab. 189 Návrh konstrukcí podle ustanovení ČSN 73 0540:2002 – požadované hodnoty

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,38     | 0,24    | 1,8             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,6               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 29 936   | 3 686   | 77 167          | 118 597                 | 4 319             | 23 370                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 257 075               | 66,76 % |

Tab. 190 Návrh konstrukcí podle ustanovení ČSN 73 0540:2002 – doporučené hodnoty

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,25     | 0,16    | 1,2             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,4               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 19 695   | 2 457   | 51 444          | 118 597                 | 2 879             | 19 507                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 214 580               | 55,73 % |

Tab. 191 Stěnové konstrukce  $U = 0,20$  (W/(m<sup>2</sup>K)), střecha  $U = 0,20$  (W/(m<sup>2</sup>K)),  
okna  $U = 1,10$  (W/(m<sup>2</sup>K))

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,2      | 0,16    | 1,1             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,4               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 15 756   | 2 457   | 47 157          | 118 597                 | 2 879             | 18 685                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 205 531               | 53,38 % |

Tab. 192 Stěnové konstrukce  $U = 0,15$  (W/(m<sup>2</sup>K)), střecha  $U = 0,15$  (W/(m<sup>2</sup>K)),  
okna  $U = 0,90$  (W/(m<sup>2</sup>K))

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,15     | 0,15    | 0,9             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,4               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 11 817   | 2 304   | 38 583          | 118 597                 | 2 879             | 17 418                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 191 598               | 49,76 % |

Tab. 193 Stěnové konstrukce  $U = 0,10$  (W/(m<sup>2</sup>K)), střecha  $U = 0,10$  (W/(m<sup>2</sup>K)),  
okna  $U = 0,70$  (W/(m<sup>2</sup>K))

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,1      | 0,1     | 0,7             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,4               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 7 878    | 1 536   | 30 009          | 118 597                 | 2 879             | 16 090                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 176 989               | 45,97 % |

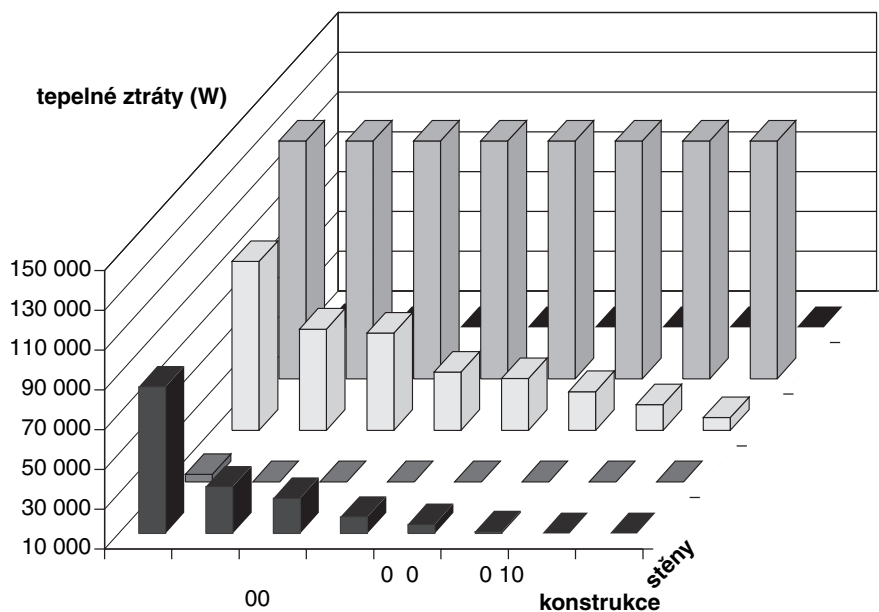
Tab. 194 Stěnové konstrukce  $U = 0,05$  (W/(m<sup>2</sup>K)), střecha  $U = 0,05$  (W/(m<sup>2</sup>K)),  
okna  $U = 0,50$  (W/(m<sup>2</sup>K))

| Konstrukce                   | stěny    | střecha | okna<br>prostup | okna<br>infiltrace      | podlaha<br>nad TP | vnitřní<br>konstrukce |         |
|------------------------------|----------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|---------|
| plocha                       | 2 461,88 | 479,9   | 1 339,7         | 5 090,86                | 479,9             |                       |         |
| $U$ (W/m <sup>2</sup> K)     | 0,05     | 0,05    | 0,5             | $i = 0,7 \cdot 10^{-4}$ | 0,4               |                       |         |
| $Q$ (W)                      | 3 939    | 768     | 21 435          | 118 597                 | 2 879             | 14 762                |         |
| tepelné ztráty budovy celkem |          |         |                 |                         |                   | 162 380               | 42,17 % |

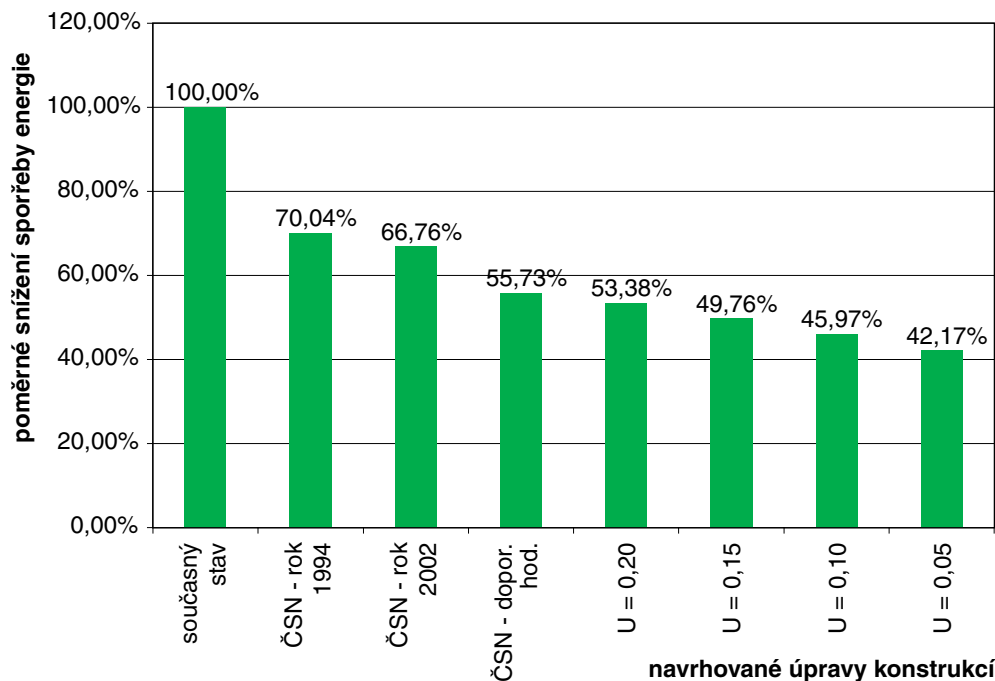
Z provedeného hodnocení možného snížení spotřeby tepla na vytápění budovy při různých variantách tepelně technických vlastností obvodového pláště vyplývá, že nejvyšší úspory je dosaženo u varianty č. 8. Z obr. 31 je zřejmé, že nárůst možné úspory energie na vytápění mezi variantami č. 1 až 8 činí pouze 11,6 %, zatímco snížení spotřeby energie mezi současným stavem a variantou č. 4 je 44,3 %, což je cca 4x více. Z uvedeného rozboru vyplývá, že navrhování tloušťek tepelně izolačních vrstev má své technické omezení. Toto omezení je způsobeno dominantním vlivem tepelných ztrát infiltrace, které se s ohledem na požadovanou hygienicky nutnou výměnu vzduchu v místnostech nemění.

