

**Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu
na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie
pro rok 2014 – Program EFEKT**



ENERGETICKÉ HODNOCENÍ BUDOV

Autorský kolektiv:

- Ing. Petr Horák, Ph.D.
- Ing. Pavel Uher, Ph.D.
- Ing. Marian Formánek, Ph.D.
- Doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
- Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
- Ing. Jakub Vrána, Ph.D.
- Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.
- Ing. Hana Kuklínková

Předmluva

Odborná kniha Energetické hodnocení budov se vznikla pro potřeby energetických specialistů a výzkumných pracovníků z oblasti energetiky budov. Kniha je určena všem, kteří se zabývají problematikou energetického hodnocení stávajících a nově navrhovaných budov. Publikace shrnuje poznatky praktické a teoretické, z nichž některé jsou výsledkem samostatné vědecké práce autorů, a které doposud nebyly nikde publikovány.

Kniha vznikla za podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2014 – Program Efekt.

Kolektiv autorů

Recenzovali

Doc. Ing. Iveta Skotnicová, Ph.D.

Název publikace	Energetické hodnocení budov
Autoři	Ing. Petr Horák, Ph.D., Ing. Pavel Uher, Ph.D., Doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D., Ing. Jakub Vrána, Ph.D., Ing. Marian Formánek, Ph.D., Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D., Ing. Hana Kuklínková
Vydal	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Rok vydání	2015, elektronická forma
ISBN	978-80-214-5274-9

Obsah

Úvod	6
1 Ing. Petr Horák, Ph.D.: Úvod do problematiky, zákony a další právní předpisy	7
1.1 Úvod	7
1.2 Zákon o hospodaření energií 406/2000 Sb.	7
1.3 Vyhláška o energetické náročnosti budov 78/2013 Sb.	15
1.4 Vyhláška č. 230/2015 Sb. kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov	22
1.5 Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku 480/2012 Sb.	22
2 Ing. Olga Rubinová, Ph.D.: Hodnocení obálky budovy	29
2.1 Úvod	29
2.2 Hodnocení obálky budovy v PENB	32
3 Ing. Pavel Uher, Ph.D.: Vytápění v energetickém hodnocení budov	36
3.1 Úvod	36
3.2 Potřeba energie na vytápění – zjednodušený obecný postup pro měsíční metodu ...	37
3.3 Spotřeba energie na vytápění	42
3.3.1 Způsoby hodnocení zdrojů tepla podle stávajících předpisů	42
3.3.2 Účinnost výroby tepla v průkazu ENB	47
3.3.3 Účinnost rozvodů tepla (distribučního systému energie) pro vytápění v průkazu ENB	56
3.3.4 Účinnost sdílení tepla pro vytápění v průkazu ENB	58
3.4 Pomocná energie systému vytápění	60
3.5 Typické užívání budovy – parametry s vazbou na vytápění	60
3.6 Referenční budova v průkazu ENB a hodnoty ve vztahu k vytápění	61
3.7 Celková primární energie, neobnovitelná primární energie	62
3.8 Příklad stanovení dodané energie pro vybraný měsíc	66
4 Ing. Marian Formánek, Ph.D.: Chlazení a osvětlení	72
4.1 Chlazení – chladicí okruh	72
4.1.1 Jednostupňový okruh log p-h	72
4.1.2 Kondenzace chladiva, podchlazení chladiva log p-h	75
4.1.3 Vypařování chladiva, přehřátí chladiva log p-h	76
4.1.4 Kondenzace vypařování chladiva na reálném chladicím zařízení	77
4.1.5 Reálný jednostupňový chladicí oběh	80
4.1.6 Dvoustupňový chladicí oběh	82
4.1.7 Kaskádní chladicí oběh	87
4.1.8 Systémy sorpční	90
4.1.9 Systémy proudové	92
4.1.10 Chlazení v oblasti plynu	93
4.1.11 Peltierův jev	93
4.1.12 Magnetické chlazení	94

4.1.13	Chlazení vířivou (Raugeho) trubící.....	94
4.2	Osvětlení.....	95
4.2.1	Přehled základních norem pro osvětlovací techniku.....	95
4.2.2	Členění světlení.....	96
4.2.3	Výpočet osvětlení.....	97
4.2.4	Nouzové osvětlení (NO).....	99
5	Doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D.: Větrání a klimatizace.....	102
5.1	Obecné zásady.....	102
5.2	Příklad výpočtu ENB klimatizovaného prostoru.....	104
5.2.1	Energie na teplovzdušné vytápění a chlazení.....	104
5.2.2	Energie na dopravu vzduchu.....	112
5.2.3	Energie na vlhčení vzduchu.....	114
5.2.4	Další spotřeby.....	115
5.2.5	Celková bilance.....	115
5.2.6	Referenční budova.....	117
5.2.7	Budova s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB).....	118
5.3	Tipy na úsporná opatření při větrání a klimatizaci budov.....	121
6	Ing. Jakub Vrána, Ph.D.: Energetická náročnost přípravy teplé vody a využití šedé vody	123
6.1	Energetická náročnost přípravy teplé vody.....	123
6.1.1	Úvod.....	123
6.1.2	Příprava teplé vody.....	123
6.1.3	Potřeba teplé vody.....	128
6.1.4	Potřeba energie pro přípravu teplé vody.....	131
6.1.5	Stanovení potřeby energie pro přípravu teplé vody podle TNI 73 0331.....	134
6.1.6	Požadavky vyhlášky č. 78/2013 Sb. na přípravu teplé vody.....	137
6.1.7	Příklady úsporných opatření při přípravě teplé vody.....	138
6.2	Využití šedé vody.....	138
6.2.1	Úvod.....	138
6.2.2	Produkce a potřeba šedé vody.....	139
6.2.3	Oddělené odvádění šedé a černé vody.....	140
6.2.4	Oddílné vodovody pro pitnou a provozní vodu.....	140
6.2.5	Doplňování vodovodu provozní vody pitnou vodou.....	141
7	Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.: Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí – vady a poruchy.....	144
7.1	Úvod.....	144
7.2	Nedostatečná tepelná izolace jednovrstvé obvodové stěnové konstrukce.....	145
7.3	Přesah KZS přes nevytápěné podlaží.....	149
7.4	Ostění výplně otvoru v jednovrstvém zdivu.....	150

7.5	Nedostatečná tepelná izolace základů a podlahy.....	152
7.6	Přesah zateplovacího systému přes nevytápěné podlaží.....	154
7.7	Prostupující lodžiová železobetonová konstrukce.....	155
7.8	Kvalita okenní výplně.....	156
7.9	Dvojitá skleněná fasáda VUT v Brně – móda nebo efektivnost?.....	159
8	Ing. Hana Kuklínková: Praktické aspekty energetického hodnocení budov.....	162
8.1	Úvod.....	162
8.2	Základní požadavky vyhlášky č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.....	162
8.3	Vliv typu zdroje na hodnocení budovy.....	165
8.4	Hodnocení novostavby rodinného domu.....	166
8.4.1	RD 1 - přízemní novostavba, okna s izolačními dvojskly.....	167
8.4.2	RD 1 - přízemní novostavba, okna s izolačními trojskly.....	170
8.4.3	RD2 – dvoupodlažní novostavba, okna s izolačními dvojskly.....	172
8.4.4	RD2 – dvoupodlažní novostavba, okna s izolačními trojskly.....	176
8.4.5	Vliv tvaru budovy na spotřeby energií a hodnocení.....	178
8.5	Porovnání s hodnocením dle předchozí vyhlášky 148/2007 Sb.....	182
8.5.1	Rodinný dům přízemní s parametry dle tabulky 8.7.....	182
8.5.2	Rodinný dům patrový s parametry dle tabulky 8.14.....	184
9	English Abstract.....	185

Úvod

Tato publikace se ucelenou formou věnuje energetickému hodnocení stávajících a nově navrhovaných budov. Není možné obsah oboru energetické hodnocení budov zachytit v rámci jedné knihy, na to je daná problematika příliš obsáhlá. Autoři jsou si této skutečnosti vědomi a ani se o to nepokoušeli. Tvůrci knihy měli snahu věnovat se, dle svého přesvědčení, nejdůležitějším aspektům energetického hodnocení budov, tam kde cítili potřebu, že to vyžaduje praxe a soudobý stav poznání. Nutno říci, že v tomto oboru jsou dvě stránky pohledu na věc, jedna stránka je právní a druhá fyzikální. Někdy dochází v energetickém hodnocení ke kolizím mezi těmito pohledy a přístupy. Rovněž tohoto faktu jsou si autoři vědomi.

Energetické hodnocení budov je činností náročnou, protože vyžaduje multioborové znalosti z oblasti vytápění, vzduchotechniky, zdravotníky, elektroinstalace, stavební fyziky, ale také znalosti z ekonomie, ekologie a v neposlední řadě rovněž jisté právní povědomí. Publikace se zabývá každou z výše uvedených oblastí a to jak formou teoretickou, tak i praktickou v podobě řešených příkladů. Některé kapitoly byly zpracovány bez ilustrativních příkladů, z důvodů limitu rozsahu publikace. Autoři knihy vycházejí z vlastních praktických zkušeností z energetického hodnocení budov a také z hlubokých teoretických soudobých znalostí v tomto vědním oboru. Je možno konstatovat, že být odborníkem v tomto oboru vyžaduje dlouholeté úsilí, spoustu studia a samozřejmě mnoho zkušeností z praxe. Tato publikace chce být malým kamínkem do velké mozaiky znalostí odborníka na energetické hodnocení budov.

Petr Horák

1 Ing. Petr Horák, Ph.D.: Úvod do problematiky, zákony a další právní předpisy

1.1 Úvod

Vykonávání každé pracovní činnosti je podmíněno patřičným zákonům, které regulují a upravují podmínky provádění dané činnosti. Energetické hodnocení budov v České republice spadá v tomto smyslu pod zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Tento zákon se odkazuje na mnoho dalších zákonů, prováděcích vyhlášek ale i technických norem. Patřičné normy obvykle vycházejí z evropských norem, takže jsou platné v rámci Evropské unie.

Zákon o hospodaření s energiemi byl v průběhu let několikrát novelizován, stejně tak jako dotčené vyhlášky a normy, které se tomuto zákonu vztahují.

Tato kapitola knihy si klade za cíl seznámit čtenáře stručně s předpisy, které se týkají energetického hodnocení budov. Vzhledem k tomu, že rozsah těchto dokumentů je obrovský, bylo zapotřebí provést jistý kompromis. Kapitola je zaměřena jen na nejdůležitější aspekty zákonů a vyhlášek. Je kladen důraz na popis dopadů do praxe. Forma je provedená částečnou citací a následně uvedením komentářů. Kde to bylo nutné, byly uvedeny důležité souvislosti s navazujícími předpisy. V textu nejsou uvedeny kompletní zákony a vyhlášky, neboť by to přesahovalo rámec publikace. Pro úplné porozumění platným zákonům a vyhláškám nestačí pouze tato kapitola, ale je nutné mít k dispozici plné znění zákonů a vyhlášek.

1.2 Zákon o hospodaření energií 406/2000 Sb.

Významnou změnou zákona č. 406/2000 Sb. byl zákon 318/2012 Sb. Další změnou menšího rozsahu byl zákon 310/2013 Sb. Poslední novelou energetického zákona je zákon 103/2015 Sb. Výklad jednotlivých paragrafů je uváděn v souladu s poslední novelou, tedy zákonem 103/2015 Sb., jde tedy o konsolidované znění uváděných paragrafů.

Energetický zákon ve svém úvodu definuje základní pojmy prostřednictvím §2. Následně je zde část věnována státní energetické koncepci v §3 a územní energetické koncepci v §4. V §5 je výklad týkající se Národního programu hospodárného nakládání s energií a využívání jejích obnovitelných a druhotných zdrojů. Účinností užití energie zdrojů a rozvodů energie se věnuje §6. Dále zákon upravuje v §6a Kontroly provozovaných kotlů a rozvodů tepelné energie a klimatizačních systémů. Důležitou částí zákona je §7, který se zabývá snižování energetické náročnosti budov. O průkazech energetické náročnosti pojednává §7a, energetickým štítkům se věnuje §8. Energetický audit je náplní §9, energetický posudek je v §9a. Dále se §10 až §10d se věnují záležitostem energetických specialistů a osobám oprávněných provádět instalaci vybraných zařízení využívajících energií z obnovitelných zdrojů. V §10e až §10h se zákon zabývá energetickým službám a jejich poskytováním.

Energetický zákon je rozsáhlý a není v možnostech publikace provést celý jeho komentovaný výklad, ostatně to ani není záměrem autora. V následující části kapitoly jsou vybrány jen určité části zákona, které jsou často frekventované v odborné praxi energetických specialistů.

Článek I

Definici „energetické náročnosti budovy“ uvádí zákon takto:

Čl. I §2 odst.1 písmeno f)

Energetickou náročností budovy vypočtené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s užíváním budovy, zejména na vytápění, chlazení, větrání, úpravou vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení.

Definici průkazu energetické náročnosti budov (PENB) stanovuje zákon takto:

Čl. I §2 odst.1 písmeno m)

Průkazem energetické náročnosti dokument, který obsahuje stanovené informace o energetické náročnosti budovy nebo ucelené části.

Definici energetického auditu (EA) stanovuje zákon takto:

Čl. I §2 odst.1 písmeno n)

Energetickým auditem písemná zpráva obsahující informace o stávající nebo předpokládané úrovni využívání energie v budovách, v energetickém hospodářství, v průmyslovém postupu a energetických službách s popisem a stanovením technicky, ekologicky a ekonomicky efektivních návrhů na zvýšení úspor energie nebo zvýšení energetické účinnosti včetně doporučení k realizaci

Tato novela energetického zákona nově definuje tzv. energetický posudek (EP):

Čl. I §2 odst.1 písmeno o)

Energetickým posudkem písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení.

Zatím co energetický audit a průkaz energetické náročnosti budovy jsou známé dokumenty, tak energetický posudek je v zákoně novou záležitostí. Neoficiálně však energetický posudek existoval již dříve, neměl však legislativní rámec. S různou formou energetického posudku bylo možné se setkat např. u vyhodnocování úspor v rámci dotačních titulů. Dále byly energetické posudky prováděny na přání investora, tam kde forma auditu nebo PENB nebyla dostačující. Takže dalo by se říct, že zákon jen vymezil to, co již existovalo, nově však nadefinoval povinnosti, kdy je nutné energetický posudek vypracovat. Zákon dále přesně definuje pomocí prováděcí vyhlášky č. 480/2012 Sb. obsah energetického posudku.

Zákon definuje některé další pojmy, které jsou nezbytné pro zpracování výpočtů energetické náročnosti.

Čl. I §2 odst.1 písmeno r)

Celkovou energeticky vztažnou plochou vnější půdorysná plocha všech prostorů s upravovaným vnitřním prostředím v celé budově, vymezená vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy.

Při bližším prozkoumání termínu „upravované vnitřní prostředí“ musíme dojít k názoru, že tato definice je velmi vágní. Zákon dále nerozvádí, co spadá pod tuto definici a to je myslím zásadní nedostatek, protože se tak naskýtá různý výklad tohoto ustanovení. V odborné veřejnosti panuje nejasný názor. Je upravované vnitřní prostředí prostor, kde se nevytápí, ale třeba svítí? Nebo musí se v takovém to prostoru vždy vytápět nebo chladit? V případě, že budeme předpokládat, že pouze umělým osvětlením není dosaženo upravovaného prostředí, pak jednoznačně můžeme vyloučit z energeticky vztažné plochy např. sklepy, pokud nejsou opatřeny otopnou soustavou.

Čl. I §2 odst.1 písmeno s)

Celkovou větší změnou dokončené budovy změna dokončené budovy na více než 25 % celkové plochy obálky budovy.

Za připomenutí stojí skutečnost, že do celkové plochy obálky budovy započítáváme plochu stěn a výplní otvorů do venkovního prostředí, ale také podlahy do venkovního prostředí nebo zeminy (viz definice Čl. I §2 odst.1 písmeno t)) a střechy. Pokud provedu zateplení například na jedné fasádě objektu (v závislosti na tvaru objektu) nemusím dosáhnout změny na 25 % celkové plochy obálky budovy, a nejsem tedy povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy ve smyslu Čl. I §7 odst. 2 zákona 318/2012 Sb.

Čl. I §2 odst.1 písmeno t)

Obálku budovy soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu.

Tato definice obálky budovy je vcelku přesná. K rozporům může docházet u konstrukcí, které oddělují sousední vytápěnou budovu. Pokud spolu sousedí budovy s rozdílnou návrhovou teplotou, je třeba dělicí konstrukci započítat do obálky budovy. Příklad může být například skladiště, které sousedí s bytovým domem. Pokud sousedí bytový dům s bytovým domem, uvažujeme, že v obou objektech je stejná výpočtová teplota, a pak tedy dělicí konstrukci mezi objekty neuvažujeme do obálky budovy ve smyslu odstavce t).

§ 6 Kontrola provozovaných kotlů a rozvodů tepelné energie a klimatizačních systémů

(1)U provozovaných kotlů se jmenovitým výkonem nad 20 kW a příslušných rozvodů tepelné energie je jejich vlastník, nebo společenství vlastníků jednotek povinen

- a) zajistit pravidelnou kontrolu těchto kotlů a příslušných rozvodů tepelné energie, jejímž výsledkem je písemná zpráva o kontrole provozovaných kotlů a příslušných rozvodů tepelné energie,*
- b) předložit na vyžádání zprávy o kontrole provozovaných kotlů a příslušných rozvodů tepelné energie ministerstvu nebo Státní energetické inspekci,*
- c) oznámit ministerstvu provedení kontroly osobou podle odstavce 3 písm. d) a předložit ministerstvu kopii oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Unie.*

(2)U provozovaných klimatizačních systémů se jmenovitým chladícím výkonem vyšším než 12 kW je jeho vlastník nebo společenství vlastníků jednotek povinen

- a) zajistit pravidelnou kontrolu tohoto klimatizačního systému, jejímž výsledkem je písemná zpráva o kontrole klimatizačního systému,*
- b) předložit na vyžádání zprávy o kontrole klimatizačního systému ministerstvu nebo Státní energetické inspekci,*
- c) oznámit ministerstvu provedení kontroly osobou podle odstavce 3 písm. d) a předložit ministerstvu kopii oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Unie.*

Kontrolu kotlů a rozvodů tepelné energie upravuje vyhláška č. 194/2013 Sb. Vyhláška č. 193/2013 Sb. upravuje náležitosti ohledně kontroly klimatizačních systémů. Zde je možné najít podrobnosti o způsobu provádění kontrol a o četnosti jednotlivých kontrol.

(4) Povinnost podle odstavců 1 a 2 se nevztahuje na kotle a vnitřní rozvody tepelné energie a klimatizační systémy umístěné v rodinných domech, bytech a stavbách pro rodinnou rekreaci s výjimkou případů, kdy jsou provozovány výhradně pro podnikatelskou činnost. Na kotle a vnitřní rozvody tepelné energie a klimatizační systémy umístěné v rodinných domech, bytech a stavbách pro rodinnou rekreaci se poskytuje poradenství podle § 5 odst. 4 písm. g).

Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie a kontrola klimatizačních systémů se nevztahuje plošně na všechny typy objektu. Zákon prostřednictvím odstavce (4) uděluje výjimku rodinným domům, bytům a objektům pro rodinnou rekreaci.

§ 7 Snižování energetické náročnosti budov

Výstavba nových budov a větší změna dokončené budovy jsou podmíněny dodržení patřičné energetické náročnosti. Od jistého data budou nové budovy muset být stavěny ve standardu „s téměř nulovou spotřebou energie“. Platí, že nové budovy orgánu veřejné moci musí být ve standardu „s téměř nulovou spotřebou energie“ dříve než ostatní budovy. V tomto případě jde stát příkladem ostatním v oblasti úspor energie v budovách.

Čl. I §7 odst. 1

V případě výstavby nové budovy je stavebník povinen plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a při podání žádosti o stavební povolení, žádosti o změnu stavby před jejím dokončením s dopadem na její energetickou náročnost nebo ohlášení stavby to doložit průkazem energetické náročnosti budov, který obsahuje hodnocení

- d) splnění požadavků na energetickou náročnost budovy na nákladově optimální úrovni od 1. ledna 2013,*
- e) splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě budovy, jejímž vlastníkem a uživatelem bude orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci (dále jen „orgán veřejné moci“) a jejíž celková energeticky vztažná plocha bude
 - 1. větší než 1500 m², a to od 1. ledna 2016,*
 - 2. větší než 350 m², a to od 1. ledna 2017,*
 - 3. menší než 350 m², a to od 1. ledna 2018,**
- f) splnění požadavků na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie, a to v případě budovy, s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 1500 m² od 1. ledna 2018, v případě budovy, s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 350 m² od 1. ledna 2019, a v případě budovy, s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 350 m² od 1. ledna 2020,*
- g) posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti místního systému dodávky energie využívajícího energii z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepelného čerpadla (dále jen „alternativní systém dodávek energie“).*

Kromě splnění energetické náročnosti budovy je zapotřebí také prostřednictvím PENB posoudit možnost proveditelnosti místního systému dodávky energie. Toto posouzení je součástí protokolu PENB, ale může mít také formu energetického posudku ve zvláštních případech, o kterých hovoří zákon v §9a.

- (2) *V případě větší změny dokončené budovy jsou stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek povinni plnit požadavky na energetickou náročnost budovy podle prováděcího právního předpisu a stavebník je povinen při podání žádosti o stavební povolení, žádosti o změnu stavby před jejím dokončením s dopadem na její energetickou náročnost nebo ohlášení stavby, anebo vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek jsou povinni před zahájením větší změny dokončené budovy, v případě, kdy tato změna nepodléhá stavebnímu povolení či ohlášení, doložit průkazem energetické náročnosti budovy*
- a) *splnění požadavků na energetickou náročnost budovy na nákladově optimální úrovni pro budovu nebo pro měněné stavební prvky obálky budovy a měněné technické systémy podle prováděcího právního předpisu,*
 - b) *posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie podle prováděcího právního předpisu,*
 - c) *stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy podle prováděcího předpisu.*

Objekty, které prodělají větší změny, jsou rovněž povinny dodržet požadavky na energetickou náročnost. To to splnění je možné ze dvou stran. Buďto vyhoví celá budova na požadovanou náročnost, nebo musí splnit požadavky jen měněné konstrukce, a nebo měněné systémy TZB. I zde platí pak povinnost posoudit možnost proveditelnosti místního systému dodávky energie. Daný PENB se v těchto případech větší změny objektu vypracovává na stav daný po plánované rekonstrukci, to znamená s opatřeními uvažovanými v projektu rekonstrukce. Kromě toho má však specialista za povinnost navrhnout svá vlastní úsporná opatření a ty v PENB uvést. Na tuto povinnost je třeba vždy myslet.

Ne vždy je nutné u všech objektů dodržet požadavky na energetickou náročnost. Na tyto výjimky poukazuje §7 odstavec 5. Jedná se převážně o malé objekty, náboženské stavby, budovy památkově chráněné a budovy pro rekreaci.

Čl. I §7 odst. 5

Požadavky na energetickou náročnost budovy podle odstavce 1 až 3 nemusí být splněny

- a) *u budov s celkovou energeticky vztažnou plochou menší než 50 m²,*
- b) *u budov, které jsou kulturní památkou, anebo nejsou kulturní památkou, ale nacházejí v památkové rezervaci nebo památkové zóně, pokud by s ohledem na zájmy státní památkové péče splnění některých požadavků na energetickou náročnost těchto budov výrazně změnilo jejich charakter nebo vzhled; tuto skutečnost stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek doloží závazným stanoviskem orgánu státní památkové péče,*
- c) *u budov navrhovaných a obvykle užívaných jako místa bohoslužeb a pro náboženské účely,*
- d) *u staveb pro rodinou rekreaci, které jsou využívány jen část roku a jejichž odhadovaná spotřeba energie je nižší než 25% spotřeby energie, k níž by došlo při celoročním užívání*

Zatímco zákon 318/2012 sb. budovám pro rodinou rekreaci umožňoval neplnit požadavky na energetickou náročnost, tak novela energetického zákona 103/2015 sb. již zavádí jisté limity, kdy tyto objektu musí splnit požadavky na energetickou náročnost.

- e) *U průmyslových a výrobních provozů, dílenských provozoven a zemědělských budov se spotřebou energie do 700 GJ za rok,*

- f) Při větší změně dokončené budovy v případě, že stavebník budovy nebo společenství vlastníků jednotek prokáže energetickým auditem, že to není technicky nebo ekonomicky vhodné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely.

V praxi mohou nastat případy, kdy splnění energetické náročnosti je neúčelné. Může to být například v případě opravy budovy, která má naplánovanou jen omezenou životnost a bylo by neekonomické takovou budovu významně zateplovat nebo provádět velké zásahy do systému TZB.

§ 7a Průkaz energetické náročnosti

Čl. I §7a

(1) Stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek je povinen

- a) Opatřit si průkaz energetické náročnosti (dále jen „průkaz“) při výstavbě nových budov nebo při větších změnách dokončených budov.
- b) Opatřit si průkaz u budovy užívané orgánem veřejné moci od 1. července 2013 s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 500 m² a od července 2015 s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 250 m².

Povinnost nechat zpracovat PENB se týká všech nových budov a jejich významných změn, až na výjimky uvedené zákonem. Tato povinnost platí i pro stávající budovy užívaných orgánem veřejné moci. Povinnost vypracovat PENB platí také při prodeji a pronájmu nemovitostí.

(2) Vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek jsou povinni

- a) Zajistit zpracování průkazu
 1. při prodeji budovy nebo ucelené části budovy,
 2. při pronájmu budovy,
 3. od 1. ledna 2016 při pronájmu ucelené části budovy.

(4) Průkaz platí 10 let ode dne jeho vyhotovení nebo do provedení větší změny dokončené budovy, pro kterou byl zpracován, anebo do provedení změny způsobu vytápění, chlazení nebo přípravy teplé vody v této budově, a musí

PENB má omezenou platnost časově, nebo do doby větší změny objektu, nebo do změny některých systémů TZB. Například pokud dojde k novému způsobu vytápění, například k přechodu z elektrického vytápění na vytápění pomocí tepelného čerpadla, je majitel objektu povinen nechat vypracovat PENB.

- a) být zpracován pouze
 1. příslušným energetickým specialistou podle §10 odst. 1 písm. b), nebo
 2. osobou usazenou v jiném členském státě Unie, pokud je oprávněna k výkonu uvedené činnosti podle právních předpisů jiného členského státu Unie; ministerstvo je uznávacím orgánem podle zvláštního právního předpisu (zákon č. 18/2004Sb.)

Vypracování PENB je povoleno pouze energetickým specialistům, kteří splní zákonné požadavky a vykonají zkoušku před komisí na ministerstvu MPO. Kromě toho mohou PENB vypracovávat i energetičtí specialisté z členských zemí EU.

(8) Průkaz zpracovaný pro budovu je také průkazem pro ucelenou část této budovy včetně jednotky.

Odstavec osm říká, že pokud budete mít zpracovaný například průkaz pro celý bytový dům, tak tento průkaz je zároveň platný pro každý jednotlivý byt daného domu. Není tedy nutné zpracovávat průkazy po bytech, ale stačí jeden průkaz pro celý dům a ten je možné používat pro byty při prodeji nebo pronájmu. Z pohledu fyzikálního tento přístup není úplně správný. Je vcelku zásadní rozdíl ve spotřebě energie mezi byty uprostřed dispozice a byty například na kraji budovy pod střechou. Je však běžnou praxí, že se vypracovává PENB pro celý objekt, nežli pro jednotlivé funkční jednotky (byty).