Dosud prováděný rozbor vycházel pouze z technických problémů, z možnosti snižování tepelných ztrát budovy a spotřeby tepla na vytápění. Návrh dodatečných tepelných izolací má však i problémy svázané s ekonomikou – jde zejména o náklady na realizaci úsporných opatření a náklady spojené s provozem budovy.

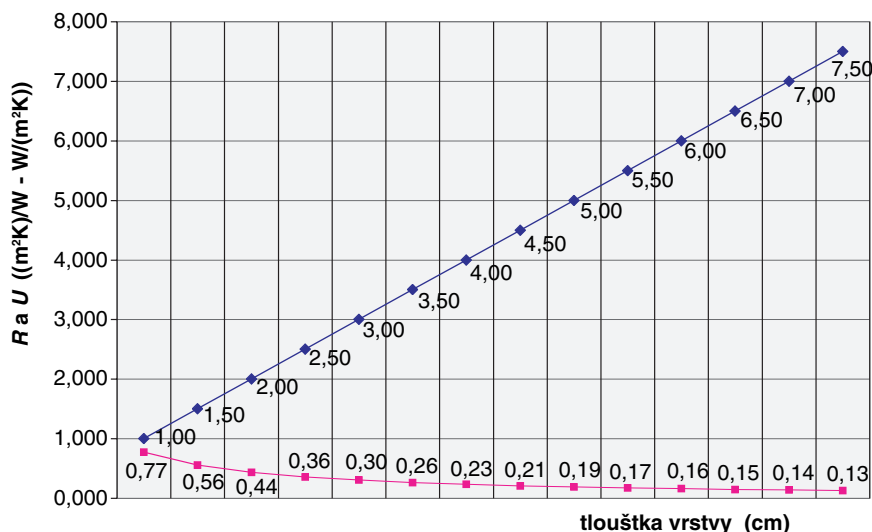
Základní ekonomický rozbor byl dříve prováděn pro jednotlivé konstrukce. Cílem bylo stanovení ekonomického (optimálního) tepelného odporu konstrukce v závislosti na ceně tepelné izolační vrstvy a ceně ušporené energie. Optimální tloušťka tepelné izolační vrstvy je dána závislostí tepelného odporu vrstvy a součinitele prostupu tepla. Tato závislost je uvedena v obr. 34, z obrázku vyplývá, že se zvětšující se tloušťkou tepelné izolační vrstvy (s rostoucím tepelným odporem) se současně snižuje hodnota součinitele prostupu tepla, která se asymptoticky blíží k nule.



Obr. 32 Rozložení tepelných ztrát pro hodnocené varianty tepelně technických vlastností konstrukce

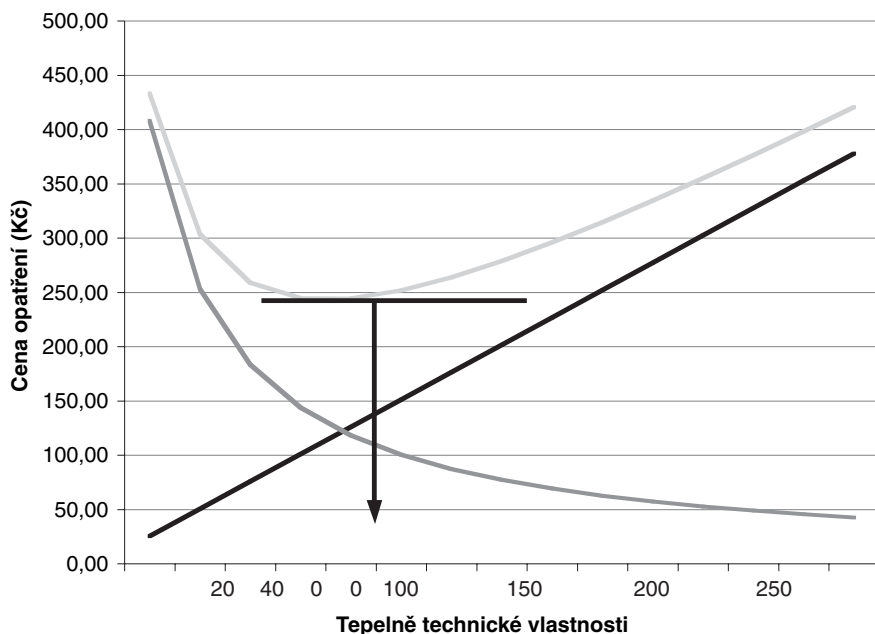


Obr. 33 Snížení tepelných ztrát budovy v závislosti na tepelně technických vlastnostech konstrukcí



Obr. 34 Závislost mezi tepelným odporem vrstvy  $R$  ( $(m^2K)/W$ ) a součinitelem prostupu tepla  $U$  ( $W/(m^2K)$ ) (hodnoty byly stanoveny pro vrstvu pěnového polystyrenu ( $\lambda = 0,040$   $W/(m K)$ ))

S rostoucí tloušťkou tepelně izolační vrstvy rostou náklady na realizaci konstrukce. Stanovení optimální tloušťky vrstvy je uvedeno na obr. 35. Optimální tloušťka tepelně izolační vrstvy je dána minimální hodnotou součtu nepřímých hodnot, např. ceny tepelně izolační vrstvy a měrné tepelné ztráty.



Obr. 35 Stanovení optimální tloušťky vrstvy (konstrukce)

Optimální tloušťka tepelně izolační vrstvy je vztažena pouze k jednotlivé konstrukci a nevztahuje další vzájemné vazby mezi vlastnostmi stavební části budovy a technickými zařízeními budovy.

Návrh tepelně technických vlastností konstrukcí odpovídající optimální tloušťce tepelně izolační vrstvy není dostačujícím kritériem pro návrh konstrukcí a nemusí zaručovat optimální spotřebu tepla na vytápění budovy. Optimální tloušťky tepelně izolačních vrstev jsou při současných průměrných cenách energie přibližně na úrovni požadovaných hodnot tepelných odporu současné ČSN 73 0540:2002.

V posledních letech se rozvíjí trend výstavby energeticky úsporných domů s tepelně technickými vlastnostmi, převyšujícími požadavky současných normových předpisů. O nízkoenergetických domech se mluví v posledním období velmi často. Převažující názor investorů rodinných domů je ale ten, že nízkoenergetický dům je něco výjimečného, co je možná výhodné do budoucna, ale v současné době nevyzkoušené a extrémně drahé. K tomuto názoru přispívá i fakt, že převážná většina informací o nízkoenergetických domech se váže k nejrynějším experimentálním objektům, na které jsou použity výjimečné materiály a zařízení.

To, že se výstavby nízkoenergetických domů u nás a v Evropě v běžné výstavbě příliš nevyužívá, je kromě již uvedených důvodů způsobeno i ekonomickým hlediskem. Výstavba nízkoenergetických domů je v pořizovacích nákladech dražší než u běžné výstavby, návratnost investic při současných cenách stavebních materiálů a prací a při současných cenách energie je často za hranicemi životnosti konstrukcí.

Jako příklad závislosti návrhu dodatečných tepelných izolací obvodových konstrukcí na ekonomické návratnosti vložených nákladů byl proveden rozbor navrhovaných variant úsporných opatření u věžového domu stavební soustavy T 06 B. Rozbor ekonomické efektivity realizovaných úsporných opatření u stavebních konstrukcí věžového domu je uveden v tab. 195 až 201.

Tab. 195 Potřeba energie pro krytí tepelných ztrát věžového domu pro hodnocené varianty

| Varianta          | potřeba tepla<br><i>E</i> (MWh) | potřeba tepla<br>(GJ) | cena energie<br>za rok | rozdíl v ceně | úspora        |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|---------------|---------------|
| současný stav     | 827,85                          | 2 980,260511          | 1 043 091,18 Kč        | –             | –             |
| ČSN – rok 1994    | 579,86                          | 2 087,513953          | 730 629,88 Kč          | 312 461,30 Kč | 312 461,30 Kč |
| ČSN – rok 2002    | 552,71                          | 1 989,760857          | 696 416,30 Kč          | 34 213,58 Kč  | 346 674,88 Kč |
| ČSN – dopor. hod. | 461,35                          | 1 660,848819          | 581 297,09 Kč          | 115 119,21 Kč | 461 794,09 Kč |
| <i>U</i> = 0,20   | 441,89                          | 1 590,812247          | 556 784,29 Kč          | 24 512,80 Kč  | 486 306,89 Kč |
| <i>U</i> = 0,15   | 411,94                          | 1 482,968337          | 519 038,92 Kč          | 37 745,37 Kč  | 524 052,26 Kč |
| <i>U</i> = 0,10   | 380,53                          | 1 369,894516          | 479 463,08 Kč          | 39 575,84 Kč  | 563 628,10 Kč |
| <i>U</i> = 0,05   | 349,12                          | 1 256,820695          | 439 887,24 Kč          | 39 575,84 Kč  | 603 203,94 Kč |

Tab. 196 Ekonomické vyhodnocení – varianta ČSN 73 0540:1994

| ČSN – rok 1994               | stěna        | střecha    | okna         | podlaha    | celkem        |
|------------------------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|
| Plocha                       | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70     | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 1 150 Kč     | 800 Kč     | 4 000 Kč     | 600 Kč     |               |
| Cena DTI                     | 2 831 162 Kč | 383 920 Kč | 5 358 800 Kč | 287 940 Kč | 8 861 822 Kč  |
| Cena ušetřené energie        |              |            |              |            | 312 461,30 Kč |
| Prostá návratnost            |              |            |              |            | 28 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |            |              |            | 44 let        |

Tab. 197 Ekonomické vyhodnocení – varianta ČSN 73 0540:2002 požadované hodnoty

| ČSN – rok 2002               | stěna        | střecha     | okna         | podlaha    | celkem        |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|
| Plocha                       | 2 461,88     | 479,90      | 1 339,70     | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 1 250,00 Kč  | 1 000,00 Kč | 6 000,00 Kč  | 700,00 Kč  |               |
| Cena DTI                     | 3 077 350 Kč | 479 900 Kč  | 8 038 200 Kč | 335 930 Kč | 11 931 380 Kč |
| Cena ušetřené energie        |              |             |              |            | 346 674,88 Kč |
| Prostá návratnost            |              |             |              |            | 34 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |             |              |            | 61 let        |

Tab. 198 Ekonomické vyhodnocení – varianta ČSN 73 0540:2002 doporučené hodnoty

| ČSN – doporučená             | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                       | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 1 400 Kč     | 1 200 Kč   | 8 000 Kč      | 850 Kč     |               |
| Cena DTI                     | 3 446 632 Kč | 575 880 Kč | 10 717 600 Kč | 407 915 Kč | 15 148 027 Kč |
| Cena ušetřené energie        |              |            |               |            | 461 794,09 Kč |
| Prostá návratnost            |              |            |               |            | 33 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |            |               |            | > 70 let      |

Tab. 199 Ekonomické vyhodnocení – varianta  $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,15$                   | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                       | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 2 200 Kč     | 1 600 Kč   | 10 000 Kč     | 1 000 Kč   |               |
| Cena DTI                     | 5 416 136 Kč | 767 840 Kč | 13 397 000 Kč | 479 900 Kč | 20 060 876 Kč |
| Cena ušetřené energie        |              |            |               |            | 524 052,26 Kč |
| Prostá návratnost            |              |            |               |            | 38 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |            |               |            | > 70 let      |

Tab. 200 Ekonomické vyhodnocení – varianta  $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,10$                   | Stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                       | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 2 400 Kč     | 1 800 Kč   | 12 000 Kč     | 1 000 Kč   |               |
| Cena DTI                     | 5 908 512 Kč | 863 820 Kč | 16 076 400 Kč | 479 900 Kč | 23 328 632 Kč |
| Cena ušetřené energie        |              |            |               |            | 563 628,10 Kč |
| Prostá návratnost            |              |            |               |            | 41 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |            |               |            | > 70 let      |

Tab. 201 Ekonomické vyhodnocení – varianta  $U = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,05$ | stěna    | střecha | okna     | podlaha | celkem |
|------------|----------|---------|----------|---------|--------|
| Plocha     | 2 461,88 | 479,90  | 1 339,70 | 479,90  |        |

|                              |              |              |               |            |               |
|------------------------------|--------------|--------------|---------------|------------|---------------|
| $U = 0,05$                   | stěna        | střecha      | okna          | podlaha    | celkem        |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>      | 2 800 Kč     | 2 400 Kč     | 14 000 Kč     | 1 000 Kč   |               |
| Cena DTI                     | 6 893 264 Kč | 1 151 760 Kč | 18 755 800 Kč | 479 900 Kč | 27 280 724 Kč |
| Cena ušetřené energie        |              |              |               |            | 603 203,94 Kč |
| Prostá návratnost            |              |              |               |            | 45 let        |
| Návratnost metodou cash-flow |              |              |               |            | > 70 let      |

Z provedeného ekonomického rozboru jednotlivých variant vyplývá, že prostá návratnost vložených investic je nad 30 let; návratnost metodou cash-flow je kromě variant 1 a 2 nad hranicí životnosti budovy. Tuto situaci nepříznivě ovlivňují tepelné ztráty výměnou vzduchu, které zůstávají u všech hodnocených variant stejné. Představují cca 24 % u současného stavu a 42 % u varianty s nejnižšími hodnotami součinitelů prostupu tepla konstrukcemi. Jednou z možností jak snížit tepelné ztráty výměnou vzduchu a současně zajistit požadovanou výměnu vzduchu je realizace rekuperace tepla z odváděného vzduchu.