(9) Průkaz se neopatřuje při prodeji nebo pronájmu budovy nebo ucelené části budovy, pokud se tak obě strany písemně dohodnou a jde o budovu, která byla vystavěna a poslední větší změna dokončené budovy na ní byla provedena před 1. lednem 1947.

Zákon připouští jistou možnost nedokládat průkaz při prodeji nebo pronájmu budovy nebo její části. V praxi tato možnost však není příliš častá. Na bytovém trhu není příliš budov, na kterých neproběhla větší změna od roku 1947. Převážně se bude jednat o historické objekty pro rekreační účely.

§ 9 Energetický audit

Čl. I §9

(1) Stavebník, společenství vlastníků jednotek nebo vlastník budovy nebo energetického hospodářství, na které se nevztahuje povinnost podle odstavce 2, jsou povinni zpracovat pro budovu nebo energetické hospodářství energetický audit v případě že

a) tato budova nebo toto energetické hospodářství má spotřebu vyšší, než je hodnota spotřeby energie stanovená prováděcím právním předpisem a pokud všechny jeho budovy a energetická hospodářství mají celkovou průměrnou roční spotřebu energie za poslední dva kalendářní roky vyšší, než je hodnota spotřeby energie stanovená prováděcím právním předpisem,

Prováděcím předpisem se rozumí vyhláška č. 480/2012 Sb. kde jsou uvedeny hraniční hodnoty pro povinnost vypracovat energetický audit.

b) o větší změny dokončené budovy nejsou splněny požadavky na energetickou náročnost budovy podle §7 odst. 5 písm. f).

Odstavec 5 v písmenu f) v §7 hovoří o tom, že požadavky na energetickou náročnost budovy nemusí být splněny u větší změny budovy, pokud se prokáže energetickým auditem, že to není technicky nebo ekonomicky vhodné s ohledem na životnost budovy a její provozní účely. Typickým příkladem může být větší změna budovy, která bude mít limitovanou životnost, do doby demolice. Pak ztrácí smysl plnit u tohoto objektu požadavky na energetickou náročnost budovy. Je však nutné doložit energetický audit, ze kterého to vyplyne po stránce technické či ekonomické.

(2) Podnikatel, který není malým nebo středním podnikatelem, je povinen zpracovat pro jím užívané nebo vlastněné energetické hospodářství energetický audit a dále jej pravidelně zpracovávat nejméně jednou za 4 roky. Povinnost zpracovávat audit nemá ten podnikatel, který má zaveden a akreditovanou osobou certifikován systém hospodaření s energií podle české harmonizované normy upravující systém managementu hospodaření s energií (ČSN EN ISO 50 001 - Systém managementu hospodaření s energií) nebo má zaveden a akreditovanou osobou certifikován systém environmentálního řízení podle české harmonizované normy upravující systémy

environmentálního managementu (ČSN EN ISO 14 001 – Systémy environmentálního managementu), který zahrnuje energetický audit.

Povinnost zpracovat audit pro velké podnikatele, mimo výše uvedené výjimky, zavedla novela č. 103/2015 Sb. a platí tedy od 1. července 2015.

§ 9a Energetický posudek

Čl. I §9a

(1) Stavebník, společenství vlastníků jednotek nebo vlastníků budovy nebo energetického hospodářství zajistí energetický posudek pro

a) posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie při výstavbě nových budov nebo při větší změně dokončené budovy se zdrojem energie s instalovaným tepelným výkonem vyšším než 200 kW, pokud se nejedná o alternativní systém dodávek energie nebo při přechodu z alternativního systému dodávek energie na jiný než alternativní systém dodávek energie,

Důležitá je formulace „tepelný výkon“ v původním znění zákona (č. 318/2012 Sb.) nebylo uvedeno slovo „tepelný“ a tak energetičtí specialisté započítávali do bilance zdrojů energie i zdroje energie na chlazení a osvětlení.

b) posouzení nákladů a přínosů zajištění vysokoučinné kombinované výroby elektřiny a tepla v případě výstavby nové výrobní elektřiny nebo podstatné rekonstrukce stávající výrobní elektřiny o celkovém tepelném příkonu nad 20 MW s výjimkou výroben elektřiny s dobou provozu nižší než 1500 hodin za rok a jaderných elektráren,

c) Posouzení nákladů a přínosů využití odpadního tepla pro uspokojení ekonomicky odůvodněné poptávky po teple včetně kombinované výroby elektřiny a tepla a připojení zařízení minimálně na soustavu zásobování tepelnou energií, která se nachází do vzdálenosti 1000 metrů od zdroje tepelné energie, v případě výstavby nového nebo podstatné rekonstrukce stávajícího průmyslového provozu o celkovém tepelném příkonu nad 20 MW, které produkuje odpadní teplo o využitelné teplotě,

d) posouzení nákladů a přínosů využití odběru odpadního tepla minimálně z průmyslových provozů, které se nachází do vzdálenosti 500 metrů od rozvodného tepelného zařízení, v případě výstavby nové nebo podstatné rekonstrukce stávající soustavy zásobování tepelnou energií se zdroji o celkovém tepelném příkonu nad 20 MW.

e) posouzení proveditelnosti projektů týkajících se snižování energetické náročnosti budov, zvyšování účinnosti užití energie, snižování emisí ze spalovacích zdrojů znečištění nebo využití obnovitelných nebo druhotných zdrojů nebo kombinované výroby elektřiny a tepla financovaných z programů podpory ze státních, evropských finančních prostředků nebo finančních prostředků pocházejících z prodeje povolenek na emise skleníkových plynů, pokud poskytovatel podpory nestanoví s přihlédnutím k nárokům jednotlivého programu podpory jinak,

f) vyhodnocení plnění parametrů projektů realizovaných v rámci programu podle písmene e).

Co se týče bodu e) a f), tak tyto odstavce stanovují využití energetického posudku v případě různých dotačních titulů. V minulosti bylo běžné místo energetického posudku

používat energetický audit spolu s projektovou dokumentací stavební části rekonstruované budovy. S tímto bylo možné se setkat například u dotačních titulů v rámci OPŽP apod. Postupně by energetické audity měli nahrazovat energetické posudky. Tyto posudky stanovují hodnotu energetické úspory a další kritéria, např. ekonomické ekologické a technickou proveditelnost. Jsou prováděny před rekonstrukcí objektu dle bodu e) a následně proběhne vyhodnocení úspor po uplynutí stanovené doby v souladu s písmenem f) §9a.

Energetický posudek bylo a stále je možné využít i v dotačním titulu Zelená úsporám. Od roku 2015 bylo možné energetický posudek nahradit průkazem energetické náročnosti budovy.

§ 10 Energetický specialista

(1) Energetickým specialistou je fyzická osoba, která je držitelem oprávnění uděleného ministerstvem k

- a) zpracování energetického auditu a energetického posudku,*
- b) zpracování průkazu,*
- c) provádět kontroly provozovaných kotlů a rozvodů tepelné energie, nebo*
- d) provádění kontroly klimatizačních systémů.*

(2) Podmínky pro udělení oprávnění podle odstavce 1 jsou

- a) složení odborné zkoušky, které se prokazuje protokolem o výsledku zkoušky podle §10a,*
- b) plná svéprávnost,*
- c) bezúhonnost, která se prokazuje podle odstavce 3,*
- d) odborná způsobilost, která se prokazuje podle odstavce 4.*

Další povinnosti týkající se výkonu činnosti energetického specialisty jsou podrobně rozepsány v § 10.

1.3 Vyhláška o energetické náročnosti budov 78/2013 Sb.

Tato vyhláška definuje náležitosti týkající se způsobu výpočtu energetické náročnosti budov. Ve vyhlášce jsou stanoveny požadavky na energetickou náročnost pro nové budovy, větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Dále vyhláška definuje způsob posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie. Vyhláška stanoví vzor doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. Na závěr vyhláška stanovuje vzor a obsah průkazu (PENB) a způsob jeho zpracování a popřípadě umístění v budově pokud existuje takováto povinnost.

Vyhláška definuje důležité pojmy potřebné pro výpočet a další práci s vyhláškou samou, např. tzv. „referenční budovu.“

§2 Základní pojmy

Pro účely vyhlášky se rozumí

- a) *referenční budovou výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.*

V předchozí platné vyhlášce č. 148/2007 Sb. byla energetická náročnost posuzované budovy vyhodnocována dle předem definovaných tříd energetické náročnosti. To znamená, že pro dané typy objektů byly určeny hodnoty spotřeby energie na m² a rok pro jednotlivé třídy náročnosti ve škále A až G. Toto hodnocení bez ohledu na posuzovanou budovu vedlo v praxi k problémům se zařazením. Zavedením referenční budovy ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. bylo dosaženo přesnějšího posuzování a klasifikování do energetických tříd. Posuzovaný objekt je porovnáván s referenční budovou, která má definované užívání a parametry stavební části a části TZB dle stávajících zákonných předpisů. Ve výpočtu dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. je porovnávána dodaná energie mezi referenční a hodnocenou budovou a na základě tohoto porovnání je stanovena třída energetické náročnosti. To znamená, že není pevně daná hranice dodané energie pro jednotlivé kategorie A až G, ale vychází se z porovnání s referenční budovou.

- b) *typickým užíváním budovy obvyklý způsob užívání budovy v souladu s podmínkami vnitřního a venkovního prostředí a provozu stanovený pro účely výpočtu energetické náročnosti budovy.*

Byť se vyhláška zmiňuje o typickém užívání budov, není v ní v podstatě uvedena žádná informace, která by se této problematiky dotýkala. V praxi, kdy je obvykle energetická náročnost počítána s pomocí specializovaného software, jsme v tomto případě odkázání na tvůrce software. Obvykle dostupné software na českém trhu definují typické užívání budov dle TNI 730331 Energetická náročnost budov - typické hodnoty pro výpočet. Tato technická normalizační informace je dostupná od roku 2013 a kromě typického užívání budov pro výpočet definuje i typické parametry technických systémů.

- h) *vypočtenou spotřebou energie energie, která se stanoví z potřeby energie pro zajištění typického užívání budovy se zahrnutím účinností technických systémů, v případě spotřeby paliv je spotřeba energie vztažena k výhřevnosti paliva.*
- i) *pomocnou energií energie potřebná pro provoz technických systémů.*
- j) *primární energií energie, která neprošla žádným procesem přeměny; celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie.*
- k) *faktorem primární energie koeficient, kterým se násobí dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství celkové primární energie.*
- l) *Faktorem neobnovitelné primární energie koeficient, kterým se násobí dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství neobnovitelné primární energie.*

Zatímco dle předchozích vyhlášek byla hlavním sledovaným parametrem při výpočtu energetické náročnosti budovy prostá spotřeba energie, nyní je jedním z hodnocených hledisek i tzv. primární energie. Primární energie se dělí na obnovitelnou a neobnovitelnou a její hodnotu získáme vynásobením dodané energie do objektu s koeficienty dle přílohy 3 vyhlášky č. 78/2013 Sb. V podstatě je primární energie celkovou energií, kterou musíme vynaložit na výrobu celkové dodané energie, kterou odebíráme z distribučních sítí popř. jinak.

V této primární energii je započítána účinnost výroby dodané energie. Tato účinnost výroby je u každého energonositele jiná a proto má každý energonositel jiný koeficient primární energie. Nejhorší koeficient primární energie má elektrina (faktor celkové primární energie = 3,2). Takto vysoká hodnota znamená, že objekty, které mají spotřebiče a vytápění pouze na elektřinu, mají problém splnit požadavky vyhlášky na spotřebu primární energie. Obvykle je nutné u takovýchto objektů krýt část potřeby tepla na vytápění částečně zdroji na dřevo, např. ve formě krbu. Nebo je nutné využít fotovoltaických panelů, kdy je možné uvažovat faktor primární energie se zápornou hodnotou v souladu s přílohou 3 vyhlášky č. 78/2013 Sb.

§3 Ukazatele energetické náročnosti budovy a jejich stanovení

(1) Ukazatele energetické náročnosti budovy jsou

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

Ukazatelů energetické náročnosti budovy je relativně velké množství. V §6 je přesně specifikováno, kdy který požadavek je nutné splnit v případě nové budovy a při změně budovy, při prokazování splnění energetické náročnosti budovy.

(2) Hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy a referenční budovy se stanovují výpočtem na základě dokumentace. V případě dokončených budov musí být vstupní údaje pro výpočet v souladu se současným stavem budovy.

V případě výpočtů u projektovaných budov je vhodné posečkat s vlastním výpočtem až do doby, kdy bude projekt kompletně vypracován. V případě, že výpočet vzniká v době projektování budovy, je reálné riziko omylů, z důvodů změn v projektu. Je třeba dbát, aby stavební konstrukce a systémy TZB uvedené ve výpočty odpovídaly finální verzi projektové dokumentace. Pokud jsou výpočty prováděny na již stávající budovu, je zapotřebí mít k dispozici projektovou dokumentaci současného stavu objektu. Často se v praxi stává, např. při výpočtu PENB starších objektů, že není k dispozici výkresová dokumentace. V tomto případě je nutné stávající objekt zaměřit a vypracovat alespoň takové výkresy, z kterých je možné realizovat výpočet.

(3) Pro výpočet hodnot ukazatelů energetické náročnosti referenční budovy se použijí hodnoty parametrů budovy, stavebních prvků a konstrukcí a technických systémů budovy uvedené v příloze č. 1 k této vyhlášce a parametry typického užívání budovy.

Příloha 1 vyhlášky uvádí parametry, které jsou nezbytné pro výpočet referenční budovy. V rámci výpočtu energetické náročnosti budovy se posuzuje daná budova s tzv. referenční budovou, a tím dojde k zařazení budovy do příslušné kategorie. Proto je důležité referenční budovu správně zadat. V praxi se pro energetické výpočty používají specializované software, které vytvářejí referenční budovu již automaticky při zadávání posuzované budovy. Co se týče typického užívání budovy, je vhodné použít TNI 73 0331 Energetická náročnost budov-

Typické hodnoty pro výpočet. V této obsáhlé normě je možné najít hodnoty pro typické užívání pro různé druhy budov pro všechny systémy TZB.

(7) Výpočet účinnosti technických systémů vytápění, chlazení, větrání, úpravy vlhkosti vzduchu, přípravy teplé vody a osvětlení se provede podle příslušných českých technických norem.

Bohužel v současné době je soubor příslušných technických norem, kterých se to týká velmi obsáhlý. Dalo by se říct, že ruční výpočet energetické bilance za pomoci platných technických norem je téměř nemožný. Respektive, je možný, ale s velkým rizikem chyb, díky rozsáhlé a složité metodice výpočtu a velkému počtu dotčených norem. Osobně doufám, že do budoucna dojde k revizi metodiky výpočtu a jistému zjednodušení na uchopitelnou úroveň.

§4 Výpočet dodané energie

Dodaná energie je součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie. Výpočet celkové dodané energie a dílčích dodaných energií se provede výpočtovou metodou s intervalem výpočtu.

Důležitým z hodnocených parametrů energetické náročnosti budovy je tzv. „dodaná energie.“ Je to v součtu za jednotlivé systémy dodaná energie do objektu, která je nutná pro typické užívání objektu. „Dodaná energie“ zahrnuje potřebu energie, která je korigovaná účinností zahrnující výrobu a distribuci v objektu na „spotřebu energie“, rovněž je přičtena „pomocná energie.“

Vyhláška uvažuje také s tzv. „primární energií,“ což je původní energie, která neprošla žádným procesem přeměny a vstupuje do energetické bilance objektu. Primární energie se rozlišuje na primární energii obnovitelnou a neobnovitelnou. Primární energie je rovněž jedním z hodnocených parametrů energetické náročnosti budovy.

§6 Požadavky na energetickou náročnost budovy stanovené na nákladově optimální úrovni

(1) Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v § 3 odst. 1 písm. b), c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu.

Co se týče nových budov a budov s téměř nulovou spotřebou energie, tak zde je třeba splnit kritéria „neobnovitelné primární energie“, „celkové dodané energie za rok“ a „průměrný součinitel prostupu tepla“. Uvedené parametry musí být pro hodnocenou budovu lepší než pro referenční budovu.

(2) Požadavky na energetickou náročnost při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud

a) celková primární energie za rok, hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedených v § 3 odst. 1 písm. b) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu, nebo

- b) *hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedených v § 3 odst. 1 písm. c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu, nebo*
- c) *hodnota ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pro všechny měněné stavební prvky obálky budovy uvedeného v § 3 odst. 1 písm. f) není vyšší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti uvedená v tabulce č. 2 přílohy č. 1 k této vyhlášce a současně hodnota ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pro všechny měněné technické systémy uvedeného v § 3 odst. 1 písm. g) není nižší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti uvedená v tabulce č. 3 přílohy č. 1 k této vyhlášce.*

Odstavec dva se týká změn budov, a to jak větší změn budov, tak i ostatních změn budov. I malé změny budov musí být zpracovány v souladu s požadavky na energetickou náročnost budov. To znamená např. v případě zateplení, že se zatepluje na doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla (viz tab. 2, přílohy 1). V případě změn systému TZB je třeba vycházet z tabulky 3 přílohy 1 vyhlášky. Platí, že u malých změn budov není nutné vypracovat PENB, viz §7 vyhláška č. 318/2012 Sb. U větší změny objektu už je nutné PENB vypracovat. Obecně při změně budovy je nutné splnit alespoň jeden odstavec z a) až c) výše uvedeného §6, odst. (2) vyhlášky č. 78/2013 Sb. U malých změn budov to obvykle bývá odstavec c), protože malé změny nejsou schopny významně ovlivnit průměrný součinitel prostupu tepla a celkovou dodanou energii.

- (3)*Přístavba a nástavba navyšující původní energeticky vztažnou plochu o více než 25 % se považuje při stanovení referenčních hodnot ukazatelů energetické náročnosti budovy za novou budovu.*

V případě přístavby nebo nástavby, která zvyšuje energeticky vztažnou plochu o více než 25 %, se musí počítat s daným objektem, jako by to byla novostavba. Toto ustanovení způsobuje v praxi problémy, protože dle §6 odst. (1) jsou podmínky na novostavby přísnější než na změnu budovy. Obvykle je nutné ještě zateplit stávající část budovy, aby byl splněn požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla a další parametry, např. celková dodaná energie za rok. Zvětšování stávajícího objektu tedy vede k tomu, že je nutné zlepšit vlastnosti i stávající části. Této skutečnosti by si měli být investoři vědomi, což jak se ukazuje, obvykle nejsou. Energetický specialista by o dopadech odstavce (3) měl informovat jak projektanta, tak i investora na začátku projekčních prací.

§7 Posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie

- (1)*Alternativní systém dodávek energie je*
 - a) *místní systém dodávky energie využívající energii z obnovitelných zdrojů,*
 - b) *kombinovaná výroby elektřiny a tepla,*
 - c) *soustava zásobování tepelnou energií,*
 - d) *tepelné čerpadlo.*

Při výpočtu PENB je nutné posoudit proveditelnost alternativních systémů dodávek energie. Kdy toto posouzení musí být, a kdy nemusí, upravuje §9 vyhlášky č. 78/2013 Sb. rozeznáváme čtyři druhy alternativních systémů a ke každému z nich se vyjadřujeme v PENB. Proveditelnost se posuzuje z hlediska několika pohledů.

- (2) *Technickou proveditelností se rozumí technická možnost instalace nebo připojení alternativního systému dodávky energie.*
- (3) *Ekonomickou proveditelností se rozumí dosažení prosté doby návratnosti investice do alternativního systému dodávek energie kratší než doba jeho životnosti (ČSN EN 15 459 – Energetická náročnost budov – Postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách). V případě alternativního systému dodávek energie podle odstavce 1 písm. c) se ekonomickou proveditelností uvedeného alternativního systému rozumí dosažení prosté doby návratnosti investice do nového jiného než alternativního systému dodávek energie, který je nebo má být v budově využíván, delší, než je doba životnosti tohoto nového jiného než alternativního systému dodávek energie.*
- (4) *Ekologickou proveditelností se rozumí instalace nebo připojení alternativního systému dodávky energie bez zvýšení množství neobnovitelné primární energie oproti stávajícímu nebo navrhovanému stavu.*
- (5) *Posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie je součástí protokolu průkazu, jehož vzor je uveden v příloze č. 4 k této vyhlášce.*

Z odstavců (2) až (5) je patrné že jde o tři kritéria, z kterých se vychází při posouzení možnosti proveditelnosti alternativních systémů energie. Analýza proveditelnosti je v PENB realizována pomocí tabulky uvedené v příloze č. 4 vyhlášky. Jde o jednoduchou tabulku, která je v podstatě již jen sumarizační. Vlastní analýzu proveditelnosti je možné si vypracovat jako nepovinnou přílohu PENB a do zmiňované tabulky uvést již jen výsledky analýzy.

§8 Vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy

- (1) *V případě větší změny dokončené budovy je součástí průkazu také stanovení doporučených technicky, funkčně a ekonomicky vhodných opatření pro snížení energetické náročnosti hodnocené budovy mimo opatření již zahrnutých do větší změny dokončené budovy, jehož vzor je uveden v příloze č. 4 k této vyhlášce.*
- e) *Technická vhodnost doporučeného opatření pro snížení energetické náročnosti budovy se dokládá technickou možností jeho instalace, funkční vhodnost se dokládá jeho účelem a vlivem na jiné základní funkce stavby a na sousední stavby, ekonomická vhodnost se dokládá dosažením prosté doby návratnosti kratší než doba životnosti doporučeného opatření.*
- (3) *Účinek doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy se vyhodnocuje minimálně na základě úspory celkové dodané energie a neobnovitelné primární energie.*

Pokud se vypracovává PENB pro stávající budovu, kde proběhne větší změna, je nutné navrhnout ještě další úsporná opatření, mimo plánované opatření uvedené v projektu. Na toto ustanovení někteří začínající energetičtí specialisté pozapomínají. Vyhláška neříká, kolik musí těchto opatření být. Při návrhu úsporných opatření je však nanejvýš vhodné zohlednit stav budovy a její potenciál v oblasti úspor. Vyhodnocení navržených opatření se provádí z pohledu technické, funkční a ekonomické vhodnosti. Úsporná opatření je možné navrhnout v kategoriích: stavební prvky a konstrukce budovy, technické systémy budovy, obsluha a provoz systémů budovy, ostatní.

§9 Vzor a obsah průkazu

(1) Průkaz tvoří protokol a grafické znázornění.

(2) Protokol obsahuje

- a) účel zpracování průkazu,*
- b) základní informace o budově,*
- c) informace o stavebních prvcích a konstrukcích a technických systémech,*
- d) energetickou náročnost hodnocené budovy,*
- e) posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie,*
- f) doporučení opatření pro snížení energetické náročnosti budovy při větší změně dokončené budovy,*
- g) identifikační údaje energetického specialisty a datum vypracování průkazu.*

(3) Vzor průkazu je uveden v příloze č. 4 k této vyhlášce

Struktura PENB je odstavcem (2) přesně daná a je třeba jí dodržet, jinak průkaz není v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. V některých případech průkazy nemusí obsahovat bod e) a f) viz odstavec (5).

(4) Grafické znázornění průkazu

- a) je stejné pro novou budovu, budovu s téměř nulovou spotřebou energie, větší změnu dokončené budovy, jinou než větší změnu dokončené budovy a pro případy prodeje a pronájmu budovy nebo její ucelené části. Pouze v případě neuvedení doporučených opatření se příslušné části grafického znázornění nevyplňují a nezobrazují se šipky s hodnotou ukazatelů energetické náročnosti odpovídající těmto doporučením,*
- b) obsahuje zařazení budovy do klasifikačních tříd energetické náročnosti budovy (dále jen „klasifikační třída“),*
- c) je umístěno symetricky na bílém podkladě dvou stran formátu A4 na výšku, přičemž je použito standardních fontů písma podle vzoru uvedeného v příloze č. 4 k této vyhlášce,*
- d) obsahuje měrné hodnoty ukazatelů energetické náročnosti budovy vztažené na energeticky vztažnou plochu a také hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro celou budovu.*

(5) Průkaz zpracovaný pro

- a) pro prodej nebo pronájem budovy v případě, že není povinnost zpracovat průkaz pro jiné účely, nemusí obsahovat části protokolu podle odstavce 2 písm. e) a f),*
- b) pro novou budovu nemusí obsahovat část protokolu podle odstavce 2 písm. f).*

Dle odstavce (5) není třeba zpracovávat v PENB při pronájmu nebo prodeji budovy posouzení proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie a také není nutné navrhovat opatření pro snížení spotřeby energie. Je to vcelku logické, vyplývá to z povahy PENB pro daný účel. Při zpracování PENB pro novou budovu je nutné zpracovat posouzení proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, ale není třeba provádět návrh úsporných opatření. Předpokládá se, že nová budova bude navržena jako dostatečně energeticky efektivní.

- (6) *Klasifikační třídy A až G, jejichž slovní vyjádření a hodnoty pro jejich horní hranici jsou uvedeny v příloze č. 2 k této vyhlášce, se stanovují pro celkovou dodanou energii, neobnovitelnou primární energii, dílčí dodané energie a průměrný součinitel prostupu tepla a použijí se v grafickém znázornění průkazu podle přílohy č. 4 k této vyhlášce.*
- (7) *Hranice klasifikačních tříd podle odstavce 6 se stanoví z referenční hodnoty klasifikovaného ukazatele energetické náročnosti budovy E_R , která se určí jednotně pro referenční podmínky uvedené pro novou budovu v příloze č. 1 k této vyhlášce. Při změně dokončené budovy, výstavbě budovy s téměř nulovou spotřebou a při prodeji nebo pronájmu stávající budovy platí stejná stupnice klasifikačních tříd jako pro nové budovy.*
- (8) *V případě rodinných a bytových domů se neurčuje klasifikační třída pro dílčí dodané energie pro chlazení.*

Pokud se využívá při zpracování PENB specializovaný software, nezobrazí se u objektů rodinných domů a bytových domů klasifikační třída dodané energie pro chlazení. Nestane se tak přesto, že v programu zadáte chladicí zařízení se všemi náležitostmi. Není to chyba programu nebo špatná metodika zadávání do programu, je to důsledek odstavce (8).

§10 Podmínky pro umístění průkazu v budově

Grafické znázornění průkazu v provedení podle přílohy č. 4 k této vyhlášce se v případě budovy užívané orgánem veřejné moci umísťuje na plochu vnější stěny bezprostředně vedle veřejného vchodu do budovy nebo plochu svislé stěny ve vstupním prostoru uvnitř budovy navazující na tento vchod.

Většina objektů, kterých týká povinnost veřejného umístění grafické části PENB má vystavenou grafickou část vevnitř objektu v blízkosti hlavního vchodu objektu. Je to praktičtější z důvodu ochrany před nepřízní počasí a také bezpečnější před vandaly.

1.4 Vyhláška č. 230/2015 Sb. kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

V srpnu 2015 byla schválena malá novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. V této novela je několik menších změn a jedna zásadní změna v §8, odst. (1), který byl přepracován.

- (1) *Součástí průkazu je stanovení doporučených technicky, funkčně a ekonomicky vhodných opatření pro snížení energetické náročnosti hodnocené budovy (dále jen „doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budovy“).*

Podle vyhlášky 78/2013 Sb. bylo nutné navrhovat úsporná opatření pouze v případě větší změny dokončené budovy. Nově se budou muset úsporná opatření navrhovat i u nových budov. Vyhláška 230/2015 Sb. nabývá účinnosti od 1. Prosince 2015.

1.5 Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku 480/2012 Sb.

Uvedená vyhláška se zabývá rozsahem a obsahem energetického auditu (EA) a energetického posudku (EP). V textu je popsán obsah jednotlivých kapitol auditu a posudku. V příloze vyhlášky jsou pak vzory tabulek a evidenčních listů.

§2 Rozsah energetického auditu

(1) Hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká fyzickým a právnickým osobám povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit, se stanoví ve výši 35 000 GJ (9 722 MWh) za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství příslušné osoby a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok.

2) Hodnota celkové spotřeby energie, od níž vzniká organizačním složkám státu, organizačním složkám krajů a obcí a příspěvkovým organizacím povinnost zpracovávat pro své budovy nebo energetická hospodářství energetický audit, se stanoví ve výši 1 500 GJ (417 MWh) za rok jako součet za všechny budovy a energetická hospodářství příslušné organizační složky nebo příspěvkové organizace a týká se pouze jednotlivých budov nebo jednotlivých energetických hospodářství, které mají spotřebu energie vyšší než 700 GJ (194 MWh) za rok.

Zde je na místě upozornit, že povinnost zpracovat EA je dána zákonem č. 318/2012 Sb. v §9 odstavci (1), který říká, že uvedená spotřeba energie dle vyhlášky č. 480/2012 Sb. musí být dosažena alespoň dva roky za sebou, aby platila povinnost zpracovat EA. Pokud dojde k překročení spotřeby energie pouze v rámci jednoho roku, není nutné EA zpracovávat.

§3 Obsah energetického auditu

Energetický audit obsahuje

- a) titulní list,*
- b) identifikační údaje,*
- c) popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu,*
- d) vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu,*
- e) návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užit energie,*
- f) varianty z návrhu jednotlivých opatření,*
- g) výběr optimální varianty,*
- h) doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit,*
- i) evidenční list energetického auditu, jehož vzor je uveden v příloze č.1 k této vyhlášce, a*
- j) kopií dokladu o vydání oprávnění podle §10b zákona č. 406/2000Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“) nebo kopií oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Evropské unie.*

Osnova energetického auditu je přesně dána a musí být dodržena, má-li být audit považován za správně vypracovaný v souladu se zákonem. Vyhláška dále vysvětluje náplně jednotlivých odstavců §3.

Způsob zpracování jednotlivých částí energetického auditu

§4

(1) *Titulní list obsahuje název předmětu energetického auditu, datum vypracování energetického auditu, jméno, popřípadě jména, a příjmení energetického specialisty, číslo oprávnění a evidenční číslo energetického auditu z evidence o provedených činnostech energetických specialistů.*

(2) *Identifikační údaje obsahují*

a) *údaje o vlastníkově předmětu energetického auditu, kterými jsou*

- u právnické osoby název nebo obchodní firma a sídlo, popřípadě adresa pro doručování, identifikační číslo osoby, pokud bylo přiděleno, a údaje o jejím statutárním orgánu,*
- u fyzické osoby jméno, popřípadě jména, a příjmení, identifikační číslo osoby, pokud bylo přiděleno, a adresa trvalého bydliště a*

b) *údaje o předmětu energetického auditu, kterými jsou název, adresa nebo umístění předmětu energetického auditu.*

Titulní list kromě výše uvedených náležitostí obsahuje obvykle i fotografii objektu (není však povinná). Údaje dle odstavce (2) se obvykle v EA řeší tabulkovou formou, kde jsou uvedeny jednotlivé náležitosti požadované vyhláškou.

(3) *Popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu obsahují údaje o*

a) *předmětu energetického auditu, a to*

- charakteristiku hlavních činností předmětu energetického auditu,*
- popis technických zařízení, systémů a budov, které jsou předmětem energetického auditu,*

Popis technických zařízení se vztahuje na veškeré systémy nainstalované v budově, může to být vytápění, vzduchotechnika, chlazení, příprava TV, osvětlení a další technologické vybavení budovy. Proveďte se popis jednotlivých systémů, hlavních prvků a stručná charakteristikou funkce. Vhodné je doplnit popis fotodokumentací hlavních částí. Pro zpracování této části je nezbytná prohlídka budovy. Zjištěné závady se uvedou v popisu.

3. *situační plán,*

b) *energetických vstupech za předcházející 3 roky včetně průměrných hodnot, které se získají z účetních dokladů; vzor tabulkového zpracování základních údajů o energetických vstupech je uveden v příloze č. 2 k této vyhlášce,*

c) *vlastních zdrojích energie, jejichž základní technické ukazatele jsou uvedeny v příloze č. 3 k této vyhlášce; součástí těchto údajů je roční bilance výroby energie z vlastních zdrojů energie,*

Mezi vlastní zdroje energie se počítá zařízení na výrobu tepla a elektrické energie (kotle, kogenerační jednotky, fotovoltaika atd.). Tato zařízení je zapotřebí v této kapitole EA popsat a uvést jejich bilanci dle přílohy 3.

d) *rozvodech energie; požadované údaje se zjišťují pro hlavní rozvody s následujícími informacemi*

- pro rozvod tepla a chladu se uvede druh, jeho délka, kapacita, průměr, provedení, stáří a technický stav tepelné izolace,*

2. *pro všechny rozvody energie se aktualizují schémata energetických rozvodů, zhodnotí se jejich stav a vybavenost měřením a stanoví se energetické toky v jednotlivých úsecích,*
- e) *významných spotřebičích energie, kterými jsou údaje o druhu spotřebiče, energetickém příkonu, ročních provozních hodinách a způsobu regulace,*
- f) *tepelně technických vlastnostech budovy a*

Zde se uvede popis konstrukcí, které tvoří obálku budovy. Popis konstrukcí má běžně tabulkovou podobu kde je uvedena skladba jednotlivých materiálů posuzované konstrukce s uvedením tloušťky a tepelné vodivosti a vypočtený součinitel prostupu tepla. Dále spočítáme průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy. Tyto údaje jsou nezbytné pro energetické výpočty.

- g) *systému managementu hospodaření s energií podle ČSN EN ISO 50001 – Systém managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem na použití z ledna 2012.*

(4) Vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu obsahuje

- a) *vyhodnocení účinnosti užití energie*
 1. *ve zdrojích energie,*
 2. *v rozvodech tepla a chladu,*
 3. *ve významných spotřebičích energie,*
- b) *vyhodnocení tepelně technických vlastností stavebních konstrukcí budov,*
- c) *vyhodnocení úrovně systému managementu hospodaření energií a,*
- d) *celkovou energetickou bilanci, jejíž tabulkové zpracování je uvedeno v bodu 1. Přílohy č. 4 k této vyhlášce.*

V rámci odstavce (4) provedeme zhodnocení výchozího stavu budovy jak na straně stavební části, tak na straně TZB a technologie. Je třeba jednoznačně uvést, zda jednotlivé konstrukce nebo zařízení jsou funkční a zda jsou vyhovující pro současné a budoucí užívání budovy. Tato kapitola je podkladem pro návrh úsporných opatření v EA.

§5

(1) Návrhy jednotlivých opatření ke zvýšení účinnosti užití energie obsahují

- a) *název a popis opatření,*
- b) *roční úspory energie v MWh/rok a porovnání úspor energie se stavem před realizací navrhovaného opatření,*
- c) *náklady na realizaci navrhovaného opatření a*
- d) *průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok a porovnání průměrných ročních provozních nákladů se stavem před realizací navrhovaného opatření.*

(2) Z návrhů jednotlivých opatření uvedených v odstavci 1 se navrhnou nejméně dvě varianty, z nichž každá navržená varianta obsahuje

- a) *popis navrhovaných opatření, ze kterých je navrhovaná varianta složena, a to*
 1. *roční úspory energie v MWh/rok a porovnání úspor energie se stavem před realizací navrhované varianty,*

2. investiční náklady na realizaci navrhované varianty,
 3. průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok a porovnání průměrných ročních nákladů se stavem před realizací navrhované varianty,
- b) ekonomické vyhodnocení navržených variant, které provede způsobem uvedeným v příloze č. 5 k této vyhlášce,
 - c) ekologické vyhodnocení navržených variant, které se provede způsobem uvedeným v příloze č. 6 k této vyhlášce

Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého pro různé energonositele jsou uvedeny v příloze 6 vyhlášky. Co se týče emisních faktorů pro ostatní emisní faktory, vychází se zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a navazujících právních předpisů.

- d) stanovení okrajových podmínek a
- e) celkovou energetickou bilanci navržených variant, jejíž tabulkové zpracování je uvedeno v bodu 2. Přílohy č. 4 k této vyhlášce.

(3) Výběr optimální varianty se provede

- a) na základě výsledků ekonomického vyhodnocení v tisících Kč/rok s ohledem na velikost úspory energie v MWh/rok a ekologického vyhodnocení, nebo
- b) podle kritérií dotačních programů.

(4) Doporučení energetického specialisty obsahuje

- a) popis optimální varianty,
- b) roční úspory energie v MWh/rok po realizaci optimální varianty,
- c) náklady v tisících Kč/rok na realizaci optimální varianty,
- d) průměrné roční provozní náklady v tisících Kč/rok v případě realizace optimální varianty,
- e) upravenou energetickou bilanci pro optimální variantu,
- f) ekonomické a ekologické vyjádření pro optimální variantu,
- g) návrh vhodné koncepce systému managementu hospodaření s energií a
- h) popis okrajových podmínek pro optimální variantu.

Dle odstavce 4 je nutné doporučit v rámci EA jednu variantu úsporných opatření k realizaci a patřičně zdůvodnit výběr. Kritérium výběru je ekonomické, ekologické, technické a nebo požadavky dotačního titulu. Rovněž je nutné uvést okrajové podmínky, za kterých byla vybraná varianta uvažována. Myšleny jsou klimatické podmínky, technické, ekonomické atd.

§6 Obsah energetického posudku

Energetický posudek obsahuje

- a) titulní list,
- b) účel zpracování podle §9a zákona,
- c) identifikační údaje,
- d) stanovisko energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický posudek,

- e) *evidenční list energetického posudku, jehož vzor je uveden v příloze č. 7k této vyhlášce, a*
- f) *kopii dokladu o vydání oprávnění podle §10b zákona nebo kopií oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Evropské unie.*

Energetický posudek se jako takový vyjadřuje k nějakému navrhovanému úspornému opatření, posuzuje možnost volby zdroje energie, nebo posuzuje splnění předem daných kritérií např. v rámci EA. Může mít různé formy dle účelu, pro který má být vypracován.

§7 Způsob zpracování jednotlivých částí energetického posudku a jeho rozsahu

- (1)*Titulní list obsahuje název předmětu energetického posudku, datum vypracování energetického posudku, jméno, popřípadě jména, a příjmení energetického specialisty, číslo oprávnění a evidenční číslo energetického posudku z evidence o provedených činnostech energetických specialistů.*
- (2)*Identifikační údaje obsahují*
 - a) *údaje o vlastníkově předmětu energetického posudku, kterými jsou*
 - 1. *u právnické osoby název nebo obchodní firma a sídlo, popřípadě adresa pro doručování, identifikační číslo osoby, pokud bylo přiděleno, a údaje o jejím statutárním orgánu,*
 - 2. *u fyzické osoby jméno, popřípadě jména, příjmení, identifikační číslo osoby, pokud bylo přiděleno, a adresa trvalého bydliště,*
 - b) *údaje o předmětu energetického posudku, kterými jsou název, adresa nebo umístění předmětu energetického posudku.*
- (3)*Stanovisko energetického specialisty obsahuje v závislosti na účelu energetického posudku podle §9a zákona*
 - a) *stanovení výsledků a podmínek proveditelnosti v případě zpracování energetického posudku podle § 9a odst. 1 písm. a), b), c) a d) a § 9a odst. 2 písm. a) zákona,*
 - b) *vyhodnocení plnění parametrů v případě zpracování energetického posudku podle § 9a odst. 1 písm. e) zákona,*
 - c) *doporučená opatření v případě zpracování energetického posudku podle §9a odst. 2 písm. b) zákona,*
 - d) *vyhodnocení podkladů v případě zpracování energetického posudku podle §9a odst. 2 písm. c) zákona,*
 - e) *vyhodnocení provedených opatření zpracování energetického posudku podle §9a odst. 2 písm. d) zákona,*
 - f) *vyhodnocení dosahování limitu v případě zpracování energetického posudku podle §9a odst. 2 písm. e) zákona,*
 - g) *závěrečný výrok o naplnění účelu energetického posudku.*
- (4)*Ekonomické vyhodnocení se provádí způsobem, který je uveden v příloze č. 5 k této vyhlášce.*
- (5)*Ekologické vyhodnocení se provádí způsobem, který je uveden v příloze č. 6 k této vyhlášce.*

Literatura

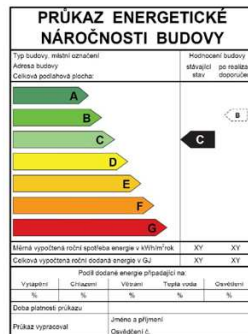
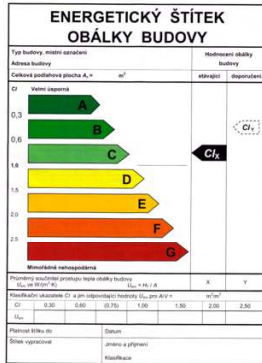
- [1] Zákon č. 406 o hospodaření energií, Praha, 2000.
- [2] Zákon č. 318, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, Praha, 2012.
- [3] Zákon č. 103, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, Praha, 2015.
- [4] Vyhláška č. 78 o energetické náročnosti budov, Praha, 2013.
- [5] Vyhláška č. 480 o energetickém auditu a energetickém posudku, Praha, 2012.
- [6] Vyhláška č. 193 o kontrole klimatizačních systémů, Praha, 2013.
- [7] Vyhláška č. 194 o kontrole kotlů a rozvodů tepelné energie, Praha, 2013.
- [8] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení, ÚNMZ, 2009.
- [9] TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet, ÚNMZ, 2013.

2 Ing. Olga Rubinová, Ph.D.: Hodnocení obálky budovy

2.1 Úvod

V roce 2010 vydala Evropská komise směrnici známou pod zkratkou EPBD II, ve které se konstatuje, že z celkové spotřeby energie v EU připadá 40 % na budovy. Chceme-li tedy snížit energetickou závislost Unie a emise skleníkových plynů, ale i jiných škodlivin ze spalovacích procesů, skýtá sektor budov významný potenciál. EPBD II v návaznosti na předchozí EPBD I z roku 2002 nařizuje členským státům, aby mj. zavedli energetickou certifikaci budov podle společného rámce a stanovili minimální požadavky na energetickou náročnost budov a jejich technických systémů, což má vést ke snížení spotřeby energie v celkovém měřítku kolem 5 %. Z tohoto požadavku vyplývají průkazy energetické náročnosti budovy (PENB), jak je známe dnes v r. 2015. Jejich cílem je prokázat, že nově stavěné budovy splňují požadavky (jednotlivými členskými státy individuálně stanovené) na energetickou náročnost jak z hlediska stavebního řešení, tak z hlediska technických systémů, které slouží pro tvorbu vnitřního prostředí. Dalším způsobem, jak snížit energetickou závislost evropských zemí je kromě celkového snížení spotřeby využívání (lokálně dostupných) obnovitelných zdrojů energie. Proto současná forma PENB obsahuje kromě informace o spotřebě energie také vyjádření, kolik z této energie je získáno z neobnovitelných, tedy omezených zdrojů. Vzhledem k dlouhé životnosti budov a spotřebě energie jakožto významného ekonomického atributu, jsou pro účely obchodování s nemovitostmi PENB doplňovány také pro stávající budovy.

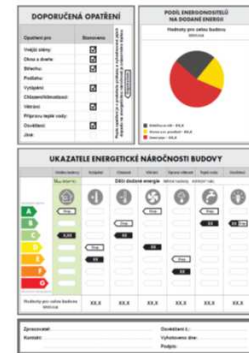
Problematika spotřeby energie však není tématem novým. V druhé polovině 20. stol. V Německu vznikla iniciativa za snížení energetické náročnosti budov, která vyústila v energetickou koncepci známou jako pasivní dům. Při rozboru spotřeb pro provoz budov, zejména bytových, bylo v tehdejší době konstatováno, že 90 % ze spotřeby energie připadá na vytápění. Spotřeba energie na vytápění (spotřebu tepla) je zásadně dána tepelnou ztrátou, která závisí na tepelně technických vlastnostech obalových konstrukcí budov. Prvním hodnotícím parametrem spotřeby energie je tvar budovy a tepelný odpor konstrukcí, což u nás vyústilo v roce 2002 v zavedení Energetického štítku obálky budovy. Důrazem na tepelnou techniku došlo k razantnímu zlepšení kvality konstrukcí z hlediska tepelného odporu a tím spotřeba tepla na vytápění klesla a ostatní druhy spotřeb tak získaly na relativním významu. V roce 2007 byl proto zaveden (jako požadavek evropské směrnice) Energetický průkaz budovy, který hodnotí provozní energii na systémy vytápění (tím skrytě kvalitu konstrukcí), ohřev vody, větrání, chlazení a osvětlení. Druh spotřebovávané energie a tím vliv na životní prostředí se neposuzoval. V roce 2011 byla provedena revize normy tepelné ochrany budov ČSN 73 0540, kde se již vyskytuje pojem primární energie, tedy rozlišuje, jakou formu energie budova spotřebovává, zpravidla ve formě paliva (zemní plyn, uhlí, dřevo). V duchu tradic stavební fyziky je tu definován pasivní dům. Toto hodnocení však nemá použití ve smyslu energetického hodnocení vázaného na Energetický zákon. Od roku 2013 platí podle nových předpisů Průkaz energetické náročnosti budov (PENB), který již hodnotí souhrnně jak konstrukce budovy z hlediska stavební fyziky, tak spotřeby jednotlivých systémů a rozlišují se jednotlivé formy spotřebovávané energie, které se přepočítávají na společnou hodnotu primární energie, u níž se rozlišuje složka obnovitelná a neobnovitelná. Z tohoto PENB také vyplyne, zda budova splní požadavky na cílový stav budov, tj. budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Tato kniha je primárně zaměřena na posuzování energetické náročnosti budov vzhledem k předepsaným hodnotám, čili na Průkazy ENB, principy zde uvedené je možné využít i při tvorbě energetických auditů a posudků. Jak se liší hodnocení ENB ve verzích PENB z roku 2007 a 2013 naleznete v kapitole „Praktické aspekty energetického hodnocení budov“.



A.5.3 Pasivní budovy

Pasivní budovy jsou charakterizovány vnitřním prostředím a minimalizovanou a optimalizovanému stavebnímu řešení a hodnoty potřeby tepla na vytápění a do s využitím vstupních údajů uvedených stanoví postupem podle ČSN EN ISO pomocně elektrické energie na provoz.

Průměrný součinitel prostupu tepla	Měrná potřeba tepla na vytápění
U_{tm}	[kWh/(m ² ·a)]
[W/(m ² ·K)]	[kWh/(m ² ·a)]
≤ 0,25 požadováno	≤ 20 požadováno
≤ 0,20 doporučeno	≤ 15 doporučeno



Štítek obálky budovy
vliv tepelné technických vlastností a tvaru budovy na potřebu tepla na vytápění **2002**

Energetický průkaz
spotřeba **provozní energie** na vytápění, ohřev vody, větrání, chlazení, osvětlení. Druh energie se neposuzuje. **2007**

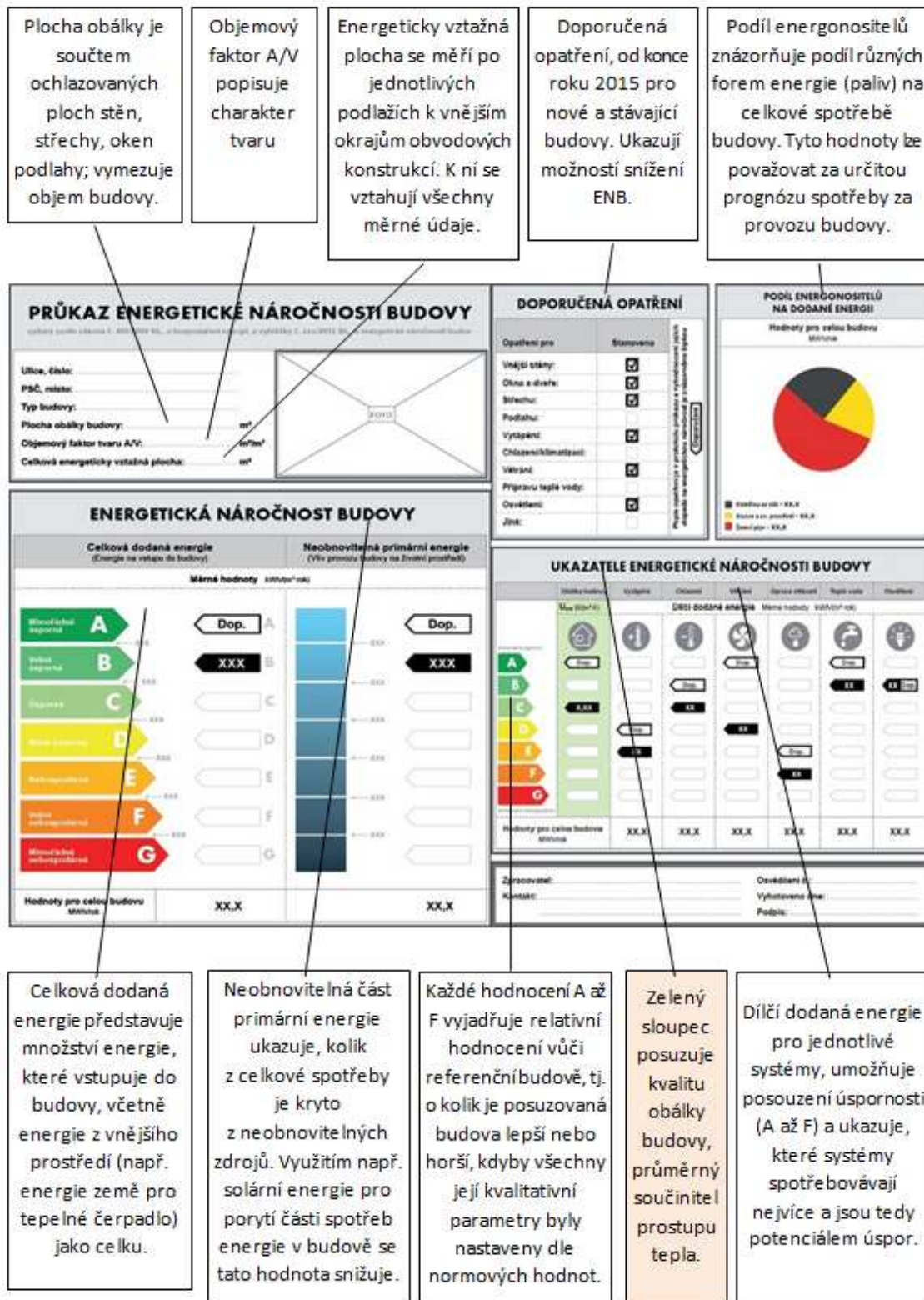
Hodnocení dle ČSN 730540
spotřeba provozní energie na vytápění, ohřev vody, větrání, chlazení, osvětlení, příp. **spotřebiče**. Druh energie se posuzuje, hodnotí se i **primární energie**. **2011**

Energetický průkaz
UT, větrání, vlhkost, TV, osvětlení; primární energie **obnovitelná a neobnovitelná** **2013**

Obr. 2.1. Postupný vývoj v hodnocení ENB po roce 2000

Životnost budovy je velká, proto se nestačí zabývat tím, zda v jistém okamžiku splní či nesplní zákonem stanovené podmínky, ale také tím, zda stávající zařízení nelze nahradit novějším, technologicky vyspělejších, které má lepší energetické vlastnosti. K identifikaci reálného stavu budov, a technických systémů, množství skutečně spotřebované energie slouží Energetický audit. Jeho cílem je na základě zmonitorovaného skutečného stavu nalézt potenciál úspor a po stránce technické, ekonomické i ekologické tento potenciál zhodnotit. V energetickém auditu lze uplatnit mnohé v knize představených metod, zejména termografického sledování obálky budovy, jehož možnosti jsou uvedeny v poslední kapitole knihy.

Na obrázku 1 je znázorněn vývoj energetického hodnocení budov od roku 2000. Na obrázku 2 je uvedena grafická část PENB s vysvětlením obsahu.



Obr. 2.2. Obsah současné formy grafické části PENB (2015)

2.2 Hodnocení obálky budovy v PENB

Jedním z ukazatelů energetické náročnosti budovy je hodnocení obálky budovy a to srovnáním průměrného součinitele prostupu tepla posuzované budovy s hodnotou součinitele prostupu tepla budovy referenční. Referenční budova představuje řešení na nákladově optimální úrovni ve vztahu k energetické náročnosti. Jedná se tedy o fiktivní objekt, který je identický s budovou hodnocenou co do druhu, geometrického tvaru a velikosti včetně ploch (mimo podílu prosklení, je – li v hodnocené budově na fasádě podíl prosklení větší než 50%). S hodnocenou budovou má budova referenční shodnou orientaci, lokalitu a klimatické parametry. Tepelně technické vlastnosti jednotlivých konstrukcí tvořících obálku referenční budovy odpovídají normově požadovaným hodnotám součinitelů prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2:2011.

Vztahy vycházejí z tepelných toků prostupem tepla, přičemž základní fyzikální vztah pro stanovení toku tepla prostupem (W) přes konstrukci je

$$Q_{Ti} = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_{e,i,u,g}) = U \cdot A \cdot b \cdot (\theta_i - \theta_e) = H_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (2.1)$$

kde U je součinitel prostupu tepla konstrukcí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$), A plocha této konstrukce (m^2), $\theta_{e,u,g}$ teplota na druhé straně konstrukce – venkovní, vytápěný prostor s odlišnou vnitřní teplotou, nevytápěný prostor, zemina. Je-li ve vztahu uveden pouze základní rozdíl teplot, tj. rozdíl mezi vnitřní teplotou a venkovní teplotou, musí se v případech s odlišnou teplotou na druhé straně konstrukce, která není shodná s teplotou venkovní, zohlednit teplotní redukční činitel b . Součin $U \cdot A \cdot b$ je měrná ztráta prostupem tepla H_T ve (W/K).

U obálky budovy, tedy pro více konstrukcí je základní vztah pro prostup tepla

$$Q_{Ti} = \sum U_j \cdot A_j \cdot (\theta_i - \theta_{e,i,u,g}) = \sum U_j \cdot A_j \cdot b_j \cdot (\theta_i - \theta_e) = \sum H_{Tj} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (2.2)$$

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy je obecně dán vztahem

$$U_{em} = \sum H_{Tj} / \sum A_j \quad (2.3)$$

Jednozónové budovy

Obálku zde mohou tvořit konstrukce na hranici interiéru a exteriéru, konstrukce přilehlé k zemině a konstrukce k nevytápěným prostorům. Požadovaná základní hodnota součinitele prostupu tepla se stanoví podle vztahu

$$U_{emN,20R} = f_R \left[\frac{\sum (U_{N,20j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{emR} \right], \quad (2.4)$$

kde $U_{N,20j}$ je normově požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro j -tou konstrukci obálky budovy a to pro převažující vnitřní teplotu $20^\circ C$.