Ekonomické vyhodnocení variant úsporných opatření s využitím rekuperace tepla z odváděného vzduchu je uvedeno v tab. 202 – 208. Náklady na realizaci rekuperačního zařízení byly uvažovány ve výši 50 000 Kč/byt, průměrná účinnost využití odpadního tepla 50 %.

Tab. 202 Varianta 1 – návrh DTI podle ČSN 73 0540:1994

|                                         |              |            |              |            |               |
|-----------------------------------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|
| ČSN 730540:94                           | stěna        | střecha    | okna         | podlaha    | celkem        |
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70     | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 1 150 Kč     | 800 Kč     | 4 000 Kč     | 600 Kč     |               |
| Cena DTI                                | 2 831 162 Kč | 383 920 Kč | 5 358 800 Kč | 287 940 Kč | 8 861 822 Kč  |
| Prostá návratnost                       |              |            |              |            | 28 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |              |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |              |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |              |            | 633 739,69 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |              |            | 22 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |              |            | 30 let        |

Tab. 203 Varianta 2 – návrh DTI podle ČSN 73 0540:2002 požadované hodnoty

|                                         |              |            |              |            |               |
|-----------------------------------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|
| ČSN 730540:02                           | stěna        | střecha    | okna         | podlaha    | celkem        |
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70     | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 1 250 Kč     | 1 000 Kč   | 6 000 Kč     | 700 Kč     |               |
| Cena DTI                                | 3 077 350 Kč | 479 900 Kč | 8 038 200 Kč | 335 930 Kč | 11 931 380 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |            |              |            | 34 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |              |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |              |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |              |            | 667 953,27 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |              |            | 25 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |              |            | 37 let        |

Tab. 204 Varianta 3 – návrh DTI podle ČSN 73 0540:2002 – doporučené hodnoty

| ČSN 73 0540:02                          | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|-----------------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 1 400 Kč     | 1 200 Kč   | 8 000 Kč      | 850 Kč     |               |
| Cena DTI                                | 3 446 632 Kč | 575 880 Kč | 10 717 600 Kč | 407 915 Kč | 15 148 027 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |            |               |            | 33 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |               |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |               |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |               |            | 783 072,48 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |               |            | 26 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |               |            | 38 let        |

Tab. 205 Varianta 4 –  $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,2$                               | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|-----------------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 1 800 Kč     | 1 400 Kč   | 10 000 Kč     | 850 Kč     |               |
| Cena DTI                                | 4 431 384 Kč | 671 860 Kč | 13 397 000 Kč | 407 915 Kč | 18 908 159 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |            |               |            | 39 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |               |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |               |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |               |            | 807 585,28 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |               |            | 30 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |               |            | 47 let        |

Tab. 206 Varianta 5 –  $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,15$                              | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
|-----------------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90     | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 2 200 Kč     | 1 600 Kč   | 10 000 Kč     | 1 000 Kč   |               |
| Cena DTI                                | 5 416 136 Kč | 767 840 Kč | 13 397 000 Kč | 479 900 Kč | 20 060 876 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |            |               |            | 39 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |               |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |               |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |               |            | 845 330,65 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |               |            | 30 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |               |            | 47 let        |

Tab. 207 Varianta 4 –  $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

| $U = 0,10$              | stěna    | střecha  | okna      | podlaha  | celkem |
|-------------------------|----------|----------|-----------|----------|--------|
| Plocha                  | 2 461,88 | 479,90   | 1 339,70  | 479,90   |        |
| Cena DTI/m <sup>2</sup> | 2 400 Kč | 1 800 Kč | 12 000 Kč | 1 000 Kč |        |



|                                         |              |            |               |            |               |
|-----------------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|
| $U = 0,10$                              | stěna        | střecha    | okna          | podlaha    | celkem        |
| Cena DTI                                | 5 908 512 Kč | 863 820 Kč | 16 076 400 Kč | 479 900 Kč | 23 328 632 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |            |               |            | 41 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |            |               |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |            |               |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |            |               |            | 884 906,49 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |            |               |            | 32 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |            |               |            | 53 let        |

Tab. 208 Varianta 4 –  $U = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

|                                         |              |              |               |            |               |
|-----------------------------------------|--------------|--------------|---------------|------------|---------------|
| $U = 0,05$                              | stěna        | střecha      | okna          | podlaha    | Celkem        |
| Plocha                                  | 2 461,88     | 479,90       | 1 339,70      | 479,90     |               |
| Cena DTI/m <sup>2</sup>                 | 2 800 Kč     | 2 400 Kč     | 14 000 Kč     | 1 000 Kč   |               |
| Cena DTI                                | 6 893 264 Kč | 1 151 760 Kč | 18 755 800 Kč | 479 900 Kč | 27 280 724 Kč |
| Prostá návratnost                       |              |              |               |            | 45 let        |
| Cena rekuperačního zařízení             |              |              |               |            | 5 000 000 Kč  |
| Energie ušetřená rekuperací             |              |              |               |            | 321 278,39 Kč |
| Celkem ušetřená energie                 |              |              |               |            | 924 482,33 Kč |
| Prostá návratnost finančních prostředků |              |              |               |            | 35 let        |
| Návratnost metodou cash-flow            |              |              |               |            | 63 let        |

## 7.2.2 Možnost zmenšení spotřeby tepla při vytápění rodinného domu s využitím tepelného čerpadla



Obr. 36 Hodnocený rodinný dům

Pro ekonomické vyhodnocení finančních prostředků vložených do realizace tepelného čerpadla byl vybrán rodinný dům (obr. 36). Spotřeba elektrické energie na provoz domu je pro období před realizací tepelného čerpadla a v době po realizaci uvedena v tab. 209.

Tab. 209 Spotřeba energie na provoz objektu před a po realizaci tepelného čerpadla

| Rok                             | 2000 | 2001        | 2002       |
|---------------------------------|------|-------------|------------|
| spotřeba topení (MWh)           | –    | 21,75       | 5,151      |
| ohřev TV (MWh)                  | –    | 5,183       | 2,695      |
| ostatní spotřeba – nízký tarif  | –    | 4,4         | 4,0        |
| ostatní spotřeba – vysoký tarif | –    | 0,4         | 0,8        |
| Celkem spotřeba (MWh/rok)       | –    | 31,733      | 12,646     |
| cena (Kč/kWh)                   | –    | 1,10 – 3,96 | 1,0 – 3,96 |
| cena celkem                     | –    | 42 026 Kč   | 16 410 Kč  |

Dům je postaven v otevřené krajině, od západu vystavené působení větrů. Stěnové konstrukce jsou provedeny z keramických tvarovek NOVATHERM v tloušťce 440 mm, šikmá sedlová střešní konstrukce je tepelně izolována deskami minerální plsti ORSIL v tloušťce 160 mm vložené mezi krokve. Podlahová konstrukce nad suterénem a na terénu je tepelně izolována deskami pěnového polystyrénu v tloušťce 50 mm. Stropní sestavení jsou podle projektové dokumentace vložkové z desek HURDIS. Okna v objektu jsou plastová s izolačními dvojskly. Okna jsou těsněna běžnými těsnícími systémy. Součinitel prostupu tepla oken a vnějších dveří je podle návrhových podkladů  $U = 1,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Vytápění domu je teplovodní pomocí deskových těles, v přízemí kombinované s podlahovým vytápěním. Měření spotřeby dodané energie je elektroměrem na vstupu do domu. Vytápěcí tělesa jsou vybavena termoregulačními ventily. Ohřev TV je bojlerem, kde teplá voda je ohřívána tepelným čerpadlem a podle potřeby dohřívána elektrickým proudem.