A_j je plocha j -té teplosměnné konstrukce stanovená z vnějších rozměrů. Pozor, pokud součet průsvitných ploch tvoří více než 50 % vnějších stěnových konstrukcí (stěn včetně výplní otvorů), započte se u referenční budovy pouze pro těchto 50% hodnota součinitele prostupu tepla pro výplně odporů a zbytek průsvitné plochy se uvažuje jako vnější stěna.

b_j je teplotní redukční činitel zohledňující ve výpočtové metodice to, že na vnější straně konstrukce je jiná než venkovní výpočtová teplota. Pro konstrukce na hranici s venkovním vzduchem je $b_j = 1$ (stěny, střecha, výplně otvorů do exteriéru).

U konstrukcí, kde na vnější straně konstrukce je prostředí, jehož teplota neodpovídá teplotě venkovního prostředí, se b stanoví výpočtem podle vztahu

$$b_j = \frac{\theta_{i,j} - \theta_u}{\theta_{i,m} - \theta_e} = \frac{\theta_{i,j} - \theta_u}{\theta_{ie}}, \quad (2.5)$$

kde θ_{ie} je základní rozdíl tepla mezi vnitřním a venkovním prostředím, $\theta_{i,m}$ je převažující vnitřní teplota (obvykle v obálkové metodě $\theta_{i,m} = \theta_{ij}$) a θ_u je teplota nevytápěného prostoru nebo zeminy. Není-li teplota θ_u známa, lze ji stanovit podle vztahu

$$\theta_u = \frac{H_{iu} \cdot \theta_{i,j} + H_{ue} \theta_e}{H_{iu} + H_{ue}}, \quad (2.6)$$

kde H_{ue} (ve W/K) je měrná tepelná ztráta prostupem tepla z nevytápěného prostředí směrem ven a H_{iu} (ve W/K) je měrná tepelná ztráta prostupem z vnitřního prostoru do nevytápěného prostoru.

$\Delta U_{em,R}$ je přírážka na vliv tepelných vazeb a u referenční budovy se uvažuje hodnotou 0,02 W/(m².K). U hodnocené budovy lze vliv tepelných vazeb stanovit přesným způsobem podle ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana: Výpočtové metody a to stanovením lineárních a bodových činitelů prostupu tepla nebo zjednodušeně přírážkou. V rámci stavební konstrukce jsou místa se zvýšeným tepelným tokem prostupem. Tato místa se nazývají tepelným mostem. Je-li tepelný most daný skladbou konstrukce (spáry v cihelné stěně, krokve ve střešní konstrukci), je zahrnut v součiniteli prostupu tepla této konstrukce. Další tepelné mosty vzniknou vzájemným působením konstrukcí – například spojováním (osazení výplně otvorů, uložení vodorovných nosných prvků, styky dvou svislých konstrukcí). Tyto mosty jsou tepelnými vazbami, neovlivňují součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a do výpočtu vstupují až při stanovení měrné tepelné ztrát prostupem H .

Obvyklé hodnoty přírážek ΔU :

- 0,02 pro konstrukce téměř bez tepelných mostů (optimalizované řešení)
- 0,05 pro konstrukce s mírnými tepelnými mosty (typové či opakované řešení)
- 0,1 pro konstrukce s běžnými tepelnými mosty (dříve standardní řešení)
- 0,15 a více pro konstrukce s výraznými tepelnými mosty (zanedbané řešení).

f_r je pro požadovanou hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla uvažováno takto:

- 1 dokončená budova a její změna
- 0,8 nová budova
- 0,7 budova s téměř nulovou spotřebou energie

Hodnota průměrného součinitele prostupu tepla referenční budovy $U_{em,R}$ je pro objekty s převažující vnitřní teplotou od 18 do 22°C vč. (u objektů s téměř nulovou spotřebou energie 18 až 22°C vč. obou uvedených hodnot) shodná s požadovanou základní hodnotou součinitele prostupu tepla, tj. $U_{em,R} = U_{em,N,20,R}$. U budov jinou vnitřní teplotou se hodnota průměrného součinitele prostupu tepla referenční budovy stanoví podle

$$U_{em,R} = U_{em,N,20,R} \cdot 16 / (\theta_{im} - 4) \quad (2.7)$$

U nových budov nesmí požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla překročit maximálně stanovenou hodnotu, platí tedy, že $U_{em,N,20,R} \leq 0,5 \text{ W(m}^2\text{.K)}$ u obytných budov. U ostatních typů budov mimo obytné musí být

$$U_{em,N,20,R} \leq 1,05 \text{ W(m}^2\text{.K)} \text{ je-li } A/V \leq 0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3,$$

$$U_{em,N,20,R} \leq 0,45 \text{ W(m}^2\text{.K)} \text{ je-li } A/V > 1,0 \text{ m}^2/\text{m}^3,$$

$$U_{em,N,20,R} \leq 0,3 + 0,15/(A/V) \text{ je-li } A/V > 0,2 \text{ a současně je } A/V \leq 1,0.$$

A/V je faktor tvaru budovy a je dán podílem teplosměnné plochy obálky a objemem stanoveným z vnějších rozměrů.

Vícezonové budovy

Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla u budovy rozdělené na více zón se stanoví jako vážený průměr z hodnot stanovených pro jednotlivé zóny (stanovených podle výše uvedeného postupu pro jednozonové objekty).

$$U_{em,R} = \frac{\sum(U_{em,R,j} \cdot V_j)}{\sum V_j} \quad (2.8)$$

Porovnáním průměrného součinitele prostupu tepla hodnocené budovy s průměrným součinitelem prostupu tepla referenční budovy zjistíme klasifikační třídu. Hranice tříd a slovní vyjádření klasifikační třídy pro zařazení podle průměrného součinitele prostupu tepla (v hodnocení obálky budov) uvádí následující tabulka 1.

Tab. 2.1 Hranice tříd a jejich klasifikace při hodnocení obálky budovy

Hodnota horní hranice klasifikační třídy	Klasifikační třída	Slovní vyjádření
$0,65 \cdot U_{em,R}$	A	Mimořádně úsporná
$0,8 \cdot U_{em,R}$	B	Velmi úsporná
$U_{em,R}$	C	Úsporná
$1,5 \cdot U_{em,R}$	D	Méně úsporná
$2 \cdot U_{em,R}$	E	Nehospodárná
$2,5 \cdot U_{em,R}$	F	Velmi nehospodárná
	G	Mimořádně nehospodárná

U hodnocení množství energií při srovnání s referenční budovou se horní hranice klasifikačních tříd ve třídách A a B liší.

Tab. 2.2 Hranice tříd a jejich klasifikace při hodnocení energií budovy

Hodnota horní hranice klasifikační třídy	Klasifikační třída	Slovní vyjádření
$0,5 \cdot E_R$	A	Mimořádně úsporná
$0,75 \cdot E_R$	B	Velmi úsporná
E_R	C	Úsporná
$1,5 \cdot E_R$	D	Méně úsporná
$2 \cdot E_R$	E	Nehospodárná
$2,5 \cdot E_R$	F	Velmi nehospodárná
	G	Mimořádně nehospodárná

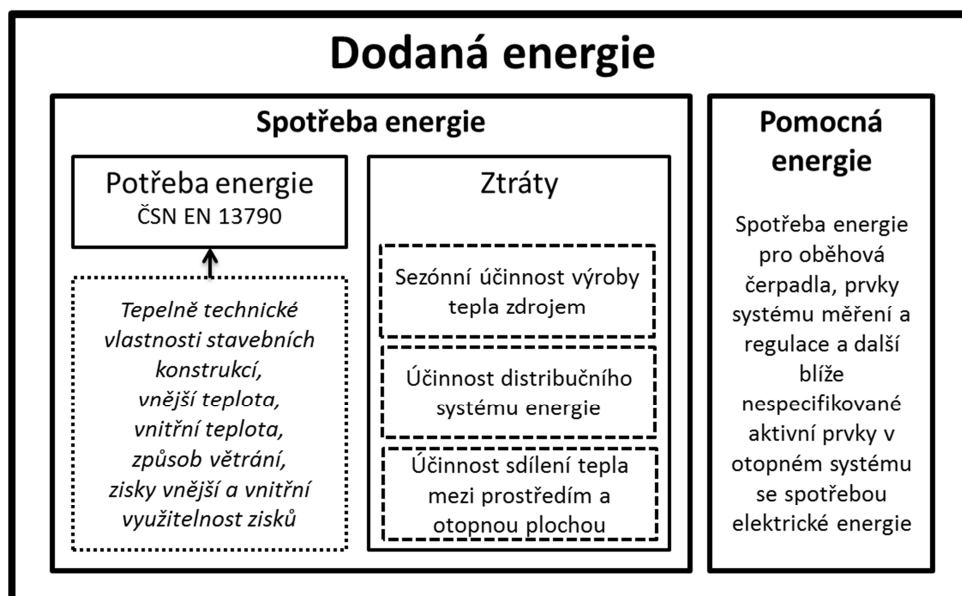
Literatura

- [1] ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie.
- [2] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.
- [3] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody.
- [4] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [5] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov.

3 Ing. Pavel Uher, Ph.D.: Vytápění v energetickém hodnocení budov

3.1 Úvod

Spotřeba energie na vytápění je souhrnem různých forem energie, které jsou v budově vynaloženy na pokrytí ztrát prostupem a větráním při zahrnutí všech ztrát výroby, distribuce a způsobu předání tepla do vnitřního vytápěného prostředí. V průkazu ENB je vytápění jedním z ukazatelů energetické náročnosti budovy vyjádřeným měrnou hodnotou dílčí dodané energie na vytápění v kWh.m⁻².rok⁻¹. Dodaná energie zahrnuje jak spotřebu energie, tak i energii pomocnou, tj. energii pro prvky, které zajišťují provoz otopného systému a spotřebovávají elektrickou energii, viz obrázek 3.1.



Obr. 3.1 Dodaná energie ve vytápění

Potřeba energie na vytápění je teplo, které se má dodat do prostoru s upravovaným vnitřním prostředím k udržování určených teplot během daného časového úseku bez ohledu na soustavu pro vytápění (zdroj, rozvody, otopné plochy, regulaci,...). Potřeba energie hodnocené budovy se stanoví podle ČSN EN ISO 13 790 Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení a to pro interval výpočtu nejvýše jeden měsíc. Před vlastním započítáním výpočtu je potřeba rozhodnout o tom, zda lze celý objekt považovat za jednu zónu či rozdělit na více zón. Budova může být považována za jednu zónu, je-li užití energie stejné, tj. je-li zásobována stejnými systémy TZB a má stejný profil typického užívání – provozu. Jednozónový výpočet lze z hlediska vytápění/chlazení aplikovat jestliže

- požadované teploty pro vytápění se neliší o více než 4 K,
- všechny prostory jsou strojně chlazené (příčemž požadovaná teplota pro chlazení se neliší o více než 4 K) nebo všechny prostory nejsou strojně chlazené,
- prostory jsou obsluhovány jedním systémem vytápění /chlazení,
- pokud je realizováno nucené větrání, je minimálně 80 % podlahové plochy obsluhováno jedním systémem větrání,
- intenzita větrání v m³/m².s⁻¹ se neliší více než 4x v rámci 80% podlahové plochy.

Jsou-li v částech budovy rozdílné provozy, výrazně odlišné parametry vnitřního prostředí nebo je-li v částech budovy rozdílně upravováno vnitřní prostředí, musí se objekt rozdělit na zóny.

3.2 Potřeba energie na vytápění – zjednodušený obecný postup pro měsíční metodu

Vstupním parametrem je pro zadaný objekt měrný tepelný tok prostupem H_T a větráním H_V ($W \cdot K^{-1}$). Měrný tepelný tok prostupem je stanoven pro konstrukce tvořící obálku budovy nebo zóny.

Měrný tepelný tok prostupem H_T se skládá z měrného tepelného toku prostupem tepla do venkovního prostředí H_D , měrného tepelného toku prostupem tepla zeminou H_g , měrného tepelného toku přes nevytápěné prostory H_U a měrného tepelného toku z/do přiléhajícího vytápěného prostoru H_A .

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (3.1)$$

Obecný vztah pro měrný tepelný tok je

$$H_x = b_{tr,x} \cdot \left[\sum A_i \cdot U_i + \sum l_k \cdot \psi_k + \sum \chi_i \right] \quad (3.2)$$

Kde je

$b_{tr,x}$ teplotní korekční činitel, který nabývá hodnot jiných než 1, je-li na druhé straně konstrukce teplota Θ_x jiná než teplota venkovního prostředí. Obecné stanovení teplotního korekčního činitele b (-) z teplot je dle vztahu

$$b = \frac{\theta_i - \theta_x}{\theta_i - \theta_e} \quad (3.3)$$

A plocha konstrukcí tvořících „obálku“ (m^2),

U součinitel prostupu tepla konstrukcí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$),

$\sum l_k \cdot \psi_k + \sum \chi_i$ měrné tepelné toky lineárními a bodovými tepelnými mosty při stanovení přesným způsobem.

Měrný tepelný tok prostupem H_T je veličinou, kterou lze vyčíst i ze štítku obálky budovy zpracovaného podle ČSN 73 0540-2.

Obecný vztah pro měrný tepelný tok větráním je

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \left(\sum b_{ve} \cdot V_{ve,mn} \right) \quad (3.4)$$

Kde je

$\rho_a \cdot c_a$ součin hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu (přibližně hodnota 1200),

$V_{ve,mn} = f_{ve} \cdot V_{ve}$ součin časového podílu provozu větrání (1 pro 24 hod., 0,5 pro 12 hod,...) a průměrného objemového toku vzduchu ($m^3 \cdot s^{-1}$),

b_{ve} součinitel teplotní korekce. U přirozeného větrání, je-li vzduch přiváděn z venkovního prostoru a má tudíž parametry exteriéru, je $b_{ve} = 1$. U větrání se známou teplotou přívodního vzduchu Θ_{sup} , která je odlišná od venkovní, lze b_{ve} stanovit podle (3.5).

$$b_{ve} = \frac{(\theta_{int} - \theta_{sup})}{(\theta_{int} - \theta_e)} \quad (3.5)$$

U nuceného větrání s výměníkem ZZT je

$$b_{ve} = (1 - f_{ve,fr} \cdot \eta_{hru}) \quad (3.6)$$

Kde je

f podíl z celkového toku vzduchu, který prochází ZZT (-),

η účinnost ZZT (-).

Dobu provozu větrání lze ve výpočtu zohlednit také až ve fázi stanovení tepelné energie pro krytí ztrát větráním. Potom ve výše uvedeném $V_{ve,mn} = V_{ve}$.

Pokud bychom z měrných tepelných toků chtěli stanovit výpočtovou tepelnou ztrátu ve W (neboli potřebu výkonu ve W), do níže uvedeného vztahu bychom dosadili do rozdílu teplot výpočtovou venkovní teplotu (-12, -15 nebo -18 °C podle teplotní oblasti).

$$Q_L = (H_{TR} + H_V) \cdot (t_i - t_{evýp}) \quad (3.7)$$

Tuto hodnotu ale v průkazu ENB nepotřebujeme. Při měsíční bilanci je každý měsíc dán charakteristickým dnem s průměrnou venkovní teplotou. Pro výpočet s měsíčním krokem jsou použitelné hodnoty uvedeny v příloze TNI 73 0331, tabulka 3.1.

Tab. 3.1 Průměrné měsíční teploty venkovního prostředí podle TNI 73 0331

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
počet dní	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
venkovní teplota	-1,3	-0,1	3,7	8,1	13,3	16,1	18	17,9	13,5	8,3	3,2	0,5

Vnitřní teploty jako jeden z parametrů typického užívání budovy lze podle typu budovy (obytná, administrativní, pro vzdělávání, zdravotnická, ubytovací, sportovní, pro obchodní účely), stejně jako provozní doby pro vytápění nalézt v přílohách TNI 73 0331.

Potřeba tepelné energie pro krytí ztrát prostupem za den Q_{TR} (kWh) je obecně dána vztahem

$$Q_{TR} = H_{TR} (t_e - t_i) \frac{h}{1000} + H_{TR} (t_e - t_{it}) \frac{(24 - h)}{1000} \quad (3.8)$$

Kde je

- t_i vnitřní teplota pro režim vytápění ($^{\circ}\text{C}$),
 t_{it} vnitřní teplota pro režim vytápění v útlumu ($^{\circ}\text{C}$),
 h provozní doba vytápění (h).

Tepelná energie pro krytí ztrát větráním za den Q_{VE} (kWh) je obecně dána vztahem

$$Q_{VE} = H_V (t_e - t_i) \frac{h_{pr}}{1000} \quad (3.9)$$

Kde je

- h_{pr} provozní doba větracího systému (za den). POZOR - je-li zohledněna již ve $V_{ve, mn}$ (viz výše uvedené stanovení H_V), dosadíme 24 hod.

V metodice s měsíčním krokem stanovíme potřebu tepelné energie pro krytí ztrát prostupem a větráním vždy pro charakteristický den každého měsíce.

Potřeba tepla pro krytí ztrát je v reálných budovách ponížena o energii, kterou získáme z jiných zdrojů než otopné soustavy. Těmito zdroji jsou především lidé, osvětlovací systém a vnitřní spotřebiče v interiéru a sluneční záření v exteriéru. Ve výpočtu ENB je nutné zohlednit vnější a vnitřní zisky a stupeň jejich využití, který souvisí s akumulací schopností stavby.

Zisky vnější (kWh) jsou dány energií dopadajícího slunečního záření na prosklené konstrukce a to pro podle orientace ke světovým stranám pro každý charakteristický den v měsíci, tabulka 3.2.

Tab. 3.2 Energie dopadajícího slunečního záření I ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$) dle TNI 730329, TNI 730330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy, Bytové domy

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	0,323	0,581	0,783	1,143	1,453	1,651	1,542	1,251	0,901	0,613	0,300	0,234
J	1,106	1,966	2,268	2,435	2,502	2,218	2,324	2,647	2,252	1,832	1,051	0,759
V	0,468	0,867	1,340	1,952	2,873	2,852	2,671	2,615	1,618	0,985	0,450	0,347
Z	0,581	1,126	1,542	2,102	2,413	2,552	2,704	2,357	1,651	1,106	0,567	0,347
H	0,613	1,188	2,090	3,303	4,358	4,412	4,391	3,955	2,585	1,598	0,692	0,484

Zisk vnější Q_{Sol} pro charakteristický den měsíce ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$) je dán součtem zisků pro výplně otvorů podle světových stran

$$Q_{Sol} = \sum F_P \cdot F_s \cdot I_i \cdot A_i \cdot g_i \quad (3.10)$$

Kde je

- F_P podíl skla z plochy okna (-),
 g propustnost okna (-),
 F_s korekční činitel dalších stínících prvků (markýzy, boční žebra, horizont...) (-),

- A plochy oken (m²),
 I energie dopadajícího slunečního záření.

Pasivní zisky z vnitřních zdrojů, tj. od osob a vybavení lze stanovit zjednodušeně podle

$$Q_H = q_{oc} \cdot A_p \cdot \frac{f_{oc} \cdot 24}{1000} + q_{ap} \cdot A_p \cdot \frac{f_{ap} \cdot 24}{1000} \quad (3.11)$$

Kde je

- q_{oc} měrné zisky od osob, q_{ap} jsou měrné zisky z vybavení,
 f_{oc} časový podíl přítomnosti osob,
 f_{ap} časový podíl doby provozu. Typické hodnoty podle druhu budovy lze najít v TNI 73 0331,
 A_p podlahová plocha.

Budova může být vybavena i jinými prvky, než klasickými výplněmi otvorů (např. zimní zahrada), což je potřeba ve výpočtu zohlednit. Metodiky výpočtu takovýchto prvků jsou uvedeny v ČSN ISO 13790.

Dalším krokem je stanovení stupně využití zisků. K tomuto potřebujeme podíl zisků a ztrát v otopném režimu

$$\gamma = \frac{Q_G}{Q_L} = \frac{Q_{Sol} + Q_{int}}{|Q_{TR} + Q_{VE}|} \quad (3.12)$$

a časovou konstantu budovy (h)

$$\tau = \frac{C/3600}{H_{TR} + H_{VE}} \quad (3.13)$$

Kde je

- C vnitřní tepelná kapacita budovy (J.K⁻¹). Vnitřní tepelnou kapacitu budovy lze zjednodušeně stanovit z plošné tepelné kapacity vycházející z materiálového řešení stavby

$$C = C_m A \quad (3.14)$$

Kde je

C_m plošná měrná tepelná kapacita ($\text{kJ.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$ podl.plochy), viz tabulka 3.3,
 A plocha konstrukce (m^2).

Tab. 3.3 Dynamický parametr – plošná měrná tepelná kapacita (dle ČSN EN 15 603)

Třída budovy	C_m ($\text{kJ.K}^{-1}.\text{m}^{-2}$ podl.plochy)
Místnost do 20 m^2 , vše z betonu bez povrchových úprav	500
Větší místnost, vše z betonu bez povrchových úprav	250
Místnost do 20 m^2 , Betonová podlaha a strop, cihelné stěny	400
Dtto s kobercem na podlaze	350
Místnost do 20 m^2 , koberec, podhled, lehké příčky	150
Masivní dřevo	200
Dřevěná rámová konstrukce	100

Další potřebnou veličinou je faktor setrvačnosti budovy stanovený podle

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (3.15)$$

Z podílu zisků a ztrát a faktoru setrvačnosti budovy stanovíme stupeň využití zisků. Stupeň využití zisků v topném režimu pro $\gamma_H \neq 1$

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (3.16)$$

Stupeň využití zisků v topném režimu pro $\gamma_H = 1$

$$\eta_H = \frac{a}{a+1} \quad (3.17)$$

Stupeň využití zisků v topném režimu pro $\gamma_H < 0$

$$\eta_H = \frac{1}{\gamma} \quad (3.18)$$

Provedení bilance potřeb lze provést pro charakteristický den v měsíci nebo celý měsíc.

Denní potřeba tepla pro vytápění v kWh za den (potřeba tepla zmenšená o využitelné zisky)

$$Q_{C,d} = (Q_{TR} + Q_V) - \eta_H \cdot Q_G \quad (3.19)$$

Měsíční potřeba tepla v kWh za měsíc

$$Q_{C,m} = Q_{C,d} \cdot d_m = (Q_{TR} + Q_V) \cdot d_m - \eta_H \cdot Q_G d_m \quad (3.20)$$

Měsíční potřeba tepla pro vytápění při zohlednění provozu (otopné sezóny)

$$Q_{C,m} = Q_{C,d} \cdot d_m \cdot f_H \quad (3.21)$$

Kde je

Q_G zisky (kWh),

η_H stupeň využití zisků (-),

d_m počet dnů v měsíci (den),

f_H součinitel zohledňující vytápění objektu/zóny (např. leden = 1, červenec = 0).

Roční potřebu tepla získáme součtem potřeb tepla pro jednotlivé měsíce. Příklad stanovení potřeby tepla pro vybraný měsíc je uveden na konci kapitoly.

3.3 Spotřeba energie na vytápění

Stanovení spotřeby energie (tepla) na vytápění spočívá v zohlednění ztrát při výrobě, distribuci a předávání tepla, tj. navýšení potřeby o účinnosti těchto částí soustav. Jednotlivými částmi otopné soustavy a stanovením jejich účinnosti se zabývají následující kapitoly.

3.3.1 Způsoby hodnocení zdrojů tepla podle stávajících předpisů

Mezi běžné zdroje tepla v objektech patří kotle na různé typy paliv, tepelná čerpadla, kogenerační jednotky, případně solární systémy pro podporu vytápění. Objekty mohou být napojeny na systémy centrálního zásobování teplem (CZT), kde zdroj je u výrobce (dodavatele) energie a do objektu vstupuje teplotně nosná látka. Pokud nemá teplotně nosná látka parametry vhodné pro přímé použití k vytápění budovy, připravě teplé vody nebo jiným ohřevům, je v objektu předávací stanice. Kotel jako zdroj tepla vyrábí otopnou vodu nebo páru. V běžných objektech, kde jsou kotle umístěny a navrženy pro jejich přímé zásobování teplem, jsou obvyklé teplovodní otopné soustavy. To znamená, že tyto kotle vyrábí otopnou vodu. U zdrojů v systémech CZT mohou kotle vyrábět otopnou vodu, horkou vodu či páru.

Výrobci kotlů musí při uvedení na trh splnit požadavky na své výrobky z hlediska účinnosti výroby tepla a z hlediska emisí. V rámci certifikačních zkoušek ve zkušebně jsou pro konkrétní výrobek stanoveny hodnoty účinnosti a emisí, podle kterých je kotel zařazen do tzv. emisní třídy, a tyto hodnoty jsou též uvedeny na jeho štítku. Na tyto hodnoty ale musíme pohlížet tak, že jich bylo dosaženo za ideálního stavu z hlediska výkonu, paliva, obsluhy a přívodu spalovacího vzduchu a v reálném provozu jich bude dosaženo jen občas. Hodnoty účinností a emisí jsou pro zkoušky dány příslušnými normami. Emisní limity pro kotle na pevná paliva, tj. mezní hodnoty koncentrací jednotlivých složek (CO, OGC, TZL) pro kotle do 500 kW podle způsobu dodávky paliva, druhu paliva a jmenovitého tepelného výkonu uvádí EN 303 – 5 platná od roku 2013. Podle předchozí verze výše uvedené normy z roku

1999 byly kotle rozděleny do emisních tříd 1,2 a 3. Verze normy s platností od roku 2013 již neobsahuje emisní třídy 1 a 2 a uvádí emisní třídy 3,4 a 5. Čím vyšší číslo emisní třídy, tím přísnější požadavky.

Povinnosti provozovatelů u spalovacích zařízení uvádí zákon č.201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Z hlediska účinnosti výroby tepla platí pro nové zdroje nebo zdroje rekonstruované vyhláška č. 441/2012 Sb., která uvádí povinnosti vlastníka či stavebníka.

3.3.1.1 Nový zdroj tepla nebo zdroj tepla při změně dokončené stavby

U výroby tepla nebo u kombinované výroby elektřiny a tepla je stavebník nebo vlastník výrobní povinen zajistit alespoň minimální účinnost užití energie při výrobě, která je daná vyhláškou č. 441/2012 Sb. Toto platí pro nové výrobní a pro změny dokončených staveb. Při výrobě tepla se minimální účinnost užití energie se stanoví pro kotle, spalínové kotle a solární kolektory. Minimální účinnost užití energie při výrobě se pro výrobní tepla (a elektřiny) nestanovuje, pokud se jedná o zařízení se spalovacími motory do celkového elektrického výkonu výrobní energie 90 kW, využívající jaderné palivo, využívající odpadní tepelnou energii z chemických procesů nebo určené jako náhradní nebo nouzové zdroje provozované pouze při řešení mimořádných událostí k zabezpečování nouzových dodávek energie a zdroje sloužící k uvádění výrobní tepla (nebo výrobní elektřiny) do provozu. Účinnost užití energie při výrobě je možno stanovit přímou či nepřímou metodou.

Účinnost užití energie při výrobě tepla v kotlích – přímá metoda

Účinnost výroby η_v (%) obecně je poměr tepelné energie vyrobené v kotli a energie paliva spáleného v kotli za stejnou dobu.

$$\eta_v = \frac{Q_v \cdot 100}{Q_{pal}} \quad (3.22)$$

Kde je

Q_v je teplo (tepelná energie) vyrobené v kotli (GJ),

Q_{pal} je energie paliva spáleného v kotli (GJ).

Energie spáleného paliva je dána součinem množství spáleného paliva M_{pal} (t, tis.m³) a jeho výhřevnosti Q_{ir} (MJ.kg⁻¹, MJ.m⁻³).

$$Q_{pal} = M_{pal} \cdot Q_{ir} \quad (3.23)$$

Tepelná energie vyrobená v kotlích Q_v (GJ) se stanoví na základě množství teplotnosné látky a rozdílu entalpií. Pro kotle připravující jako teplotnosnou látku vodu, tj. pro kotle teplovodní a horkovodní je tepelná energie vyrobená

$$Q_v = \frac{M_v \cdot (i_{vy} - i_{vs})}{1000} \quad (3.24)$$

Kde je

M_v množství oběhové vody proteklé kotlem (t),

i_{vy} průměrná roční nebo měsíční entalpie vody na výstupu kotle (kJ.kg^{-1}),

i_{vs} průměrná roční nebo měsíční entalpie vody na vstupu do kotle (kJ.kg^{-1}).

Entalpie (tepelný obsah) je veličina vyjadřující tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky. Není možné ji měřit přímo. Entalpii dnes označujeme písmenem h . V textu níže je použito staršího označení i v souladu s vyhláškou č. 441/2012 Sb.

Entalpie vody i (kJ.kg^{-1})

$$i = c \cdot (T - 273) \quad (3.25)$$

Kde je

c měrná tepelná kapacita vody ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$),

T teplota (K).

Tab. 3.4 Vybrané fyzikální vlastnosti vody

t ($^{\circ}\text{C}$)	50	70	90	110	130	150
p (kPa)	100	100	100	143	270	476
ρ (kg.m^{-3})	988,1	977,8	965,3	951	934,8	917
c ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	4,174	4,187	4,208	4,233	4,267	4,313

Příklad: Stanovení účinnosti výroby tepla v plynovém kotli

Za vybraný časový úsek (měsíc) bylo průtokoměrem (vodoměrem) na vratné vodě u kotle změřeno množství oběhové vody 5000 m^3 při teplotách 90/70. Jaké množství energie bylo v kotli vyrobeno?

$$M = 5000 \cdot 977,8 / 1000 = 4889 \text{ t}$$

$$i_{vy} = 4,208 \cdot (363 - 273) = 4,208 \cdot 90 = 378 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$i_{vs} = 4,187 \cdot (343 - 273) = 4,187 \cdot 70 = 293 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$Q_v = 4889 \cdot (378 - 293) / 1000 = 415,6 \text{ GJ} = 115,44 \text{ MWh}$$

(1 GJ = 0,2778 MWh, 1 kWh = 3600 kJ)

S jakou průměrnou měsíční účinností tento kotel pracoval, jestliže za sledovaný měsíc spotřeboval $14\,000 \text{ m}^3$ zemního plynu?

Výhřevnost zemního plynu $33,48 \text{ MJ/m}^3$

$$Q_{pal} = 33,48 \cdot 14\,000 = 468,72 \text{ GJ} = 130,2 \text{ MWh}$$

$$\eta_v = (115,44 \cdot 100) / 130,2 = 88,7 \%$$

U parních kotlů s výrobou páry se vyrobená energie Q_v (GJ) stanoví při výrobě přehřáté páry podle

$$Q_v = \frac{M_p \cdot (i_p - i_{nv})}{1000} \quad (3.26)$$

při výrobě syté páry podle

$$Q_v = \frac{M_{nv} \cdot (i_p - i_{nv})}{1000} \quad (3.27)$$

Kde je

M_p množství páry na výstupu z kotle (t),

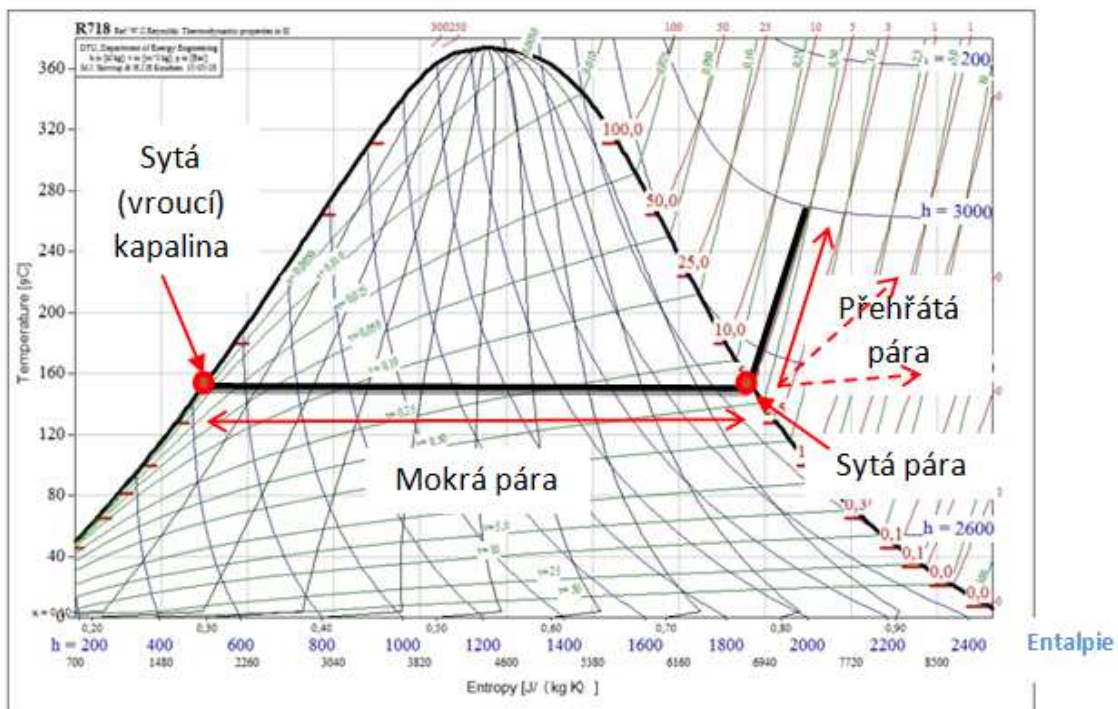
M_{nv} množství napájecí vody na vstupu do kotle (t),

i_p průměrná roční nebo měsíční entalpie páry na výstupu kotle ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),

i_{nv} průměrná roční nebo měsíční entalpie napájecí vody na vstupu do kotle ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Pára sytá (nebo také suchá nebo nasycená) je pára, která při stejném tlaku a teplotě jako má vroucí (sytá) kapalina, se kterou je ve styku, neobsahuje rozptýlené kapičky této kapaliny. Určitému tlaku odpovídá určitá teplota syté páry, viz obrázek 3.2.

Pára přehřátá je pára o stejném tlaku jako sytá, ale o vyšší teplotě nebo je to pára o stejné teplotě jako pára sytá, ale o nižším tlaku. Přehřáté páry neobsahují rozptýlené kapičky syté kapaliny a navzájem se liší stupněm přehřátí.



Obr. 3.2 h – t diagram pro vodu a páru

Pro hodnocení přímou metodou, tj. na základě tepelné energie vyrobené a energie paliva spáleného v kotli za identický časový úsek, je nutné měření množství energie vyrobené a měření množství spotřebovaného paliva.

Nepřímá metoda účinnosti užití energie u kotlů na plynná a kapalná paliva do 2,5 MW

V kotelnách se zdroji menších výkonů obvykle samostatná měřidla vyrobené energie nebo dodaného paliva nejsou. Vyhláška proto připouští použití tzv. metod nepřímých a to u kotlů do jmenovitého výkonu 2,5 MW na plynná a kapalná paliva. Předpokladem je ale rozbor spalin, z kterého bude patrný obsah kyslíku nebo oxidu uhličitého ve spalinách a jejich teplota. Účinnost výroby (%) se stanoví podle

$$\eta_v = 100 - \xi_k - 4 \quad (3.28)$$

Kde je

ξ_k ztráta citelným teplem spalin a lze ji stanovit pomocí měření obsahu CO_2 nebo jeho dopočtu z naměřeného obsahu O_2 ve spalinách za kotlem a to podle vztahu

$$\xi_k = K_1 + \frac{t_k - t_{vz}}{\omega_{\text{CO}_2}} \quad (3.29)$$

Kde je

t_k průměrná roční nebo měsíční teplota spalin na výstupu z kotle do komína, resp. teplota spalin při stanovení ztráty citelným teplem spalin ($^{\circ}\text{C}$),

t_{vz} je teplota vzduchu vstupujícího do kotle ($^{\circ}\text{C}$),

K_1 koeficient podle druhu paliva (např. ZP = 0,48).

Mezi obsahem O_2 ve spalinách a CO_2 platí následující vztahy

$$\omega_{\text{CO}_2} = \frac{\omega_{\text{CO}_2 \text{ max}}}{\lambda} \quad (3.30)$$

$$\lambda = \frac{21}{21 - \omega_{\text{O}_2}} \quad (3.31)$$

Kde je

ω_{O_2} naměřený obsah O_2 ve spalinách za kotlem (%),

λ přebytek vzduchu ve spalinách za kotlem (-),

$\omega_{\text{CO}_2 \text{ max}}$ teoretický obsah CO_2 ve spalinách při dokonalém spalování (např. pro LTO = 15,6, pro ZP = 11,9, pro uhlí černé 18,7).

U kotlů instalovaných ve spalovnách komunálního nebo průmyslového odpadu se účinnost výroby tepelné energie η_v (%) stanoví prostřednictvím kontinuálně nebo pravidelně prováděného měření v příslušném roce a to podle vztahu:

$$\eta_v = 100 - \xi_k - 8 \quad (3.32)$$

Hodnoty minimální účinnosti výroby energie, které je potřeba splnit uvádí vyhláška 441/2012 Sb. v přílohových částech.

Obecnou metodiku pro stanovení účinnosti výroby tepelné energie η_v uvádí norma ČSN 07 0305 - Hodnocení kotlových ztrát.

3.3.2 Účinnost výroby tepla v průkazu ENB

3.3.2.1 Účinnost výroby tepla v kotlích v průkazu ENB

Hodnot emisí a účinnosti uvedených na výrobních štítcích kotlů bylo dosaženo ve zkušebně při jmenovitém provozu a podmínkách v rámci certifikačních zkoušek. V rámci skutečného provozu se budou tyto hodnoty lišit a to s proměnnými hodnotami v průběhu celé provozní sezóny. V průkazu ENB je spotřeba energie v palivu dána součtem potřeby energie a ztrát. Ztráty postihují účinnost celého vytápěcího systému. Její částí je účinnost výroby zdrojem tepla a ta se uvažuje jako sezónní. Nejedná se tedy o účinnost podle štítku kotle, ale o průměrnou účinnost postihující celý provozní stav – tzn. i částečné zatížení v průběhu provozu včetně způsobu obsluhy. Pro její stanovení jsou k dispozici metody uvedené v souboru norem ČSN EN 15316 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy, pro kotle podle typu v částech:

- Část 4-1: Výroba tepla k vytápění, kotle
- Část 4-7: Výroba tepla pro vytápění, kotle pro spalování biomasy.

Nezávaznou pomůckou obsahující již hodnoty typických parametrů je TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet. Tyto hodnoty byly pro kotle plynové a na kapalná paliva stanoveny jedním z postupů uvedených v ČSN EN 15 360 – část 4-1 a pro kotle na pevná paliva podle části a 4-7.

Tab. 3.5 Vybrané hodnoty sezónní účinnosti výroby tepla kotlů na plyná a kapalná paliva vztažené k výhřevnosti paliva

Plynový kotel nebo kotel na kapalné palivo do 35 kW pouze pro vytápění	
0,76	Kotel standardní s jednostupňovým hořákem
0,78	Kotel standardní s modulovaným hořákem
0,88	Kotel nízkoteplotní s modulovaným hořákem
0,93	Kotel kondenzační s modulovaným hořákem
Plynový kotel nebo kotel na kapalné palivo do 35 kW pro vytápění a přípravu teplé vody	
0,74	Kotel standardní s jednostupňovým hořákem
0,77	Kotel standardní s modulovaným hořákem
0,85	Kotel nízkoteplotní s modulovaným hořákem
0,94	Kotel kondenzační s modulovaným hořákem
Plynový kotel nebo kotel na kapalné palivo nad 35 kW pro vytápění a přípravu teplé vody	
0,77	Kotel standardní s jednostupňovým hořákem
0,80	Kotel standardní s modulovaným hořákem
0,89	Kotel nízkoteplotní s modulovaným hořákem
0,98	Kotel kondenzační s modulovaným hořákem

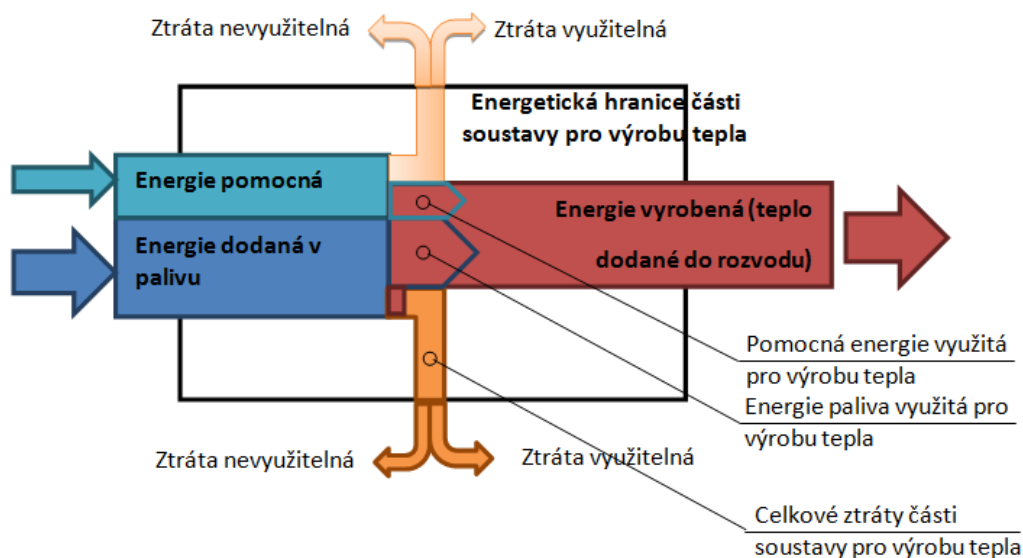
Tab. 3.6 Vybrané hodnoty sezónní účinnosti výroby tepla kotlů na pevná paliva

Kotel na pevné palivo do jmenovitého výkonu 50 kW pro vytápění nebo vytápění a přípravu teplé vody	
0,5	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 1, bez akumulace otopné vody
0,56	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 1, s akumulací otopné vody
0,59	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 2, bez akumulace otopné vody
0,66	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 2, s akumulací otopné vody
0,68	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 3, bez akumulace otopné vody

0,76	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 3, s akumulací otopné vody
0,71	Kotel s automatickým podáváním paliva, emisní třídy 3, bez akumulace otopné vody
0,79	Kotel s automatickým podáváním paliva, emisní třídy 3, s akumulací otopné vody
Kotel na pevné palivo jmenovitého výkonu 50 – 300 kW pro vytápění nebo vytápění a přípravu teplé vody	
0,54	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 1, bez akumulace otopné vody
0,60	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 1, s akumulací otopné vody
0,63	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 2, bez akumulace otopné vody
0,69	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 2, s akumulací otopné vody
0,71	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 3, bez akumulace otopné vody
0,79	Kotel s ručním podáváním paliva, emisní třídy 3, s akumulací otopné vody
0,75	Kotel s automatickým podáváním paliva, emisní třídy 3, bez akumulace otopné vody
0,87	Kotel s automatickým podáváním paliva, emisní třídy 3, s akumulací otopné vody

U elektrokotlů do jmenovitého výkonu 149 kW včetně lze sezónní účinnost výroby tepla uvažovat podle TNI 73 0331 hodnotou 0,94, u elektrokotlů jmenovitého výkonu 150 kW a více lze sezónní účinnost výroby tepla uvažovat podle TNI 73 0331 hodnotou 0,96.

Při stanovení účinnosti výroby tepla v kotli (kotlích) za využití metod podle ČSN EN 15 360 Část 4-1: Výroba tepla k vytápění, kotle nebo Část 4-7: Výroba tepla pro vytápění, kotle pro spalování biomasy je potřeba si nejprve ujasnit základní energetické toky této části soustavy a jejich bilanci, obrázek 3.3.

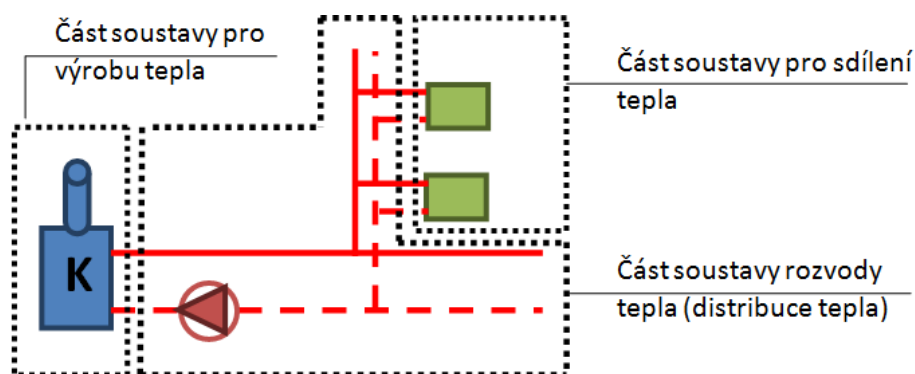


Obr. 3.3 Obecná energetická bilance části soustavy pro výrobu tepla s kotlem

Základní energetická bilance části soustavy pro výrobu tepla vyjádřená slovně:

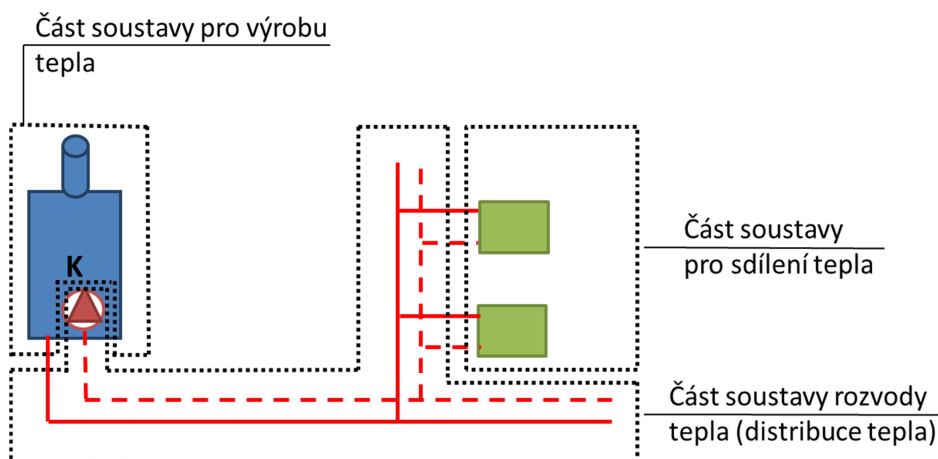
Energie dodaná v palivu = Teplo dodané do rozvodu – Pomocná energie využitá pro výrobu tepla + Celkové ztráty soustavy pro výrobu tepla

Pomocná energie v části soustavy pro výrobu tepla je energie požadovaná pro provoz hořáku, čerpadla nebo jiného zařízení, jehož provoz souvisí s částí soustavy pro výrobu tepla. Toto zařízení může, ale nemusí být součástí zdroje. Pomocná energie je obvykle elektrická energie. Zatřídění zařízení, které ke svému provozu potřebuje pomocnou energii do adekvátní části soustavy, objasňuje obrázek 3.4a.



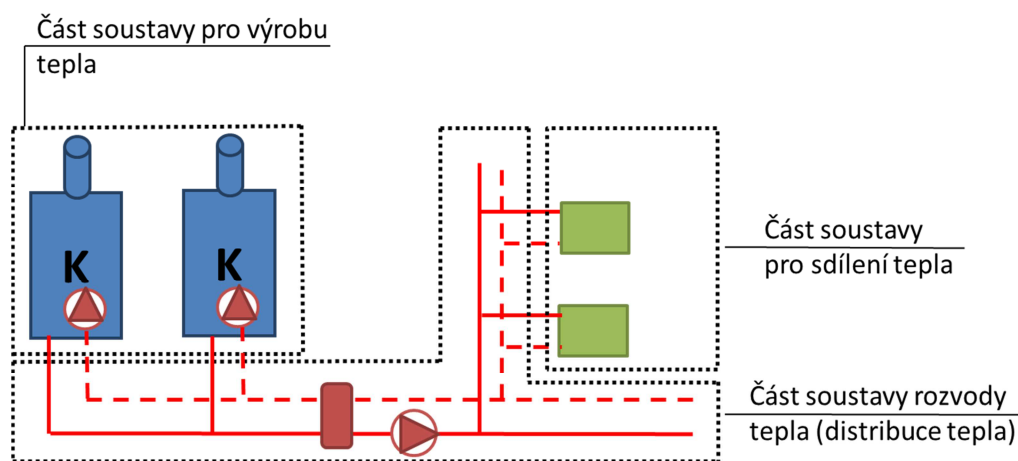
Obr. 3.4a Části soustavy z hlediska stanovení účinnosti soustavy a stanovení hranic

Oběhové čerpadlo zajišťující oběh otopné vody v rozvodech je součástí části pro distribuci tepla (obr. 3.4a).



Obr. 3.4b Části soustavy z hlediska stanovení účinnosti soustavy a stanovení hranic

Oběhové čerpadlo zajišťující oběh otopné vody v rozvodech je součástí distribuce tepla, ačkoliv je fyzicky instalováno v kotli (obr. 3.4b).



Obr. 3.4c Části soustavy z hlediska stanovení účinnosti soustavy a stanovení hranic

Oběhová čerpadla zajišťující oběh v kotlovém okruhu (pro potřebu zdroje) jsou součástí soustavy pro výrobu tepla, čerpadla zajišťující distribuci otopné vody ke spotřebičům patří do části rozvodu (obr. 3.4c).

Tepelné ztráty části soustavy pro výrobu tepla u kotlů ČSN EN 15 360 – 4-7 a 4-1 rozlišuje ztráty pláštěm kotle a ztráty komínové. Pokud jsou tyto některé ztráty využity ve vytápěném prostoru, lze je zahrnout jako zisk a snížení potřeby energie nebo jako snížení celkových tepelných ztrát soustavy.

3.3.2.2 Metody pro výpočet sezónní účinnosti kotlů

U kotlů se samočinným přívodem paliv plyných a kapalných a kotlů na biomasu se samočinnou dodávkou paliva lze použít jednu z metodik uvedených v ČSN EN 15 360 -4-1. Metody výpočtu zde uvedené jsou tři. První je tzv. typologická metoda, jejímž krokem pro stanovení sezónní účinnosti je otopné období. Tato metoda předpokládá pro své použití národní přílohu, bez níž ji nejde použít. Druhou je tzv. metoda pro výpočet účinnosti pro specifický případ. Její použití je bez omezení s časovým krokem otopné období či kratším – měsíčním, týdenním,...). Třetí je metoda cyklického zatěžování kotle, použitelná i pro stávající zařízení a využití tepla kondenzace, předpokládá měření některých vstupních parametrů.

U kotlů pro spalování biomasy s ruční dodávkou paliva lze využít dvou metod a to výpočtu účinnosti kotle pro specifický případ a metodu cyklického zatěžování uvedených v ČSN EN 15 360 -4-7.

3.3.2.3 Účinnost výroby tepla dalších vybraných zdrojů v průkazu ENB

U objektových předávacích stanic se účinnost výroby dle TNI 73 0331 do výkonu 50 kW uvažuje s hodnotou 98%, od výkonu 50 kW včetně s hodnotou 99%. Jedná se o hodnotu účinnosti pouze vlastní objektovou předávací stanice mimo soustavu CZT a její výrobu tepla. Metodiku energetického hodnocení soustav CZT uvádí ČSN EN 15316-4-5 Část:4-5 Výroba tepla na vytápění, účinnost a vlastnosti dálkového zásobování teplem a soustav o velkém objemu. Obsahuje metodiku výpočtu faktoru primární energie a energetické spotřeby předávací stanice.

U tepelných čerpadel se v energetické náročnosti počítá se sezónním topným faktorem (pro jeden rok) nebo ročním provozním topným faktorem.

Základními konstrukčními typy jsou:

- tepelná čerpadla s parním kompresorovým cyklem s elektrickým pohonem,
- tepelná čerpadla s parním kompresorovým cyklem s pohonem spalovacím motorem,
- tepelná čerpadla s parním absorpčním cyklem s tepelným pohonem.

Zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo může být venkovní vzduch, odpadní vzduch, země – nepřímý podzemní odběr tepla okruhem s rozvedem solanky nebo s rozvedem vody, přímý podzemní odběr tepla okruhem s chladičem, povrchová či podzemní voda s přímým odběrem nebo s vloženým okruhem, případně další s ohledem na technické či technologické možnosti. Teplo v základních případech ukládáme do teplotnosné látky, kterou je voda nebo vzduch.

U tepelných čerpadel se poměr topného výkonu (tepelné energie odváděné z kondenzátoru) k příkonu (energii elektrické či tepelné pohánějící pracovní okruh) vyjadřuje tzv. činitelem náročnosti, z německého překladu výkonovým číslem, v české technické označeným pojmem topný faktor COP. Topný faktor při provozu tepelného čerpadla kolísá se změnou teploty zdroje či primárního okruhu (zdrojového) a teplotou sekundární ohřívání látky, mění se tedy s provozními podmínkami. Výrobci tepelných čerpadel uvádí hodnoty COP na základě měření podle normy EN 14 511 pro konkrétní předepsané podmínky a tuto hodnotu lze využít k vlastnímu srovnávání výrobků. Od září 2015 je povinné energetické štítkování tepelných čerpadel s uvedením třídy sezónní energetické účinnosti vytápění od G do A+++.