#### a) Současný stav domu a skladby hodnocených konstrukcí

Současný stav domu:

Rodinný dům je postaven současnými tradičními technologickými postupy. Provedení konstrukcí je zřejmé z uvedených skladeb konstrukcí, kterými dochází k tepelným ztrátám.

Skladby hodnocených základních obvodových a vnitřních konstrukcí:

Uvedené skladby obvodových a vnitřních konstrukcí charakterizují technologické provedení domu. Pro stanovení tepelných ztrát domu byly vybrány konstrukce, kterými dochází k tepelným ztrátám a které ovlivňují celkovou současnou spotřebu energie na vytápění domu.

Obvodová stěna:

- omítka vnitřní tl. 15 mm
- cihelné zdivo NOVATHERM tl. 440 mm
- vnější omítka tl. 20 mm

Vnitřní stěna do garáže:

- omítka vnitřní tl. 15 mm
- cihelné zdivo tl. 300 mm
- vnitřní omítka tl. 15 mm

Šikmá střecha:

- střešní krytina

- latě a kontralatě
- PE fólie
- desky ORSIL
- parotěsná vrstva tl. 0,30 mm
- rošt z prken
- vzduchová vrstva (profily SDK) tl. 20 mm
- sádkarton

tl. 0,1 mm  
tl. 160 mm  
tl. 25 mm  
tl. 13 mm

Podlaha na terénu a nad suterénem:

- keramická dlažba do tmelu tl. 10 mm
- podkladní beton tl. 75 mm
- pěnový polystyrén
- hydroizolace

tl. 50 mm

## b) Výchozí tepelné ztráty domu

### Současné tepelné technické vlastnosti obvodových konstrukcí

Tepelné technické vlastnosti stavebních konstrukcí byly stanoveny podle ustanovení ČSN 73 0540:2002. Fyzikální vlastnosti použitých materiálů byly převzaty z ČSN 73 0540 – Část 3. Výpočty byly provedeny výpočtovým programem „TEPLO“ (autor Svoboda, Stavební fakulta ČVUT). Výsledky hodnocení jsou uvedeny v *tab. 210*.

*Tab. 210* Výsledky hodnocení tepelné technických vlastností – současný stav

| Konstrukce | Název konstrukce                   | Požadavek<br>ČSN<br>$U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | Tepelný<br>odpor<br>$R$ ((m <sup>2</sup> K)/W) | Součinitel<br>prostupu<br>tepla<br>$U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | Hodnocení   |
|------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|
| 1          | obvodová stěna                     | 0,38                                           | 2,353                                          | 0,397                                                         | nevyhovuje  |
| 2          | šikmá střecha                      | 0,30                                           | 3,302                                          | 0,288                                                         | vyhovuje    |
| 3          | strop na terénu<br>a nad suterénem | 0,60                                           | 1,231                                          | 0,714                                                         | nevyhovuje  |
| 4          | vnitřní stěny                      | 0,60                                           | 2,353                                          | 0,397                                                         | vyhovuje    |
| 5          | okna, dveře – prostup              | 1,80                                           | 0,665                                          | 1,400                                                         | vyhovuje    |
| 6          | infiltrace spárami                 | $i = 1,0 \cdot 10^{-4}$                        | –                                              | –                                                             | viz pozn.   |
| 7          | vnitřní konstrukce                 | 0,15 – 1,0                                     | 0,390                                          | 1,560                                                         | nehodnoceny |

#### Poznámka:

Vyhodnocení výměny vzduchu v obytných místnostech podle hygienických požadavků je uvedeno při výpočtu tepelných ztrát.

Jak vyplývá z provedeného tepelné technického hodnocení stavebních konstrukcí, kterými dochází k tepelným ztrátám, jsou některé konstrukce z hlediska současných požadavků ČSN 73 0540-2:2002 nevyhovující. Konstrukce vyhovují požadavkům ČSN 73 0540 platné v době realizace domu v roce 1999.

Výchozí tepelné ztráty domu:

Výpočet tepelných ztrát byl proveden „Obálkovou metodou“, která vychází ze stanovení tepelných ztrát obvodovým pláštěm budovy podle ČSN 06 0210:1994. Aby byly zohledněny i tepelné ztráty vnitřními konstrukcemi, je výsledná hodnota vnějších tepelných ztrát zvýšena o 10 %. Výsledky výpočtů tepelných ztrát domu jsou uvedeny v *tab. 211*.

*Tab. 211* Současné tepelné ztráty domu

| Konstrukce                     | Plocha<br>(m <sup>2</sup> ) | Součinitel<br>prostu<br>tepla<br>$U$ (W/(m <sup>2</sup> K)) | teplotní<br>rozdíl<br>$\theta_i - \theta_e$ (K) | tepelná<br>ztráta<br>(W) | procenta |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|----------|
| obvodové stěny                 | 115,61                      | 0,397                                                       | 32                                              | 1 469                    | 14,52 %  |
| šikmá střecha                  | 150,00                      | 0,288                                                       | 32                                              | 1 382                    | 13,67 %  |
| podlaha nad sut. a na ter.     | 111,00                      | 0,714                                                       | 32                                              | 2 536                    | 25,08 %  |
| vnitřní stěny                  | 21,80                       | 0,397                                                       | 10                                              | 87                       | 0,86 %   |
| okna dveře prostup             | 32,72                       | 1,400                                                       | 32                                              | 1 466                    | 14,49 %  |
| okna dveře infiltrace          | 117,79                      | $i = 1,0 \cdot 10^{-4}$                                     | 32                                              | 2 744                    | 27,13 %  |
| vnitřní konstrukce             |                             |                                                             |                                                 | 430                      | 4,25 %   |
| Současné tepelné ztráty celkem |                             |                                                             |                                                 | 10 113                   | 100,00 % |

*Tab. 212* Výpočet tepelných ztrát infiltrací

|             |            |                     |      |     |                       |          |
|-------------|------------|---------------------|------|-----|-----------------------|----------|
|             | délka spár | $i_L \cdot 10^{-4}$ | $B$  | $M$ | $\theta_i - \theta_e$ | $Q$      |
| okna, dveře | 117,79     | 1,0                 | 8,00 | 0,7 | 32                    | 2 744,03 |