Zařazení do třídy se provede podle typu z hlediska vyráběné teploty (nizkoteplovní nebo středně teplotní tepelné čerpadlo) a sezónní účinnosti pro vytápění, která se stanoví podle níže uvedených vztahů:

pro tepelné čerpadlo s elektrickým pohonem

$$\eta_s = (SCOP/CC) \cdot 100 - \sum F(i) \quad (3.32)$$

pro tepelné čerpadlo poháněné palivou

$$\eta_s = SPER - \sum F(i) \quad (3.33)$$

Kde je

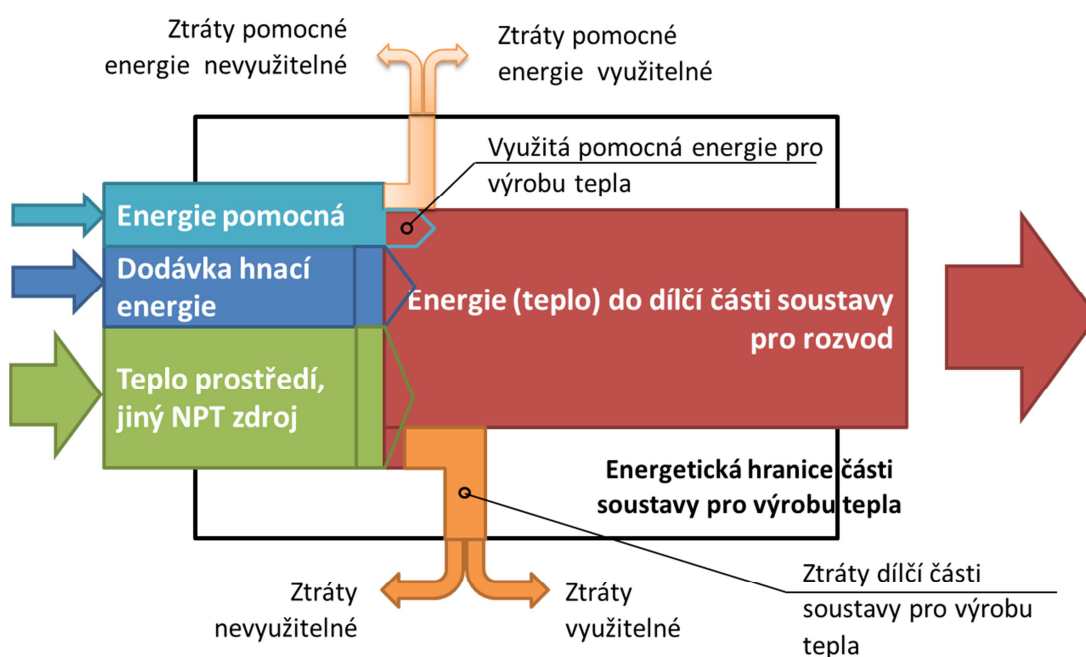
CC faktor, který vyjadřuje účinnost výroby a distribuce elektrické energie,

$\sum F(i)$ korekce účinnosti (např. u TČ země-voda 5% na oběhové čerpadlo okruhu zemního kolektoru).

Pozn.: „Nizkoteplovní aplikací“ se rozumí aplikace, při které daný ohříváč pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem poskytuje deklarovaný topný výkon při výstupní teplotě vnitřního výměníku tepla dosahující 35 °C. „Středně teplotní aplikací“ se rozumí aplikace, při které daný ohříváč pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným ohříváčem s tepelným čerpadlem poskytuje deklarovaný topný výkon při výstupní teplotě vnitřního výměníku tepla dosahující 55 °C. Zdroj: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12591-energeticke-stitky-pro-tepelna-cerpadla-od-zari-2015>

Ve vztazích 3.32 a 3.33 se objevují zkratky SCOP a SPER. SCOP je sezónní průměrný topný faktor za otopnou sezónu stanovený na základě technických parametrů daného tepelného čerpadla podle výsledků ve zkušebně a předepsaných klimatických dat podle pásma v rámci Evropy. Zahrnuje provoz pouze pro vytápění (bez přípravy teplé vody). Má zahrnovat spotřebu energie v čase. Kdy tepelné čerpadlo není v aktivním provozu. Jedná se o hodnotu sloužící ke srovnání výrobků. SPER je sezónní koeficient primární energie používaný pro tepelná čerpadla s pohonem tepelným.

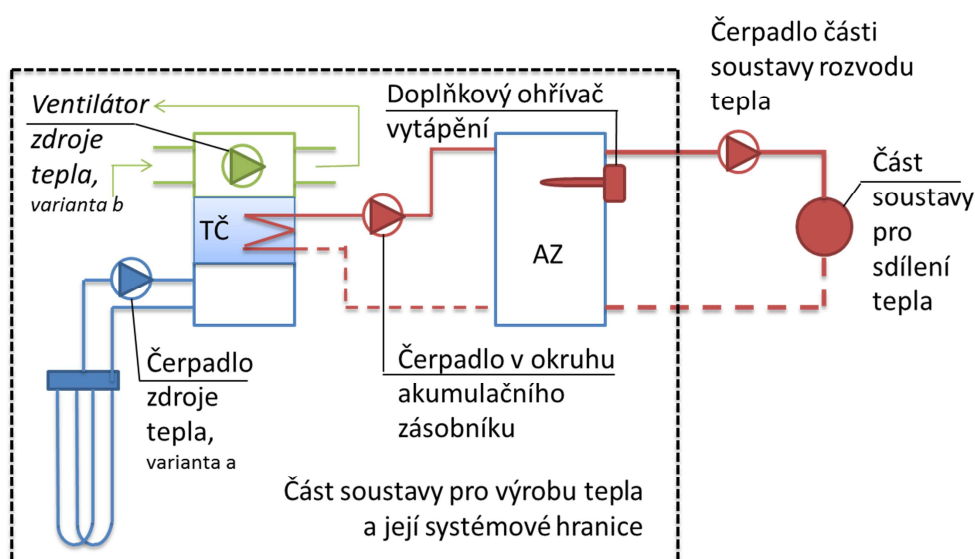
Metodiku stanovení energetické potřeby a účinnosti s tepelnými čerpadly jako zdrojem uvádí ČSN EN 153616-4-2. Podle vybrané metodiky uvedené v této normě lze stanovit pro část soustavy pro výrobu tepla s tepelným čerpadlem sezónní topný faktor SPF. Jedná se o podíl dodané roční energie do části soustavy rozvodu pro vytápění a/nebo přípravy teplé vody a celkové roční dodávky hnací energie plus celkové roční dodávky pomocné energie.



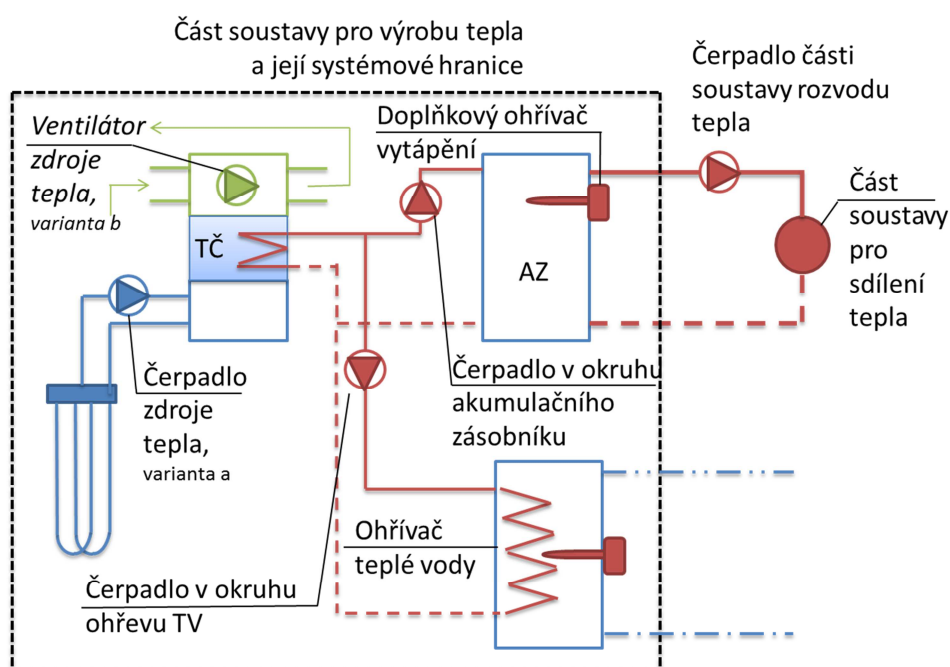
Obr. 3.5 Tepelná čerpadla – obecná energetická bilance dílčí soustavy pro výrobu tepla

Obecná energetická bilance (obrázek 3.5) části soustavy pro výrobu tepla s TČ vyjádřena slovně:

Dodávka hnací energie = Teplu do dílčí části soustavy pro rozvod + Ztráty dílčí části soustavy pro výrobu tepla – Teplu prostředí nebo jiného zdroje pro TČ – Využitá pomocná energie pro výrobu tepla.



Obr. 3.6 Stanovení hranic části soustavy pro výrobu tepla s TČ pro vytápění



Obr. 3.7 Stanovení hranic části soustavy pro výrobu tepla s TČ pro vytápění a přípravu teplé vody

U tepelných čerpadel s elektrickým pohonem zahrnuje dodávka hnací energie elektrickou energii pro pohon kompresoru, pro instalované doplňkové ohřivače (pokud jsou), pro regulační a bezpečnostní prvky, dílčí dodávku pro čerpadla a ventilátory pro přepravu teplotnosné látky v rámci části soustavy pro výrobu, případně energii pro odtávání výparníku nebo pro jiná pomocná zařízení. U ztrát tepla se zanedbávají ztráty pláštěm TČ, uvažují se ale ztráty integrovaného nebo externího vyrovnávacího zásobníku a ztráty z propojovacích potrubí do tohoto zásobníku. Je-li příprava teplé vody (TV), uvažují se ztráty ohřivače (zásobníku) TV a opět propojovacích potrubí mezi zařízeními chladivového okruhu TČ a tímto

ohřivačem (zásobníkem). Pomocná energie zahrnuje pouze energii, která není zahrnuta v COP. Jak je výše uvedeno, dodávka pro oběhová čerpadla propojovacích rozvodů, ventilátor, atd. je zahrnuta v dodávce hnací energie, u tepelného čerpadla s elektrickým pohonem v běžném případě by tedy již byla nulová, obrázky 3.6 a 3.7.

ČSN EN 15316-4-2 pro výpočet energetické náročnosti dílčí části soustavy pro výrobu tepla popisuje dvě metody – zjednodušenou na základě typologie soustavy a podrobný výpočet na základě údajů o účinnosti prvků – tzv. intervalovou metodu. Výpočtové hodnocení soustavy s tepelnými čerpadly, které vychází z intervalové metody ve zjednodušeném výpočtovém postupu a jedním z výstupů je právě sezónní topný faktor SPER uvádí TNI 73 0351.

TNI 73 0331 ENB – Typické hodnoty pro výpočet uvádí jednoduché stanovení hodnoty ročního provozního topného faktoru $COP_{H,gen}$.

$$COP_{H,gen} = f_{h,cop} \cdot COP_H \quad (3.34)$$

COP_H je jmenovitý topný faktor podle ČSN EN 14 511. Pro tepelná čerpadla s elektrickým pohonem jsou typické níže uvedené jmenovité topné faktory za daných podmínek zdroje:

- Země/voda (solanka/voda) 0/35 $COP_H = 4,3$
- Spodní voda/voda (voda/voda) 10/35 $COP_H = 5,1$
- Venkovní vzduch/voda 2/35 $COP_H = 3,1$

V uvedeném odstavci jsou teploty před lomítkem (0,10,2) teplotami zdroje energie, teplota za lomítkem (35) je teplotou otopné vody (odvodu energie). COP_H udává výrobce zařízení na základě zkoušek a níže v tabulce uvedené hodnoty součinitele ročního provozu $f_{h,cop}$ platí pouze pro topný faktor COP_H stanovený za podmínek 0/35 pro země/voda, 10/35 voda/voda a 2/35 venkovní vzduch/voda.

Tab. 3.7 Součinitel ročního provozu $f_{h,cop}$ pro vytápění

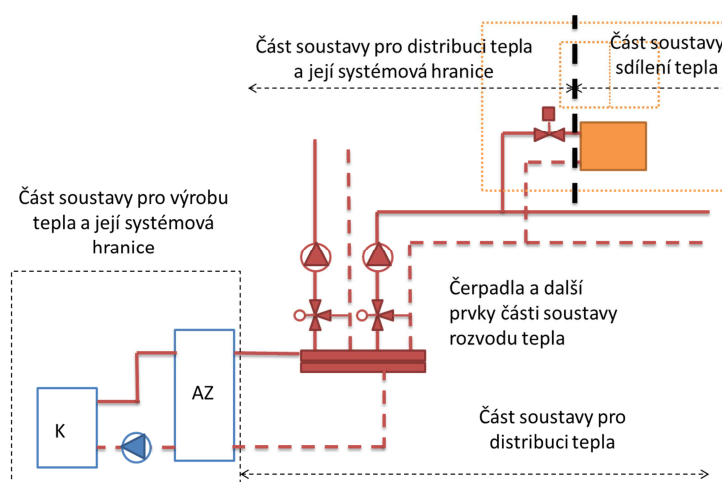
Návrhová teplota otopné vody	TČ vzduch/voda	TČ země/voda	TČ voda/voda
35	1,02	1,07	1
45	0,93	0,94	0,89
55	0,83	0,81	0,76

Tab. 3.8 Součinitel ročního provozu $f_{h,cop}$ pro přípravu teplé vody

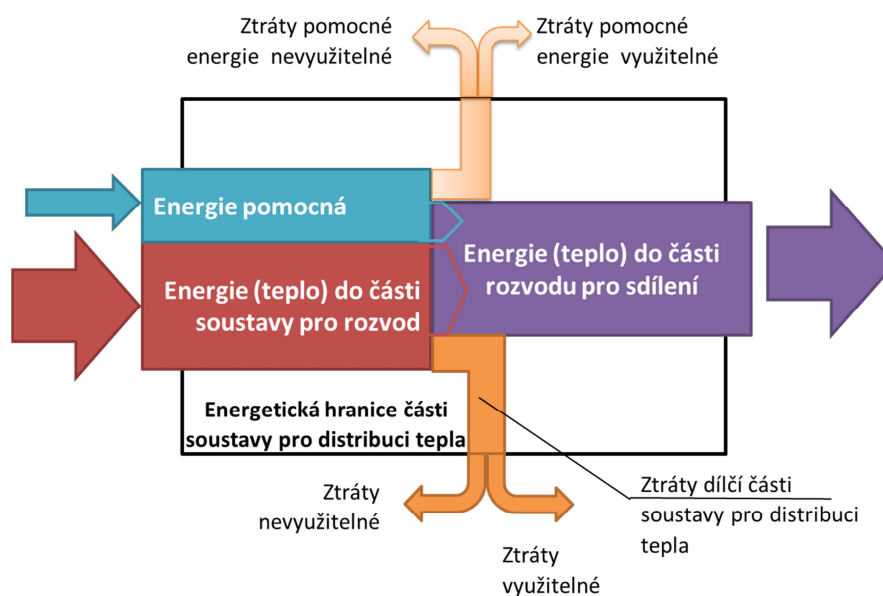
Teplota teplé vody	TČ vzduch/voda	TČ země/voda	TČ voda/voda
40	0,94	0,86	0,80
50	0,77	0,66	0,61
60	0,60	0,45	0,42

3.3.3 Účinnost rozvodů tepla (distribučního systému energie) pro vytápění v průřezu ENB

Metodiky výpočtu uvádí pro soustavy s otopnou vodou jako teplotonosnou látkou ČSN 15 316-2-3 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy: Rozvody tepla pro vytápění. Norma uvádí tři metody výpočtu. Metodu detailní, k níž jsou potřeba přesné údaje o potrubí, délkách, izolacích, údaje o parametrech oběhových čerpadel a další. Druhou je zjednodušená metoda a třetí je tabulková, k jejímuž použití stačí minimum údajů o vlastním řešení rozvodů – hodnotu roční ztráty tepla v kWh lze odečíst z tabulky podle vytápěné plochy a teplotního rozdílu otopné vody. Na obrázku 3.8 je schéma stanovení hranic soustavy pro distribuci tepla. Obrázek 3.9 ukazuje obecnou energetickou bilanci dílčí soustavy distribuce tepla.



Obr. 3.8 Stanovení hranic části soustavy pro distribuci tepla



Obr. 3.9 Obecná energetická bilance dílčí soustavy distribuce tepla

Ztráty v rozvodech závisí na teplotě otopné vody, teplotě okolního prostředí a stavu a druhu izolace. Ztráty nejsou dány jen potrubím, ale i ventily (či jinými armaturami) a závěsy. Energie ztrátou potrubí (kWh) se obecně stanoví

$$Q_{dis} = \sum \psi \cdot (\theta_m - \theta_i) \cdot (L + L_e) \cdot t = q \cdot (L + L_e) \cdot t \quad (3.35)$$

Kde je

- Ψ lineární součinitel prostupu tepla (-),
- L délka potrubního úseku stejné dimenze (m),
- L_e ekvivalentní délka na jiné prvky (m),
- θ_m střední teplota otopné vody (°C),
- θ_i teplota okolí (°C),
- t doba provozu (s).

Pro izolované potrubí se lineární součinitel prostupu tepla Ψ stanoví při zanedbání odporu přestupu tepla mezi látkou a stěnou trubky a materiálu potrubí (viz. EN 15 316-2-3) pro potrubí volně vedené takto

$$\psi = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{h_a \cdot d_a}} \quad (3.36)$$

Kde je

- d_i vnitřní průměr potrubí (m),
- d_a vnější průměr potrubí s izolací (m),
- h_a součinitel přestupu tepla z povrchu izolace (lze uvažovat $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$),
- λ_D součinitel tepelné vodivosti izolace ve ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Pro potrubí izolované zabudované lze lineární součinitel prostupu tepla stanovit podle

$$\psi = \frac{\pi}{2 \left[\frac{1}{\lambda_D} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\lambda_E} \ln \frac{4 \cdot z}{d_a} \right]} \quad (3.37)$$

Kde je

- z hloubka uložení potrubí pod povrchem (m),
- λ_E součinitel tepelné vodivosti materiálu, ve kterém je potrubí zabudováno ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Požadavky na tepelné izolace potrubí a další zařízení otopných soustav uvádí vyhláška č.193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu.

Ztráty neizolovaných závěsů lze do výpočtu zahrnout navýšením délky, tj. zavedením tzv. délky ekvivalentní, která činí 15 % délky potrubí. Ekvivalentní délkou se zahrnou i ventily, jsou-li neizolované do průměru 100mm je ekvivalentní délka 1,5m, jsou-li izolované je ekvivalentní délka 4m.

V případě, že je potrubí vedeno v nevytápěných prostorách, jsou veškeré ztráty nevyužitelné. Ztráty při vedení ve vytápěných prostorách lze využít k vytápění.

Účinnost systému distribuce, je-li podíl pokrytí teplovodním systémem 100%

$$\eta_{dis} = \frac{Q_H}{Q_H + Q_{dis,nrbl}} \quad (3.38)$$

Kde je

Q_H potřeba energie na vytápění podle ČSN EN ISO 13790 s měsíčním krokem výpočtu,
 $Q_{dis,nrbl}$ nevyužitelná ztráta rozvodů.

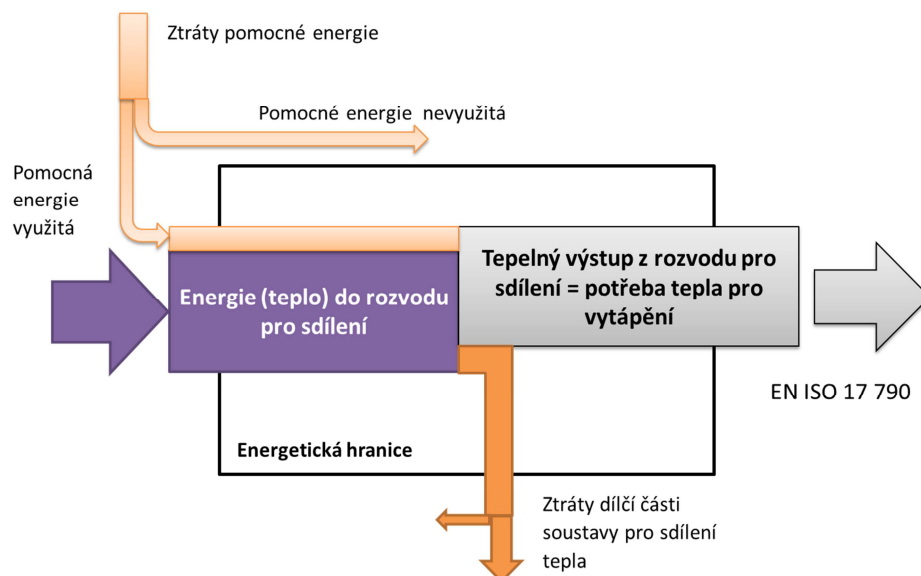
Jsou-li izolace provedeny v souladu s vyhláškou č. 193/2007 Sb., uvádí TNI 73 0331 přímo hodnotu účinnosti distribuce energie pro teplovodní systémy podle střední teploty otopné vody.

Tab. 3.9 Účinnost distribuce tepla pro teplovodní systémy podle TNI 73 0331

θ_m	η_{dis}
≥ 60	0,85
$\geq 45 < 60$	0,87
< 45	0,89

3.3.4 Účinnost sdílení tepla pro vytápění v průřezu ENB

Na obrázku 3.10 je uvedena obecná energetická bilance dílčí soustavy pro sdílení tepla.



Obr. 3.10 Obecná energetická bilance dílčí soustavy pro sdílení tepla

Obecná energetická bilance části soustavy pro sdílení tepla vyjádřená slovně:

Tepelná energie do části pro sdílení = potřeba tepla pro vytápění – využitá pomocná energie + ztráty části pro sdílení tepla

Ztráty tepla v části soustavy pro sdílení tepla jsou tvořeny ztrátou způsobenou nestejným rozložením teploty, ztrátou způsobenou polohou otopné plochy a ztrátou způsobenou regulací vnitřní teploty. Ztráta způsobená nestejným rozložením teploty postihuje především tyto stavy - vyšší teplota je u místnosti pod stropem, což způsobuje vyšší tepelnou ztrátou touto konstrukcí, umístěním těles pod prosklenými konstrukcemi s vyššími teplotními parametry přináší vyšší teplotu u oken a zvýšení ztráty, mezi tělesem a chladnou konstrukcí za jeho zadní stranou dochází ke zvýšení tepelného toku. Ztráta polohou při zabudování otopného zařízení se uvažuje u podlahového, stěnového či stropního vytápění do konstrukce k exteriéru nebo zemině. Ztráta regulací zohledňuje nemožnost reálného systému regulace udržet ideálně konstantní teplotu interiéru i při nahodilých změnách (zisky v interiéru, z exteriéru). Ke stanovení tepelných ztrát části soustavy pro sdílení jsou doporučeny dvě výpočtové metody - metoda s uplatněním účinnosti a metoda s uplatněním ekvivalentního zvýšení vnitřní teploty. Metody jsou popsány v ČSN EN 15 316-2-1: Sdílení tepla pro vytápění. Ztráty tepla části soustavy pro sdílení jsou

$$Q_{en} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_H \quad (3.39)$$

Kde je

Q_H potřeba energie pro vytápění,
 η_{em} celková účinnost pro vytápění,
 f činitelé pro hydraulickou rovnováhu, přerušovaný provoz a účinek sálání (relevantní pouze pro sálavé vytápění). Jejich hodnoty jsou uvedeny tabulkově v příloze výše uvedené normy.

Celková účinnost soustavy se stanoví

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]} \quad (3.40)$$

Kde

jednotlivé dílčí účinnosti jsou hodnotami pro svislý teplotní profil, regulaci teploty, ztráty dílů u zabudovaných otopných prvků. Přílohové tabulky opět uvádějí hodnoty těchto dílčích účinností a to ve vazbě na výšku místnosti. Tato metoda a tabulkové hodnoty jsou využity v TNI 73 0331.

3.4 Pomocná energie systému vytápění

Pomocná energie v části pro distribuci

U distribuce se jedná především o oběhová čerpadla zajišťující oběh otopné vody a prvky měření a regulace. Přednostními postupy pro stanovení energie pro oběhová čerpadla podle ČSN EN 15316-2-3 jsou zjednodušená metoda a tabulková metoda. Z nich vychází i výpočty průměrného ročního příkonu oběhových čerpadel systému vytápění uvedený v TNI 73 0331. Bez bližších informací o soustavě lze využít tabulkových hodnot ročních elektrických příkonů, je nutné ale znát způsob řízení provozu čerpadel (regulace otáček).

Pomocná energie v části pro sdílení

V části pro sdílení se jedná o pomocnou energii pro regulační zařízení, případně další oběhová čerpadla nebo o ventilátory pro nucenou cirkulaci vzduchu u otopného zařízení.

Pomocná energie systému vytápění

Celkovou hodnotu pomocné energie ve vytápění v kWh lze zjednodušeně stanovit

$$Q_{aux} = 0,001(\Sigma P_{\zeta} + \Sigma P_{MaR} + \Sigma P_{pom})t \quad (3.41)$$

Kde

jsou sečteny průměrné roční příkony oběhových čerpadel, akčních členů systému měření a regulace a ostatních částí (ventilátory v části sdílení, oběhová čerpadla v části sdílení,...),

t roční doba provozu teplovodního systému.

3.5 Typické užívání budovy – parametry s vazbou na vytápění

Pro energetickou náročnost je nutné znát vnitřní a vnější teploty, obsazenost, dobu užívání a další údaje u budov či jejich zón podle typu. U vnitřních teplot v režimu vytápění může docházet k útlumům v době, kdy budova není užívána a i toto se zohledňuje. Přehled parametrů typických užívání budov lze nalézt v příloze B TNI 73 0331.

Tab. 3.10 Výběr parametrů pro typické užívání budovy budov pro bydlení

Objekt	Zóna	Začátek provozu	Konec provozu	Provozní doby užívání zóny	Počet provozních dní za rok	Obsazenost
RD	Obytné prostory	0	24	17 h.den ⁻¹	365	40 m ² .osobu ⁻¹
BD	Obytné prostory	0	24	17 h.den ⁻¹	365	31 m ² .osobu ⁻¹

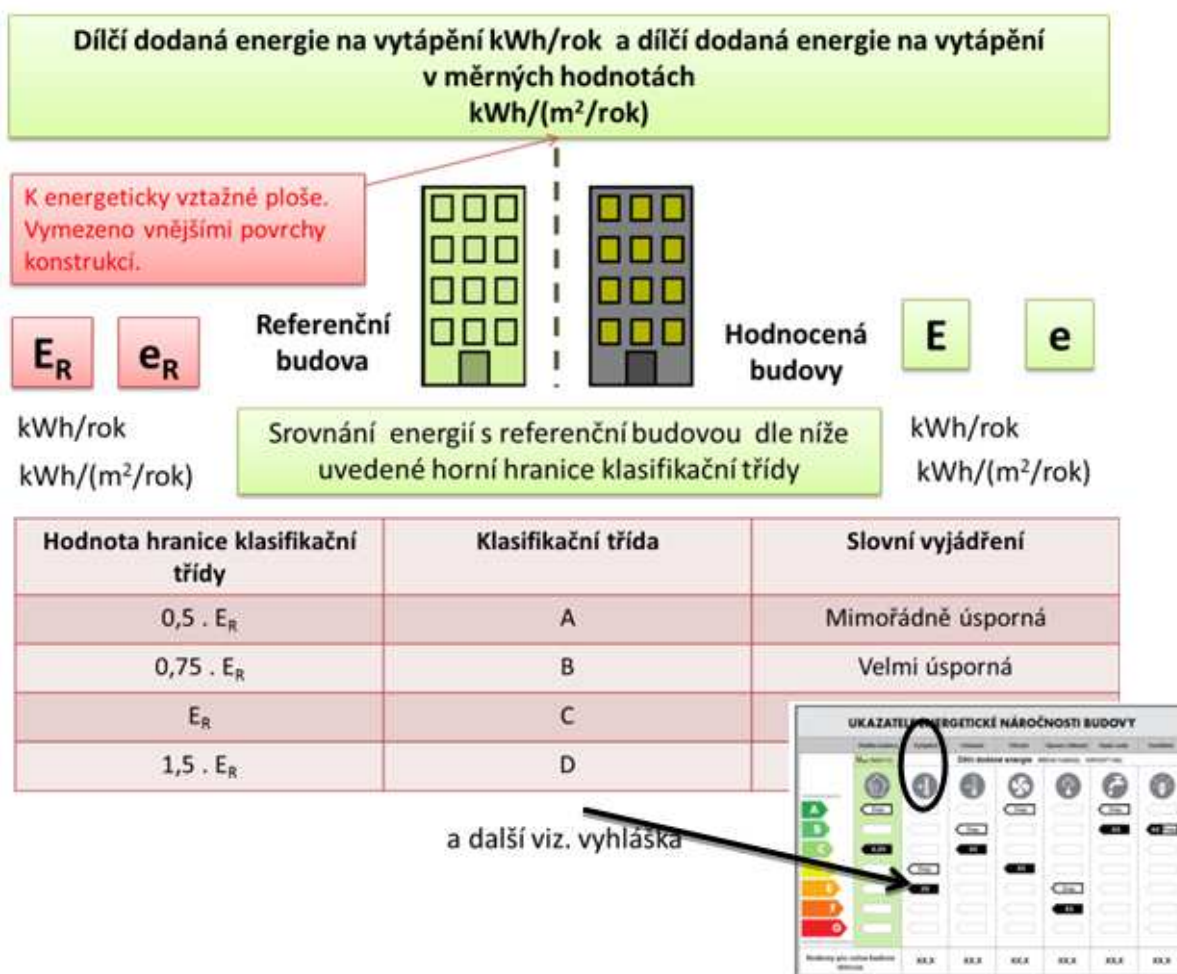
Objekt	Zóna	Vnitřní teplota pro režim vytápění	Vnitřní teplota pro režim vytápění v útlumu	Provozní doba vytápění zóny
RD	Obytné prostory	20	18	24
BD	Obytné prostory	20	18	24

3.6 Referenční budova v průkazu ENB a hodnoty ve vztahu k vytápění

Parametry a hodnoty vlastností konstrukcí a technických systémů pro referenční budovu (představující nákladově optimální úroveň ve vztahu k energetické náročnosti) jsou uvedeny v příloze č.1 vyhlášky 78/2013 Sb. Parametry, které nejsou vyhláškou stanoveny jako referenční, uvažujeme shodné s hodnocenou budovou. Z hlediska stanovení potřeby tepla pro vytápění je referenční budova charakteristická:

- vnitřní tepelnou kapacitou 165 kJ.m⁻².K⁻¹,
- celkovou propustností slunečního záření 0,5,
- účinností ZZT při nuceném větrání (průtok do 7500 m³.h⁻¹) 60%,
- účinností ZZT pi nuceném větrání (průtok nad 7500 m³.h⁻¹) 40%.
- účinnost výroby zdrojem tepla je u referenční budovy 80 %, účinnost distribuce tepla 85 % a účinnost sdílení energie na vytápění 80 %,
- referenční budova nevyrábí a nevyužívá energii z OZE.