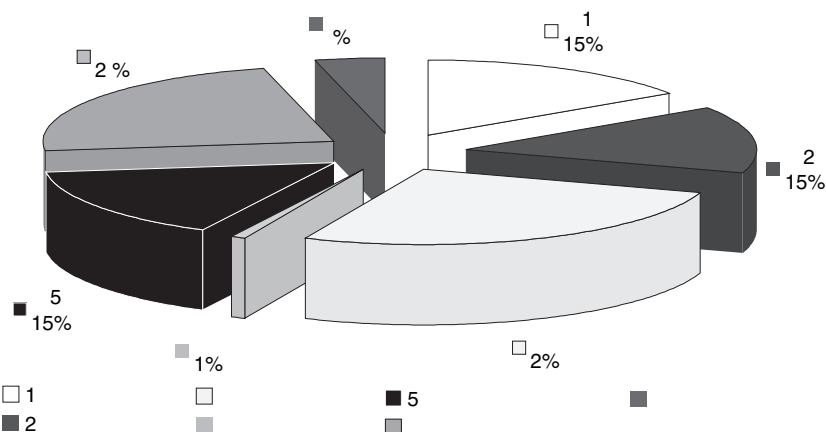
*Tab. 213 Výpočet násobnosti výměny vzduchu v místnostech*

|             |            |                     |      |     |         |       |
|-------------|------------|---------------------|------|-----|---------|-------|
|             | délka spár | $i_L \cdot 10^{-4}$ | $B$  | $M$ | $V$     | $n$   |
| okna, dveře | 117,79     | 1,0                 | 8,00 | 0,7 | 641,582 | 0,719 |

## Závěr k výpočtům výchozích tepelných ztrát

K nejvyšším tepelným ztrátám dochází výměnou vzduchu v domě. Tepelné ztráty infilrací nelze snížit, neboť by nebyly splněny požadavky na hygienu vnitřního prostředí v obytných místnostech.

Tepelné odpory obvodových konstrukcí odpovídají požadavkům normy platné v období realizace domu, současným požadavkům některé konstrukce nevyhovují.



*Obr. 37* Rozdělení tepelných ztrát domu

### c) Porovnání vypočtených tepelných ztrát domu se skutečnou spotřebou tepla při vytápění

Výpočet spotřeby tepla na vytápění se provádí podle norem a předpisů platných v ČR (ČSN 73 0540, ČSN 06 0210). Nejnovějším předpisem je vyhláška MPO č. 291/2001 Sb. Z předaných podkladů o spotřebě tepla na vytápění domu v posledních topných obdobích před realizací tepelného čerpadla vychází průměrná spotřeba energie (GJ):

$$E_{\text{skut}} = 21,75 \text{ MWh/rok}$$

Z vypočtených tepelných ztrát domu před realizací TČ obálkovou metodou vychází spotřeba tepla na vytápění:

$$E_{\text{výp.}} = 10,113 \cdot 2,15 = 21,743 \text{ MWh/rok} = 78,3 \text{ GJ/rok}$$

Rozdíl mezi skutečnou a teoreticky vypočtenou spotřebou tepla na vytápění domu je 4,20 %. Z provedeného rozboru vyplývá, že vypočtené původní tepelné ztráty domu jsou stanoveny správně, a lze na jejich základě provést rozbor možných variant vytápění rodinného domu.

**Hodnocení měrné spotřeby tepla na vytápění podle vyhlášky MPO č. 291/2001 Sb.**

Tab. 214 Hodnocení objektu podle vyhlášky MPO č. 291/2001 Sb.

|                                                   |        |                       |
|---------------------------------------------------|--------|-----------------------|
| Obestavěný prostor budovy                         | 641,58 | (m <sup>3</sup> )     |
| Plocha vnějších konstrukcí                        | 431,13 | (m <sup>2</sup> )     |
| Poměr An/Vn                                       | 0,672  |                       |
| Měrná spotřeba tepla dle vyhlášky č. 291/2001 Sb. | 38,13  | (kWh/m <sup>3</sup> ) |
| Požadovaná hodnota měrné spotřeby tepla podle ČEA | 24,79  | (kWh/m <sup>3</sup> ) |

| Konstrukce                                               | spotřeba tepla |                       |
|----------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|
| stěny průčelí                                            | 45,90          | (kW)                  |
| štitové stěny                                            | 43,20          | (kW)                  |
| strop pod půdou                                          | 79,25          | (kW)                  |
| strop nad suterénem                                      | 3,46           | (kW)                  |
| okna a dveře prostup                                     | 52,68          | (kW)                  |
| zvýšení spotřeby tepla na tepelné mosty                  | 43,11          | (kW)                  |
| spotřeba tepla na vytápění prostupem                     | 25 154,89      | (kW)                  |
| spotřeba tepla na vytápění větráním                      | 8 340,57       | (kWh)                 |
| tepelné zisky ze slunečního záření                       | 3 849,49       | (kWh)                 |
| tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla                   | 1 924,75       | (kWh)                 |
| Výsledná spotřeba tepla na vytápění domu                 | 28 298,64      | (kWh)                 |
| Spotřeba tepla na 1 m <sup>3</sup> obestavěného prostoru | 44,11          | (kWh/m <sup>3</sup> ) |

**Výsledek hodnocení: měrná spotřeba tepla na vytápění  $e_{\text{VN}} = 44,11 > 38,13$  (kWh/m<sup>3</sup>)**

Měrná spotřeba tepla na vytápění nevyhovuje požadavkům vyhlášky č. 291/2001 Sb., protože budova byla navrhována a realizována před platností uvedené vyhlášky.

### Návrh opatření na snížení spotřeby energie na vytápění a ohřev TV

Návrh předpokládá provedení změny vytápění, a to z vytápění elektrickými přímotopy na vytápění pomocí tepelného čerpadla. Zdrojem tepla pro vytápění a ohřev teplé vody bude tepelné čerpadlo WB 4 CF/S (výrobce Bartl Wärmepumpen) systému voda – voda. Teplo bude získáváno ze spodní vody a přečerpáváno na vyšší teplotní úroveň. Alternativním zdrojem energie pro tepelné čerpadlo je spodní voda, získávaná ze dvou zemních vrtů o hloubce 85,0 m. Součástí instalace tepelného čerpadla je akumulární nádrž pro akumulaci přebytečné tepelné energie a akumulární nádrž pro ohřev teplé vody. Doplnkovým zdrojem tepla je elektrický přímotopný kotel o výkonu 12 kW. Celkový maximální příkon zdroje je 18,87 kW (TČ – 3,0 kW), el. kotel – 12,0 kW, ventilace a cirkulační čerpadlo 0,3 + 0,3 kW.

Vytápěcí soustava je teplovodní s nuceným oběhem. Jde o kombinaci podlahového vytápění s deskovými otopnými tělesy. Předpokládaný hlavní teplotní spád topné vody bude 50,5/45 (°C). Regulace tepelného čerpadla obsahuje lineární ekvitermní regulaci, kterou je nastavována výstupní teplota topné vody pro podlahové vytápění. Potřeba tepla pro obě vytápěcí soustavy je řízena prostorovými termostaty.

Teplá voda je předehřívána v akumulárním ohříváči teplé vody o objemu 300 l a dohřívána elektrickou vložkou na potřebnou teplotu. Teplá voda bude připravována ze 100 % tepelným čerpadlem při topném faktoru cca 2,90. Tepelné čerpadlo a elektrokotel bude blokován od signálu HDO po dobu čtyř hodin denně.

Tab. 215 Potřeba energie pro vytápění, ohřev teplé vody (TV) a provoz domácnosti

|                             |      |                   |
|-----------------------------|------|-------------------|
| Počet osob bydlících v domě | 4    | osob              |
| Měrný příkon                | 3,5  | (kWh/os.den)      |
| Celkový příkon              | 14,2 | (kWh/den)         |
| Celkem TV                   | 0,3  | (m <sup>3</sup> ) |
| Počet připravovaných jídel  | 8    | (jidel/den)       |
| Měrný příkon                | 0,2  | (kWh/jídlo/den)   |
| Celkový příkon              | 1,2  | (kWh/den)         |
| Celkem TV                   | 0,0  | (m <sup>3</sup> ) |
| Celkem potřeba TV           | 0,3  | (m <sup>3</sup> ) |

Tab. 216 Technické údaje navrženého tepelného čerpadla

|                        |        |        |
|------------------------|--------|--------|
| Typová velikost WB 4/S |        |        |
| Údaj                   |        | Rozměr |
| Zkušební parametr DN   | W10W35 |        |
| Tepelný výkon          | 13,3   | (kW)   |
| Příkon                 | 2,3    | (kW)   |
| Proud                  | 4,7    | (A)    |
| Topný faktor           | 5,7    |        |
| Zkušební parametr DN   | W10W55 |        |
| Tepelný výkon          | 12,7   | (kW)   |
| Příkon                 | 3,3    | (kW)   |
| Proud                  | 6,8    | (A)    |
| Topný faktor           | 3,8    |        |

|                        |                   |                     |
|------------------------|-------------------|---------------------|
| Typová velikost WB 4/S |                   |                     |
| Údaj                   |                   | Rozměr              |
| Náběhový proud         | 52/29             | (A)                 |
| Jištění                | 16                | (A)                 |
| Elektrické zapojení    | 400/50Hz/3f       |                     |
| Kondenzátor průtok     | 1,6               | (m <sup>3</sup> /h) |
| tlak                   | 0,12              | (bar)               |
| Výparník průtok        | 2,2               | (m <sup>3</sup> /h) |
| tlak                   | 0,1               | (bar)               |
| Dimenze připojení      | 1"                |                     |
| Rozměr                 | 700 · 700 · 1 160 | (mm)                |
| Váha                   | 128               | (kg)                |

#### d) Porovnání nákladů na vytápění

##### Vyhodnocení „Varianty č. 1“ – výchozí stav – elektrické přímotopy

Spotřeba tepla na vytápění a ohřev TV elektrickými přímotopy je uvedena v následující tab. 217.

Tab. 217 Cena energie potřebná pro provoz domu – elektrické přímotopy

| Energetický zdroj pro vytápění – elektrické přímotopy |               |                     |            |
|-------------------------------------------------------|---------------|---------------------|------------|
|                                                       |               | EP                  | plná sazba |
| Spotřeba energie pro (kWh)                            | vytápění      | 21 750              |            |
|                                                       | přípravu TV   | 5 183               |            |
|                                                       | ostatní účely | 4 400               | 400        |
| Spotřeba celkem                                       |               | 31 333 400          |            |
| Spotřeba hrazena                                      |               | E-NT-D45            | E-VT-D45   |
| Výhřevnost                                            |               | –                   |            |
| Spotřeba v MJ (kWh)                                   |               | 31 333              | 400        |
| Cena za MJ (Kč/kWh)                                   |               | 1,10                | 3,96       |
| Cena za odebrané množství energie                     |               | 34 466 Kč           | 1 584 Kč   |
| Stálý měsíční plat (Kč)                               |               | 498 · 12 = 5 976 Kč |            |
| Cena celkem včetně stálého měsíčního platu            |               | 42 026 Kč           |            |
| Procentní vyjádření spotřeby energie                  |               | 256 %               |            |
| Úspora Kč použitím tepelného čerpadla                 |               | 25 616 Kč           |            |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| Tepelná ztráta objektu:                       | 10 113 W   |
| Roční potřeba tepla na vytápění objektu:      | 21 750 kWh |
| Roční potřeba tepla pro přípravu TV:          | 5 183 kWh  |
| Roční potřeba energie pro další účely:        | 4 800 kWh  |
| Jistič:                                       | do 3x 25 A |
| Náklady na realizaci kotelny s elektrokotlem: | 100 000 Kč |

**Poznámka:**

Při stanovení nákladů na realizaci nebyly započítány náklady na vytápěcí soustavu (vnitřní rozvody, vytápěcí tělesa, regulační systém apod.), neboť vytápěcí soustava je u všech hodnocených variant shodná.

**Vyhodnocení „Varianty č. 2“ – realizace tepelného čerpadla**

Spotřeba tepla na vytápění a ohřev TV v domě při realizaci tepelného čerpadla (TČ) je uvedena v následující tab. 218.

Tab. 218 Cena energie potřebná pro provoz domu – TČ

| Energetický zdroj pro vytápění – tepelné čerpadlo |               |          |                  |             |
|---------------------------------------------------|---------------|----------|------------------|-------------|
|                                                   |               | TČ       | plná sazba       |             |
| Spotřeba energie pro (kWh)                        | vytápění      | 19 575   | 2 175            |             |
|                                                   | přípravu TV   | 4 663    | 520              |             |
|                                                   | ostatní účely |          | 4 400            | 400         |
| Spotřeba celkem                                   |               | 24 238   | 7 095            | 400         |
| Spotřeba hrazena                                  |               | E-NT-D55 | E-ET-D55         | E-ET-VT-D55 |
| Topný faktor                                      |               |          | 3,80 (kWh/kWh)   |             |
| Spotřeba v MJ (kWh)                               |               | 5 151    | 7 095            | 400         |
| Cena za MJ (Kč/kWh)                               |               | 1,0      | 1,0              | 3,96        |
| Cena za odebrané množství energie                 |               | 5 151 Kč | 7 095 Kč         | 1 584 Kč    |
| Stálý měsíční plat (Kč)                           |               |          | 215 · 12 = 2 580 |             |
| Cena celkem včetně stálého měsíčního platu        |               |          | 16 410 Kč        |             |
| Procentní vyjádření spotřeby energie              |               |          | 100 %            |             |
| Úspora Kč použitím tepelného čerpadla             |               |          | 0                |             |