Po zhodnocení dodané energie na vytápění u hodnocené budovy a referenční budov zjistíme klasifikační třídu ukazatele „vytápění“ obrázek 3.11.

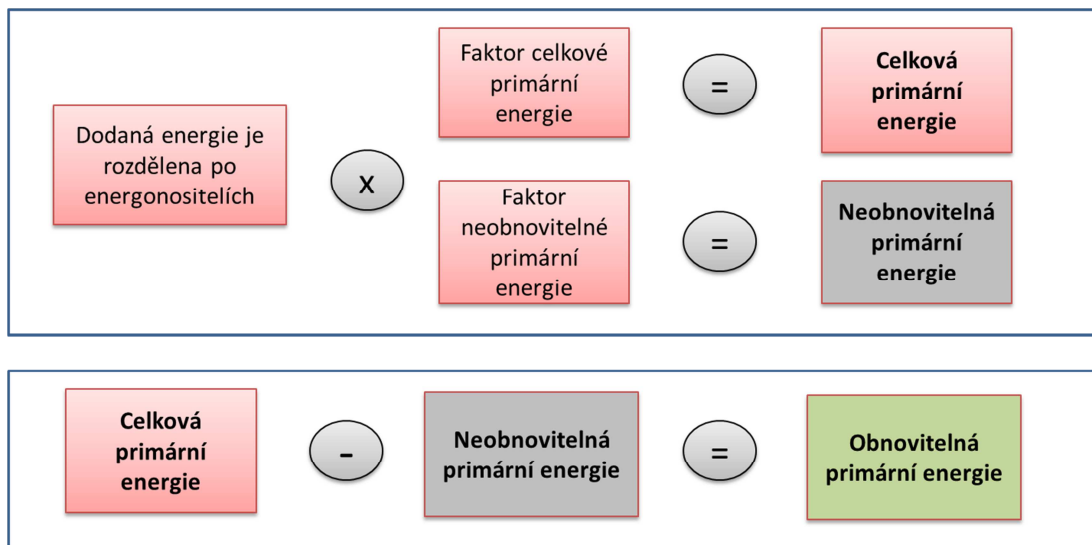


Obr. 3.11 Dílčí dodaná energie na vytápění

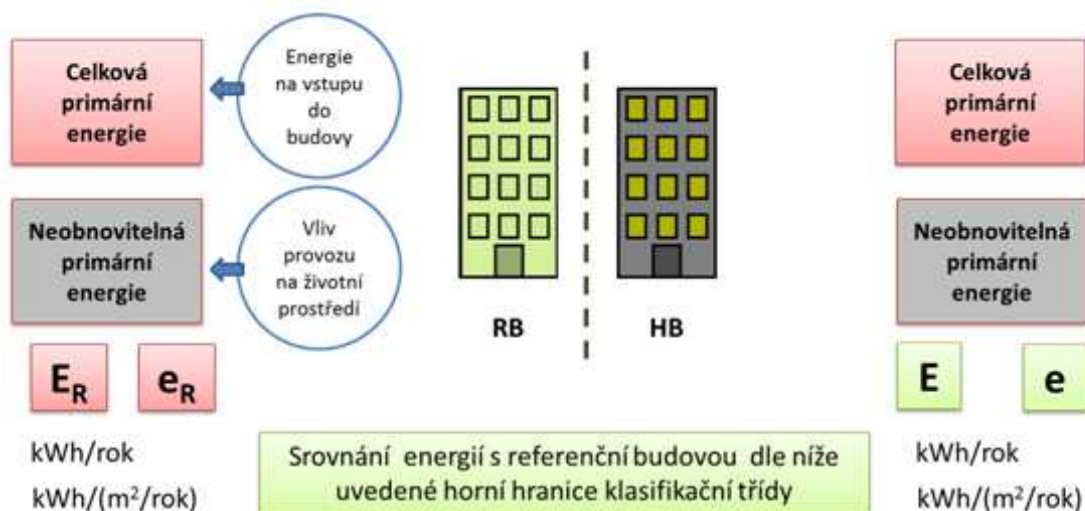
3.7 Celková primární energie, neobnovitelná primární energie

Dodanou energii je nutno rozdělit na jednotlivé energonositele. Energonositel podle definice je hmota nebo jev, který mohl být použit k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů. Konkrétně si pod energonositelem můžeme představit palivo (zemní plyn, uhlí, dřevo,...), elektrickou energii, energii prostředí, dodávku ze soustavy CZT, atd.

Vynásobením dodané energie po energonositelích příslušnými faktory celkové primární energie a následným součtem získáme hodnotu celkové primární energie. Vynásobením dodané energie po energonositelích příslušnými faktory neobnovitelné primární energie a následným součtem získáme hodnotu neobnovitelné primární energie (tabulka 3.12). Ačkoliv se tento výpočet již neprovádí zvlášť pro každý z ukazatelů energetické náročnosti jako u dodané energie, ale výstup je za všechny systémy dohromady (pro budovu jako celek), je vytápění jedním ze zásadních ukazatelů, který může hodnocení primárních neobnovitelných energií významně ovlivnit. Metodika hodnocení je opět ve srovnání s referenční budovou, jejíž faktory neobnovitelné primární energie jsou dány vyhláškou, obrázky 3.12 a 3.13.



Obr. 3.12 Celková primární energie, neobnovitelná primární energie, obnovitelná primární energie



Hodnota hranice klasifikační třídy	Klasifikační třída	Slovní vyjádření
$0,5 \cdot E_R$	A	Mimořádně úsporná
$0,75 \cdot E_R$	B	Velmi úsporná
E_R	C	Úsporná
$1,5 \cdot E_R$	D	Normální



Obr. 3.13 Hodnocení primární energie

Tab. 3.11 Faktor neobnovitelné primární energie pro referenční budovu pro vytápění a pomocnou energii

Typ spotřeby	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Vytápění	1,1
Pomocné energie (čerpadla, regulace apod.)	3,0

Dle tabulky 3.11 se předpokládá, že referenční budova je vytápěna například plynem či uhlím (tedy neobnovitelným zdrojem s faktorem 1,1) a elektrickou energií pro pohon zařízení soustav (pomocnou energii) odebírá ze sítě (faktor 3).

Tab. 3.12 Faktory celkové primární energie a neobnovitelné primární energie pro hodnocenou budovu - výběr

Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1
Propan-butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0,0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-3,2	-3,0
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,1	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% a nejvýše 80% podílem obnovitelných	1,1	0,3

zdrojů		
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

Jak je zřejmé z výše uvedené tabulky 3.12, hodnocení neobnovitelné primární energie může zásadně ovlivnit palivo a jeho výroba z obnovitelných zdrojů, což úzce souvisí právě i s vytápěním objektů a výrobou tepla i pro jiné účely (např. příprava teplé vody). Blízkým cílem je výstavba domů s téměř nulovou spotřebou energie, jehož hodnocení je dáno vyhláškou č.78/2013 Sb. Ze současné legislativy vyplývá, že členské státy EU mají do 31.12.2020 zajistit, aby byly všechny nové budovy navrhovány s téměř nulovou spotřebou energie a do 31.12.2018, aby byly takto navrhovány budovy vlastněné či užívané orgány veřejné moci, obrázek 3.14. Výjimkou budou objekty památkově chráněné, budovy pro náboženské účely, dočasně či krátkodobě užívané domy a definované průmyslové provozy.

Klasifikace budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Vyhláška č. 78/2013 Sb.

Budova s téměř nulovou spotřebou energie

stavební řešení

$$U_{em,R} = U_{em,N,20,R} = f_R \cdot \left[\frac{\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{em,R} \right]$$

0,7

Aby byla budova s téměř nulovou spotřebou energie musí při hodnocení splnit srovnání s referenční hodnotou **neobnovitelné primární energie** sníženou o 25% pro rodinný dům, 20 % pro bytový dům a 10 % pro ostatní budovy.

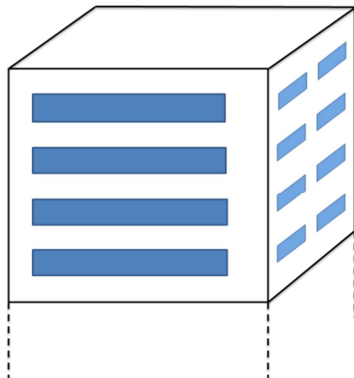
PENB

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]
	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}
Stěna vnější	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,45 až 0,30
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	0,9

Obr. 3.14 Požadavky na dům s téměř nulovou spotřebou energie

3.8 Příklad stanovení dodané energie pro vybraný měsíc

Objekt víceúčelový – zóna administrativní. Varianta I větrání přirozené, varianta II větrání nucené.



Energeticky vztažná plocha 800 m²

Prosklené plochy S: 24m², J: 24m², V: 78 m², Z: 78 m²

Měrná ztráta prostupem H_T : 250,2 W.K⁻¹ (všechny konstrukce splňují součinitel prostupu tepla doporučený pro pasivní budovy), pod zónou je vytápěný prostor
Ztráta prostupem pro oblast s návrhovou venkovní teplotou -12 °C $Q = 250,2 * (20 + 12) = 8006$ W

Obr. 3.15 Budova, příklad

Měrná ztráta větráním pro variantu I (přirozené):

Obsazenost kanceláří oddělených je 14 m².osoba⁻¹, v prostoru je určen pro 57 osob. Na jednu osobu pro kanceláře je průtok čerstvého vzduchu 35 m³.hod⁻¹.

Průtok vzduchu $V = 35 * 57 = 1995$ m³.hod⁻¹.

Měrná ztráta větráním $H_T = 0,34 * 1995 = 678$ W.K⁻¹.

Teplo pro ohřev vzduchu při výměně bez ZZT (oknem) pro návrhovou venkovní teplotu $Q = (\rho * c) / 3600 * V * \Delta\Theta = 0,34 * 1995 * 32 = 21706$ W.

Měrná ztráta větráním pro variantu II (nucené):

Obsazenost kanceláří oddělených je 14 m².osoba⁻¹, v prostoru je určen pro 57 osob. Na jednu osobu pro kanceláře je průtok čerstvého vzduchu 35 m³.hod⁻¹.

Průtok vzduchu $V = 35 * 57 = 1995$ m³.hod⁻¹.

Měrná ztráta větráním $H_T = 0,34 * 1995 = 678$ W.K⁻¹. Uvažováno bude s účinností ZZT 60 %.

Teplo pro ohřev vzduchu při výměně se ZZT (výměníkem) pro návrhovou venkovní teplotu $Q = (\rho * c) / 3600 * V * \Delta\Theta = 0,34 * 1995 * (20 - 7,2) = 8682$ W.

Jak je z výše uvedeného zřejmé, při zajištění odpovídajících a identických hygienických podmínek na pracovištích z hlediska větrání je pokles požadavků výkonu o cca 13 kW využitím ZZT z odváděného vzduchu.

Potřeba tepla pro hodnocenou budovu a vybraný měsíc: leden

Provozní doba za den 11 hod (7:00 – 18:00), vnitřní teplota mimo provozní dobu 16 °C, počet provozních dnů v roce 257. Počet provozních dnů v lednu 22. Průměrná venkovní teplota v lednu - 1,3. Teplota za ZZT $t_{zst} = - 1,3 + 0,6 * (20 + 1,3) = 11,48$ °C.

Potřeba tepla pro krytí ztrát prostupem pro den s provozem pro charakteristický den v měsíci lednu

$$Q_{TR} = H_{TR} (t_e - t_i) \frac{h}{1000} + H_{TR} (t_e - t_{it}) \frac{(24 - h)}{1000} \quad (3.42)$$

$$Q_{TR} = 250,2 * (-1,3 - 20) * 0,011 + 250,2 * (-1,3 - 16) * 0,013 = -114,89 \text{ kWh.den}^{-1}$$

Ve dnech mimo provoz pro tlumené vytápění

$$Q_{TR} = 250,2 * (-1,3 - 16) * 0,024 = -103,88 \text{ kWh.den}^{-1}$$

Celkem pro měsíc leden

$$Q_{TR} = -114,89 * 22 + (-103,88) * 9 = -3462,57 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Potřeba tepla pro krytí ztrát větráním pro charakteristický den pro leden pro variantu I větrání okny

$$Q_{VE} = H_V (t_e - t_i) \frac{h_{pr}}{1000} \quad (3.43)$$

$$Q_{VE} = 678 * (-1,3 - 20) * 0,011 = -158,85 \text{ kWh.den}^{-1}$$

$$Q_{VE} = -158,85 * 22 = -3494,82 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Potřebu tepla pro krytí ztrát větráním lze uvažovat i n-násobnou výměnou vzduchu, pro kanceláře se udává v TNI 73 0331 hodnotu intenzity větrání $0,3 \text{ hod}^{-1}$, toto ovšem budeme uvažovat pro 24 hodin. H_V pro vzduchový objem budovy 1920 m^3 v tomto případě bude $H_V = 1920 * 0,3 * 0,34 = 196 \text{ W.K}^{-1}$

$$Q_{VE} = 196 * (-1,3 - 20) * 0,024 = -100,19 \text{ kWh.den}^{-1}$$

$$Q_{VE} = -100,19 * 22 = -2204,3 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Tuto hodnotu bychom sice mohli uvažovat v PENB, způsob větrání však nezajistí odpovídající hygienické požadavky v daném pracovním prostředí.

Potřeba tepla pro krytí ztrát větráním pro charakteristický den pro leden pro variantu II nucené větrání

$$Q_{VE} = 678 * (11,48 - 20) * 0,011 = -63,54 \text{ kWh.den}^{-1}$$

$$Q_{VE} = -63,54 * 22 = -1397,93 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Zisky vnější

Dávka dopadajícího záření za měsíc na skloněnou plochu 90° s orientací S: $25,3 \text{ kWh.m}^{-2}$, J: $74,4 \text{ kWh.m}^{-2}$, V,Z: $46,9 \text{ kWh.m}^{-2}$, propustnost oken – trojskla budeme uvažovat $0,47$. Stínící prvky nejsou v režimu vytápění uvažovány.

$$Q_{sol} = \sum F_p \cdot F_s \cdot I_i \cdot A_i \cdot g_i \quad (3.44)$$

$$Q_{sol} = 0,85 * 24 * 0,47 * 8,2 / 31 + 0,85 * 24 * 0,47 * 34,2 / 31 + 2 * 78 * 14,1 / 31 * 0,47 * 0,85 = 41,46 \text{ kWh.den}^{-1}$$

$$Q_{sol} = 41,46 * 31 = 1285,27 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Zisky vnitřní

Od osob 5 W.m^{-2} s časovým podílem přítomnosti osob $0,25$, z vybavení 10 W.m^{-2} s časovým podílem $0,25$.

$$Q_H = q_{oc} \cdot A_p \cdot \frac{f_{oc} \cdot 24}{1000} + q_{ap} \cdot A_p \cdot \frac{f_{ap} \cdot 24}{1000} \quad (3.45)$$

$$Q_H = 5 \cdot 800 \cdot 0,25 \cdot 24 / 1000 + 10 \cdot 800 \cdot 0,25 \cdot 24 / 1000 = 72 \text{ kWh.den}^{-1}$$

$$Q_H = 72 \cdot 22 = 1584 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Zisky celkem

$$Q_{H,Sol} = 1285,27 + 1584 = 2869,27 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Podíl zisků a ztrát

Pro variantu I

$$\text{Ztráty celkem} - 3462,57 + (-3494,82) = -6957,39 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Pro variantu II

$$\text{Ztráty celkem} - 3462,57 + (-1397,93) = -4860,5 \text{ kWh.měsíc}^{-1}$$

Podíl zisků a ztrát

Pro variantu I

$$2869,27 / 6957,39 = 0,412$$

Pro variantu II

$$2869,27 / 4860,5 = 0,59$$

Pokud vyjde poměr zisků ztrát na hodnotou 1, lze předpokládat potřebu pro chlazení.

Časová konstanta budovy, $C = 400 \text{ kJ.K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ podlahové plochy (lze předpokládat více akumulčních hmot, budova převážně betonová)

$$\tau = \frac{C / 3600}{H_{TR} + H_{VE}} \quad (3.46)$$

$$= (400 \cdot 800 / 3,6) / (250,2 + 678) = 95,8 \text{ hod.}$$

Faktor setrvačnosti

$$a = 1 + 95,8 / 15 = 7,39$$

stupeň využití zisků

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (3.47)$$

$$= (1 - 0,412^{7,39}) / (1 - 0,412^{7,39+1}) = 0,999$$

Potřeba tepla pro vytápění pro leden pro variantu I

$$Q_{C,m} = (Q_{TR,m} + Q_{VE,m}) - \eta_H \cdot Q_{sol,H} = 6957,39 - 0,999 \cdot 2869,27 = 4091 \text{ kWh}$$

Měrná hodnota pro leden je $5,114 \text{ kWh.m}^{-2}$

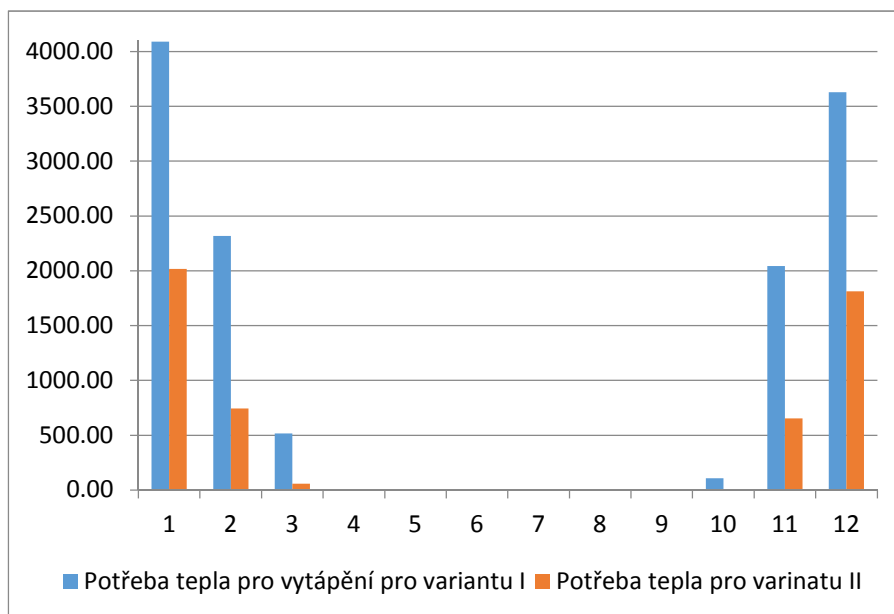
Potřeba tepla pro vytápění pro leden pro variantu II

$$Q_{C,m} = (Q_{TR,m} + Q_{VE,m}) - \eta_H \cdot Q_{sol,H} = 4860,5 - 0,991 \cdot 2869,27 = 2015 \text{ kWh}$$

Měrná hodnota pro leden je $2,519 \text{ kWh.m}^{-2}$

Obdobně se stanoví další měsíce. Potřeba tepla pro referenční budovu se stanoví pro hodnoty identicky, ale zadány musí být parametry dané vyhláškou 78/2013 Sb. Parametry, které nejsou ve vyhlášce uvedeny, budou identické s hodnocenou budovou.

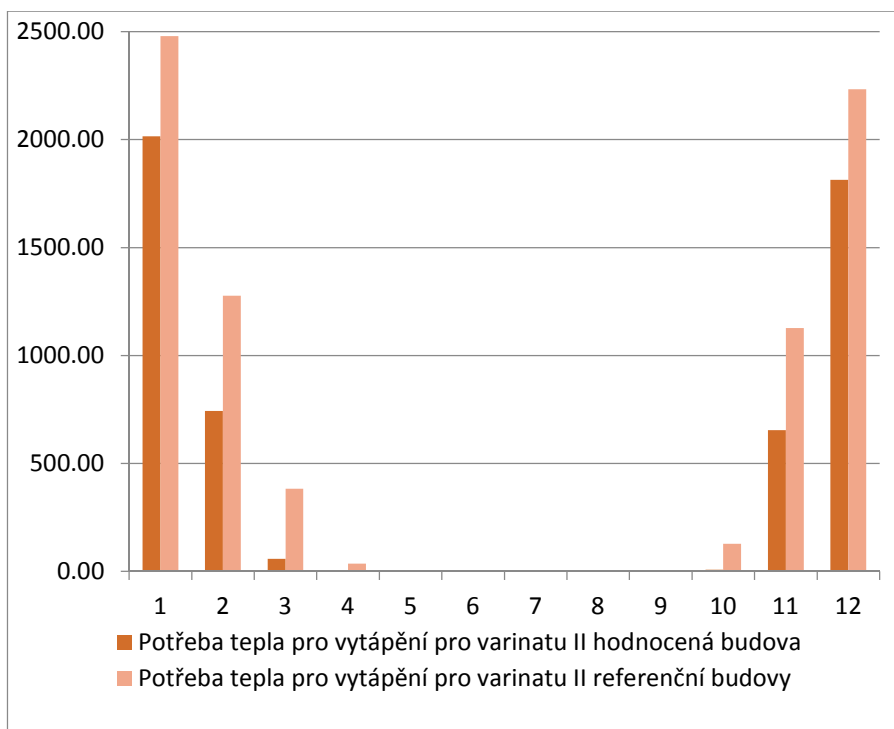
Potřeba tepla pro vytápění - srovnání varianty a větráním okny a větráním nuceným (se ZZT)



Obr. 3.16 Potřeba tepla pro vytápění - srovnání varianty a větráním okny a větráním nuceným (se ZZT)

Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že způsob větrání výrazně ovlivní potřebu tepla na vytápění.

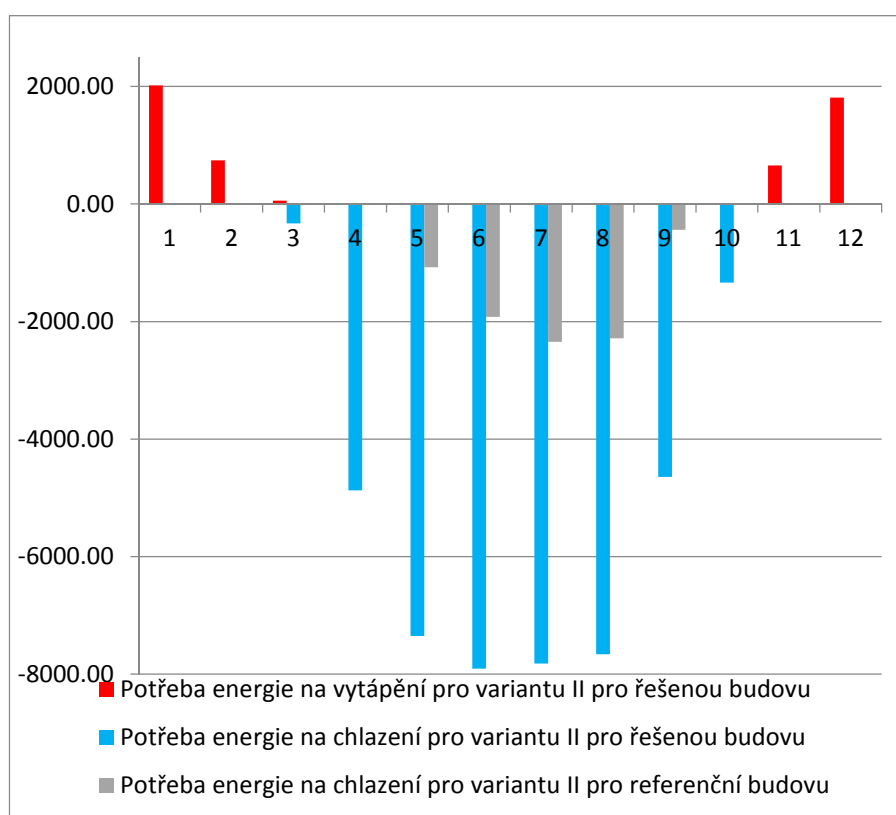
Roční potřeba energie pro vytápění u řešené budovy daná součtem měsíčních hodnot pro variantu I je 12 708 kWh pro větrání okny a 5 293 kWh pro nucené větrání se ZZT.



Obr. 3.17 Srovnání potřeby energie na vytápění u řešené a referenční budovy ve variantě II

Jsou-li hodnoty u řešené budovy nižší než u referenční (jako je tomu v grafu), je technické řešení z hlediska energií pro vytápění úsporné. Budova je po stavební stránce řešena jako pasivní a vhodná je varianta s nuceným větráním.

Potřeba energie na vytápění je ve variantě II nízká jak vzhledem ke stavebnímu řešení (konstrukce vyhoví požadavkům pro pasivní domy) a nucenému větrání, tak k poměrně vysokým ziskům a dobré akumulaci schopnosti konstrukcí. Situace je ale obrácení pro letní období. Bez využití stínících prostředků je naopak zisková energie vysokou zátěží. Na obrázku 3.18 je zřejmé, že bez využití slunečních stínících prvků potřeba energie na chlazení výrazně vyšší než potřeba energie na vytápění. U referenční budovy na chlazení je referenční hodnota činitele clonění 0,2, zatímco u hodnocené budovy v tomto příkladu nejsou tyto prvky uvažovány.