Tepelná ztráta domu: 10 113 W  
 Roční potřeba tepla na vytápění domu: 21 743 kWh  
 Roční potřeba tepla pro přípravu TV: 4 000 kWh  
 Roční potřeba energie pro další účely: 4 800 kWh  
 Jistič: do 3x 25 A  
 Náklady na realizaci tepelného čerpadla: 763 373,50 Kč (včetně zemních vrtů)

**Ekonomické vyhodnocení navržené varianty**

Pořizovací náklady na realizaci:

- osazení tepelného čerpadla (včetně DPH) 573 373,50 Kč
- provedení zemních vrtů 190 000,00 Kč

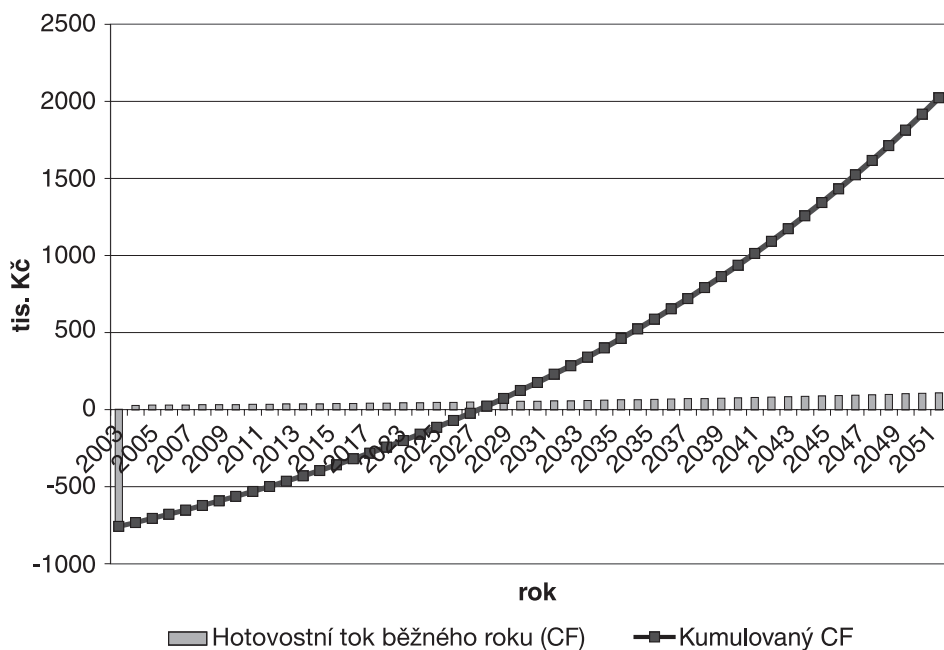
**Celkem 763 373,50 Kč**

**Výsledky ekonomického vyhodnocení**

| Hodnotící kritéria        |       |         |     |
|---------------------------|-------|---------|-----|
| Čistá současná hodnota    | 22,55 | tis. Kč | NPV |
| Vnitřní výnosové procento | 5,15% | IRR     |     |
| Doba splacení (prostá)    | 30    | let     | Ts  |



|                              |        |     |     |
|------------------------------|--------|-----|-----|
| Doba splacení (diskontovaná) | 47     | let | Tsd |
| Rok hodnocení                | 2003   |     |     |
| Doba životnosti (hodnocení)  | 50     | let |     |
| Diskont                      | 5,00 % |     |     |



Obr. 38 Průběh cash flow investora

### Vyhodnocení „Varianty č. 3“ – vytápění kapalným propanem

Spotřeba tepla na vytápění a ohřev TV v domě při vytápění kapalným propanem je uvedena v následující tab. 219.

Tab. 219 Cena energie potřebná pro provoz domu – vytápění kapalným propanem

| Energetický zdroj pro vytápění – kapalný propan |               |             |               |
|-------------------------------------------------|---------------|-------------|---------------|
| Spotřeba energie pro (kWh)                      | vytápění      | 21 175      |               |
|                                                 | přípravu TV   | 5 183       |               |
|                                                 | ostatní účely | 2 000       | 2 800         |
| Spotřeba celkem                                 |               | 28 358      | 2 800         |
| Spotřeba hrazena                                |               | KAPPROP     | E-D 02        |
| Účinnost                                        |               | 12 (kWh/kg) |               |
| Spotřeba v MJ (kWh)                             |               | 2 363 (kg)  | 2 800 (kWh)   |
| Cena za MJ (Kč/(kWh))                           |               | 24 (Kč/kg)  | 3,46 (Kč/kWh) |
| Cena za odebrané množství energie               |               | 56 716 Kč   | 9 688 Kč      |

|                                                 |                    |
|-------------------------------------------------|--------------------|
| Energetický zdroj pro vytápění – kapalný propan |                    |
| Stálý měsíční plat (Kč)                         | 1 400 Kč           |
| Cena celkem včetně stálého měsíčního platu      | 67 804 Kč          |
| Procentní vyjádření spotřeby energie            | 413 %              |
| Úspora Kč použitím tepelného čerpadla           | (ztráta) 25 778 Kč |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| Tepelná ztráta domu:                    | 10 113 W   |
| Roční potřeba tepla na vytápění domu:   | 21 743 kWh |
| Roční potřeba tepla pro přípravu TV:    | 4 000 kWh  |
| Roční potřeba energie pro další účely:  | 4 800 kWh  |
| Jistič:                                 | do 3x 25 A |
| Náklady na instalaci kotelny na propan: | 160 000 Kč |

### **Ekonomické vyhodnocení navržené varianty**

Pořizovací náklady na realizaci:

realizace kotelny, včetně nádrží a přípojky plynu 160 000 Kč

**Celkem 160 000 Kč**

Výsledky ekonomického vyhodnocení:

Provozní náklady uvažované varianty 3 (propan) jsou vyšší než u varianty 1 (přímotopy) a u varianty 2 (tepelné čerpadlo). Proti předchozím variantám by nevznikly žádné úspory provozních nákladů.

### **Souhrn**

| Varianta   | Pořizovací náklady | Provozní náklady | Efektivnost<br>(úspora – ztráta) |
|------------|--------------------|------------------|----------------------------------|
| Varianta 1 | 100 000 Kč         | 42 026 Kč        | 100 %                            |
| Varianta 2 | 763 373 Kč         | 16 410 Kč        | 61 %                             |
| Varianta 3 | 160 000 Kč         | 67 804 Kč        | – 38 %                           |

## **4 x E o tepelné izolaci budov**

©Jaroslav Řehánek, Antonín Janouš, Petr Kučera,  
Vlastimil Kučera, Jaroslav Šafránek, Vladimír Václavík

Odborné posouzení: František Kulhánek

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2004 – část A.

Vydalo Informační centrum ČKAIT, s. r. o., Sokolská 15, Praha 2

1. vydání

Odpovědná redaktorka: Renata Karasová

Návrh obálky: Libuše Prudíková

Grafická úprava a sazba: Michal Špatz

Tisk a knihařské zpracování: PB tisk, s. r. o., Příbram

Stran: 252

Praha, 2004

**ISBN 80-86769-25-9**