Obr. 3.18 Potřeba energie na vytápění a chlazení

Pro vytápění/chlazení jsou v této budově využívány stropní fancoily se čtyřtrubkovým napojením. Pro stanovení spotřeby tepla pro vytápění je nutné stanovit účinnosti (výroby, distribuce a sdílení).

Účinnost sdílení u tohoto systému bude 0,85. Účinnost distribuce s ohledem na střední teplotu otopné vody 0,87. Zdrojem tepla bude objektová předávací stanice s celkovým výkonem nad 50 kW (s ohledem na požadavek výkonu pro vytápění, pro přípravu teplé vody, pro ohřev větracího vzduchu). Její účinnost 0,99. Celková účinnost $0,85 * 0,87 * 0,99 = 0,73$

Spotřeba energie na vytápění pro variantu II by činila

$$5\,293 * 1 / 0,73 = 7251 \text{ kWh}$$

Pomocnou energii pro vytápění bude tvořit oběhové čerpadlo větve a ventilátory ve stropních jednotkách.

$$Q = 0,001 * 46 * 11 * 180 + 0,001 * 23 * (24 - 11) * 180 = 145 \text{ kWh.rok}^{-1} \text{ pro jeden fancoil}$$

$$\text{Počet fancoilů } 20, \text{ tj. celkově za rok } 20 * 145 = 2900 \text{ kWh.rok}^{-1}$$

$$\text{Průměrný příkon čerpadla na okruhu vytápění } 46,2 \text{ W, } Q = 0,001 * 46,2 * 24 * 180 = 200 \text{ kWh.rok}^{-1}$$

$$\text{Celková spotřeba elektrické energie } 2900 + 200 = 3100 \text{ kWh}$$

Pomocná energie u budovy s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění nabývá na významu, zvláště při technickém řešení, když je v rámci místnosti nucená distribuce tepla. Řešení je však vhodné s ohledem na letní provoz (chlazení).

Celková dodaná energie na vytápění pro řešenou zónu je

$$7251 + 3100 = 10351 \text{ kWh, to činí } 12,94 \text{ kWh.rok}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Literatura

- [1] Vyhláška č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
- [2] ČSN EN 15 316 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 4-1: Výroba tepla k vytápění, kotle, část 4-7: Výroba tepla pro vytápění, kotle pro spalování biomasy
- [3] ČSN EN 15316-2-3 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 2-3: Rozvody tepla pro vytápění
- [4] ČSN EN 15316-2-1 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 2-3: Sdílení tepla pro vytápění
- [5] ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení, ÚNMZ, 2009.
- [6] TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet, ÚNMZ, 2013.

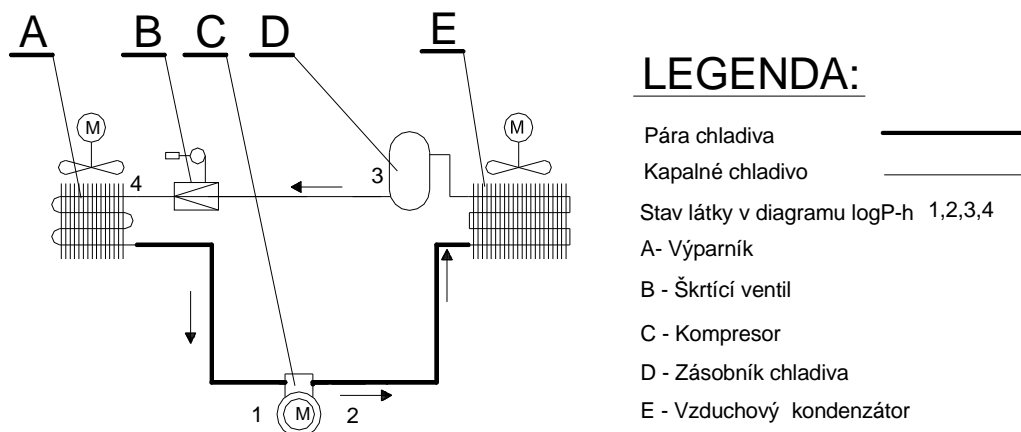
4 Ing. Marian Formánek, Ph.D.: Chlazení a osvětlení

Tato kapitola je zaměřena na výklad teorie chlazení a světlení. Bez pochopení teoretických základů není možné provádět správně energetické hodnocení chlazení a osvětlení budov.

4.1 Chlazení – chladicí okruh

4.1.1 Jednostupňový okruh log p-h

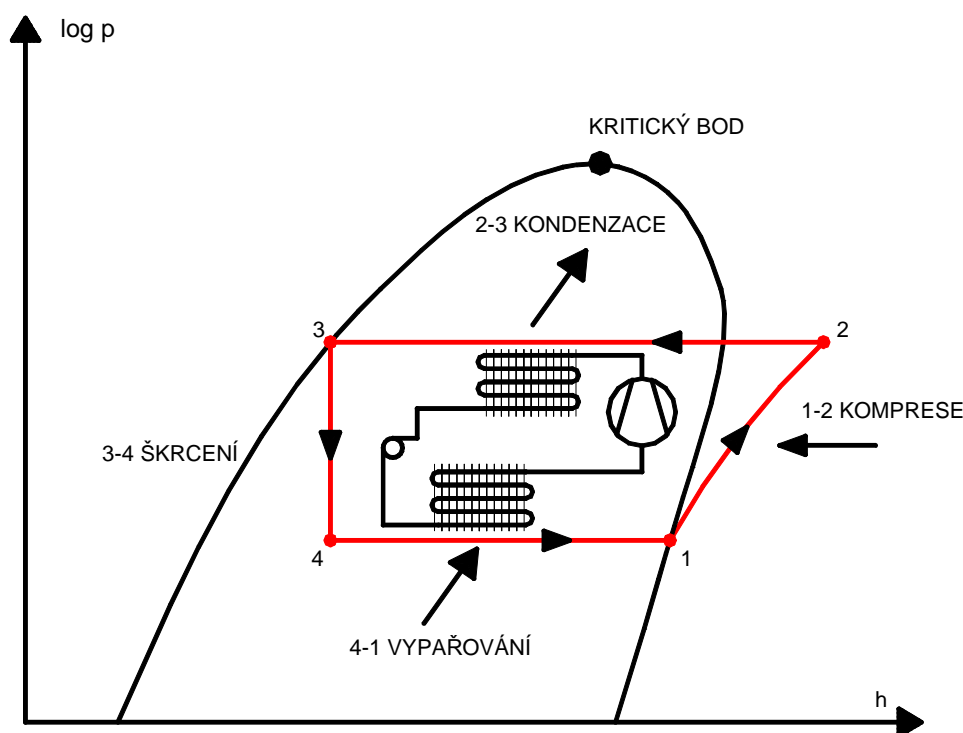
Chladicí zařízení založená na principu vypařování chladiva se skládají minimálně ze čtyř základních komponentů. Jsou to kompresor, kondenzátor, expanzní orgán a výparník. Tyto komponenty jsou pro chladicí okruh naprosto zásadní. Ke chladicímu okruhu pak patří i další součásti. Chladicí zařízení pak funguje následovně: Kompresor nasává vypařené chladivo (přehřáté páry chladiva) z výparníku a stlačuje ho na kondenzační tlak. V kondenzátoru dochází ke zchlazení par chladiva a tím k jeho zkapalnění. Zkapalněné chladivo potom prochází přes expanzní orgán, který udržuje tlakový rozdíl mezi stranou kondenzační a výparníkem a je nastříkáváno do výparníku. Ve výparníku dochází k vypařování chladiva tj. ke změně skupenství, k vypaření je zapotřebí tepla a toto teplo je odebíráno z chlazeného prostoru. Tento děj lze vysvětlit i na principu vzniku vodní páry. Ke vzniku vodní páry je zapotřebí vodu ohřát (voda potřebuje přijmout teplo), na teplotu 100 °C. Bod varu vody je právě 100 °C při atmosférickém tlaku. Chladivo je chemická látka s bodem varu okolo -35 °C. Po nastříknutí do výparníku se začne prudce vypařovat, protože teplota v prostoru vysoko převyšuje bod varu chladiva. Teplo potřebné k uvedení chladiva do varu se odebírá právě z chlazeného prostoru. Tento cyklus se stále opakuje tak, až je chlazený prostor vychlazen na požadovanou teplotu. Z popisu je patrné, že funkce chlazení je složitá a stanovení jednotlivých komponent je funkčně závislé na komponentách ostatních. K popisu chladicího cyklu slouží diagram chladiva v souřadnicích log p-h. Diagram log p-h je pro každé chladivo jedinečný a nelze jej proto zaměňovat. Pro návrh musíme použít diagram k chladivu, které bude skutečně v chladicím zařízení použito.



Obr. 4.1 Schéma chladicího okruhu se vstřikovacím ventilem

Nejjednodušší typ chladicího okruhu je chladicí zařízení s kapilárou jako s expanzním orgánem, které se používá u malých výkonů jako nejzákladnější verze zapojení chladicího okruhu. U zařízení vyšších výkonů se používají různé druhy expanzních ventilů. Ty se volí na základě požadavků kladených na chladicí okruh. Tento typ zapojení je popsán na obr. 4.1. Do

chladících okruhů se vstřikovacím ventilem je vřazen zásobník chladiva. Na obr. 4.1 jsou znázorněny jednotlivé základní komponenty chladicího zařízení a čísla, která označují stavy v diagramu log p-h. Následující obr. 4.2 znázorňuje teoretický oběh chladicího zařízení v diagramu log p-h. Mezi body 1 - 2 probíhá stlačení par chladiva v kompresoru. Tento děj probíhá jako adiabatický. Pro zjednodušení se uvažuje jako izoentropické stlačení par chladiva. Stav 2 - 3 znázorňuje kondenzaci chladiva. Kondenzace probíhá za konstantního tlaku, děj se tedy nazývá izobarický. Body 3 - 4 znázorňují nástřik chladiva do výparníku. Tento děj probíhá za konstantní entalpie a nazýváme jej dějem izoentalpickým. Vypařování chladiva u azeotropních chladiv ve výparníku probíhá mezi body 4 - 5, rovněž za konstantního tlaku (se snižující se teplotou se snižuje i tlak) a teploty. Znázorněný děj je teoretický, v reálných obězích definujeme ještě přehřátí a podchlazení chladiva.



Obr. 4.2 Teoretický chladicí oběh v diagramu log p-h

4.1.1.1 Diagram log p-h

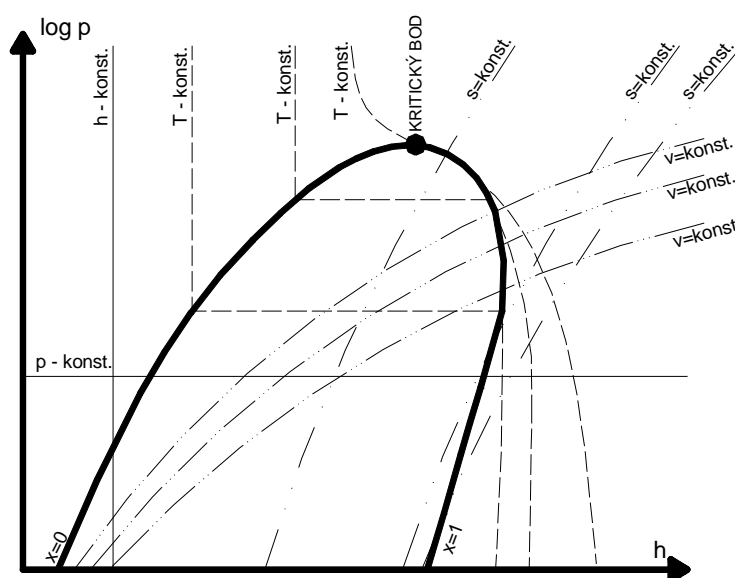
Diagram log p-h slouží k zobrazování fyzikálních jevů. Dále je využíván k návrhům chladících okruhů a další problematice. Každé chladivo má svůj jedinečný diagram, ale diagramy jsou si podobné. Abychom lépe vysvětlili děje v diagramu log p-h, popíšeme si jednotlivé křivky v následující kapitole. Na obr. 4.3 je znázorněn diagram log p-h s vyznačením hlavních křivek. Křivka vždy znázorňuje nějaký termodynamický děj a na této křivce je daná veličina konstantní. Pro lepší názornost si zopakujeme základní termodynamické děje.

Pokud tlak p (Pa) = konstantě, potom termodynamický děj nazýváme dějem izobarickým, obdobným způsobem můžeme nazvat ostatní děje a to:

teplota	T (K)	= konstantě – děj izotermický
entalpie	h (J.kg ⁻¹)	= konstantě – děj izoentalpický

entropie s ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) = konstantě – děj izoentropický
objem v (m^3) = konstantě – děj izochorický

Těmito teoretickými termodynamickými ději se popisuje chladicí okruh v diagramu log p-h. Tučně zvýrazněné křivky nám označují stav chladiva a dělíme je na dolní mezní křivku, kde $x = 0$ a horní mezní křivku, kde $x = 1$. Místo, kde se setká horní mezní křivka s dolní mezní křivkou, nazýváme kritický bod. V tomto bodě se chladivo vyskytuje ve třech skupenstvích současně a to ve skupenství pevném, kapalném a plynném. Kritický bod se dá jinak nazvat trojným bodem. U vody je trojný bod $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$. Jako každý diagram má i diagram log p-h dvě osy, vodorovnou osu X a svislou osu Y. Jako vodorovná osa X je vynesena entalpie, svislá osa Y vyjadřuje logaritmickou stupnici tlaku. Pro tlak je použita logaritmická stupnice z důvodu potřeby vynesení velkého rozsahu na malé úsečce.

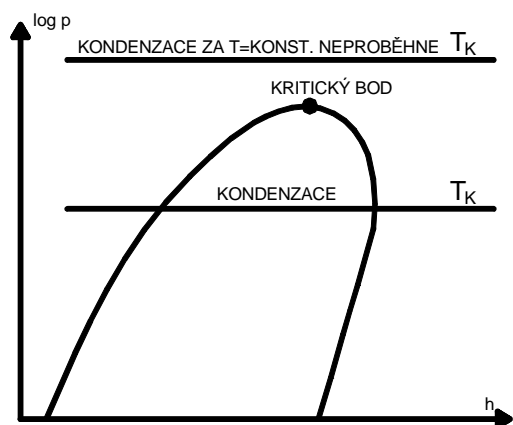


Obr. 4.3 Diagram log p-h

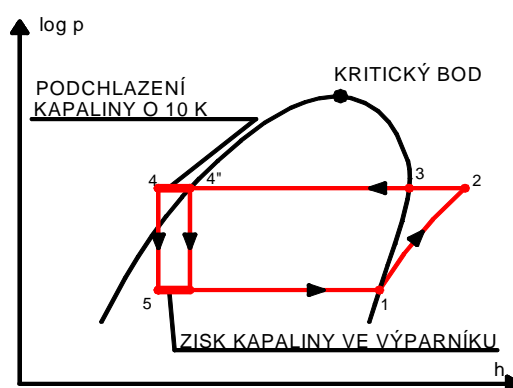


Obr. 4.4 Stavy chladiva v diagramu log p-h

Na obr. 4.4 jsou znázorněny stavy chladiva tak, jak jsou v diagramu log p-h. Vlevo od dolní mezní křivky se nachází podchlazená kapalina chladiva. Vpravo od horní mezní křivky se nachází přehřáté páry chladiva. Mezi dolní mezní křivkou a horní mezní křivkou se nachází směs syté kapaliny a syté páry. Čím více se blížíme dolní mezní křivce, převládá ve směsi



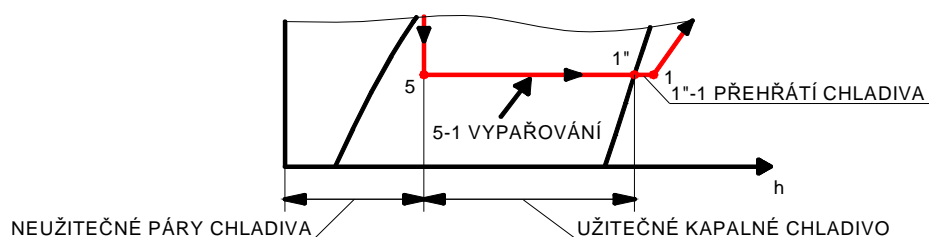
Obr. 4.6 Kondenzace v log p-h



Obr. 4.7 Podchlazení kapaliny

4.1.3 Vypařování chladiva, přehřátí chladiva log p-h

Vypařování chladiva probíhá ve výparníku. K vypařování se odebrává teplo z ochlazovaného prostoru a tím se prostor ochladí. Do výparníku proudí chladivo přes škrtkový prvek (kapilára, expanzní ventil apod). Prakticky je do výparníku nastříkována směs kapalného chladiva a mokré páry. Fyzikální jev škrčení můžeme nahradit dějem izoentaltickým, kdy se entalpie rovná konstantě. Kapalně chladivo se odpařuje mezi stavy 5 a 1“. Mokrá pára nespotebuje žádné teplo z chlazeného prostoru a je bez užitku odvedena do kompresoru. Proces vypařování končí na horní mezní křivce, kdy páry chladiva jsou přesně na mezi sytosti. Tento stav je nestabilní a ohrožoval by kompresor kapalinovým rázem nasáté zbytkové kapaliny chladiva. Abychom se tomuto ohrožení vyhnuli, syté páry chladiva přehřejeme. Přehřátí chladiva probíhá od horní mezní křivky bod 1“ do bodu 1 a to v úseku mezi koncem výparníku a sacím ventilem na ventilové desce kompresoru viz obr. 4.8. Pro hermetické a polohermetické kompresory nemá přehřátí přesáhnout 20 K až 25 K. Při správné volbě a nastavení expanzního orgánu by ke kapalinovým rázům docházet nemělo. Přesto je s nimi nutno počítat u mrazicích zařízení, kde teplota vychlazovaného prostoru kolem $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se přibližuje vypařovací teplotě chladiva a může nastat situace, kdy se všechno chladivo nastříknuté do výparníku nestačí vypařit. Pro tyto případy se do sacího potrubí vkládají tzv. expandéry, které mají těmto situacím zabránit a zamezit nasátí kapalného chladiva kompresorem. Princip expandéru je jednoduchý, jedná se o prvek, který má několikanásobně větší průřez, než sací potrubí. Díky tomu dochází v tomto prvku ke snížení rychlosti proudění a k doexpandování kapalného chladiva.



Obr. 4.8 Vypařování chladiva v diagramu log p-h

4.1.4 Kondenzace vypařování chladiva na reálném chladicím zařízení

V kapitole 4.1 byl popsán teoretický chladicí okruh. Do reálných okruhů nám vstupuje podchlazení chladiva, přehřátí chladiva, volba kondenzační teploty a volba vypařovací teploty. Všechno toto nám výrazně ovlivňuje výsledný reálný chladicí okruh, jeho chladicí výkon, příkon kompresoru a celkové chování chladicího zařízení.

4.1.4.1 Volba kondenzační teploty

Volba kondenzační teploty t_k (°C) může výrazně ovlivnit chod zařízení. Pro vzduchové kondenzátory platí:

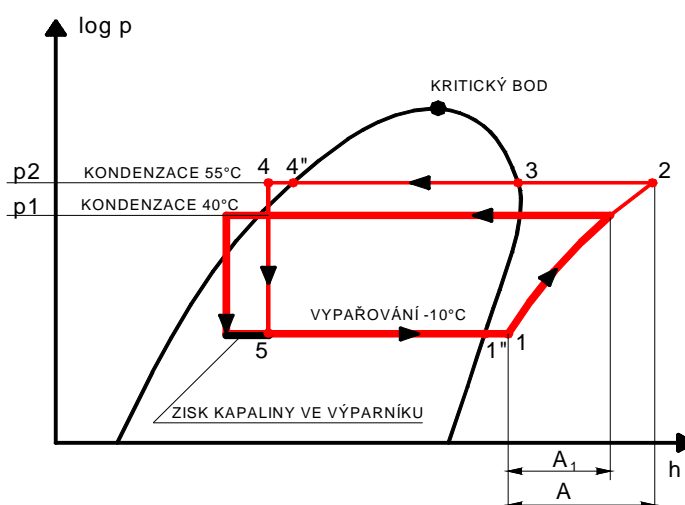
$$t_k = t_e + \Delta t \quad (4.1)$$

Kde je

t_e teplota venkovního vzduchu (°C),

Δt teplotní spád na kondenzátoru (K).

Pro vzduchové kondenzátory se uvažuje $\Delta t = 8$ K až 15 K. Menší hodnoty platí pro vzduch. Volí se pro nižší vypařovací teploty. U vzduchem chlazených kondenzátorů nastává problém s kolísáním venkovní teploty, případně teploty ve strojvnách, která v letních měsících stoupá i přes 40 °C. Dalším problémem je zanášení kondenzátoru nasávaným prachem a nečistotami. Udržení projektované nižší teploty kondenzace má výrazný vliv na spotřebu elektrické energie. Proto je nutné vzduchem chlazené kondenzátory pravidelně čistit a strojvny chlazení musí být řádně větrány. Z těchto důvodů se výkon kondenzátoru navrhuje min. o 30 % vyšší, než je potřeba. Stabilita kondenzace u vodou chlazených kondenzátorů je lepší, vzniká však problém se zanášením kondenzátoru vodním kamenem a je proto nutné instalovat úpravny vody. V neposlední řadě vodou chlazené kondenzátory mají dražší provoz. Odpadní teplo vznikající v kondenzátorech lze velmi dobře využívat k ohřevu např. teplé vody nebo při vytápění.



Obr. 4.9 Vliv kondenzační teploty

Z obr. 4.9 je patrné, že snížením kondenzační teploty se sníží práce A (W) dodávaná kompresorem a zvýší se množství kapaliny ve výparníku. Literatura uvádí, že pokles t_k o 1 (K)°C způsobí (nárůst) pokles chladicího výkonu o 1%. Pokles t_k o 1 K představuje snížení spotřeby elektrické energie o 2 až 3 %.

4.1.4.2 Volba vypařovací teploty

Při volbě vypařovací teploty je třeba si uvědomit, že pokles t_k o cca 1 °C poklesne chladicí výkon zařízení o cca 4 %. Vypařovací teplotu t_o (°C) určíme dle vztahu

$$t_o = t_p - \Delta t \quad (4.2)$$

Kde je

t_p teplota okolního prostředí (°C),
 Δt teplotní spád na výparníku (K).

Pro volbu tepelného spádu Δt platí následující zásady:

- pro velké Δt je malá plocha výparníku a vnitřní relativní vlhkost prostoru je nízká
- pro malé Δt je velká plocha výparníku a vnitřní relativní vlhkost prostoru je vysoká

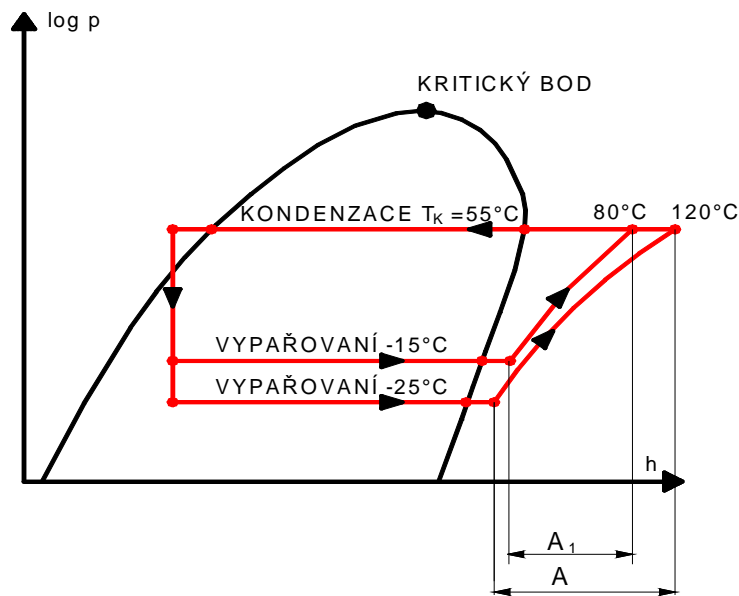
Při návrhu Δt se dá vyjít z následujících hodnot pro chladírny a mrazírny a ventilátorové chladiče vzduchu:

zboží v konzervách a lahvích	$\Delta t = 10$ °C
potraviny	$\Delta t = 8$ °C
masné výrobky	$\Delta t = 6$ °C až 8 °C
ovoce a zelenina	$\Delta t = 4$ °C až 6 °C

Teplotní spád $\Delta t < 6$ °C je dosažitelný jen s elektronickými expanzními ventily.

Z těchto důvodů je nutné při navrhování chladicích zařízení znát zboží, které bude chlazeno a skladováno a tomu přizpůsobit velikost výparníku a volbu expanzního orgánu.

Z obr. 4.10 je patrné, že snížením vypařovací teploty se navýší teplota stlačených par na výtlaku z kompresoru a navýší se práce, která je dodávaná kompresorem. Pro volbu vypařovací teploty je tedy důležité volit vhodný tepelný spád a příliš nízkou teplotou vypařovací nezvyšovat práci kompresoru. Zvýšení vypařovací teploty o 1 K představuje snížení spotřeby elektrické energie o 3 až 4 %.

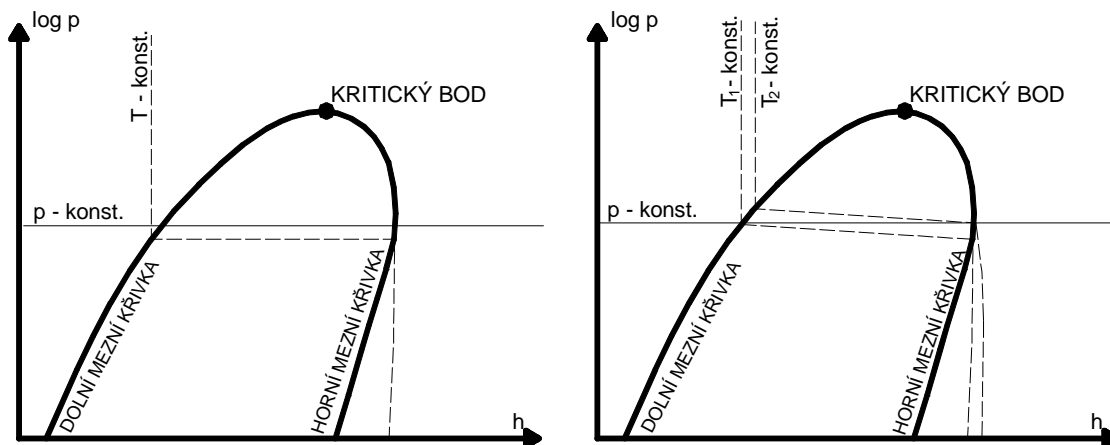


Obr. 4.10 Vliv odpařovací teploty na příkon zařízení

4.1.4.3 Teplotní skluz

Fázová změna (vypařování, kondenzace) zeotropních chladiv (směsí) vykazuje „klouzavý“ charakter v určitém rozmezí teplot, který nazýváme teplotní skluz (glide). Teplotní skluz může být více či méně významný v závislosti na bodech varu a poměrném zastoupení jednotlivých složek směsi. V praxi to znamená, že teplota během vypařování mírně vzrůstá a při kondenzaci klesá.

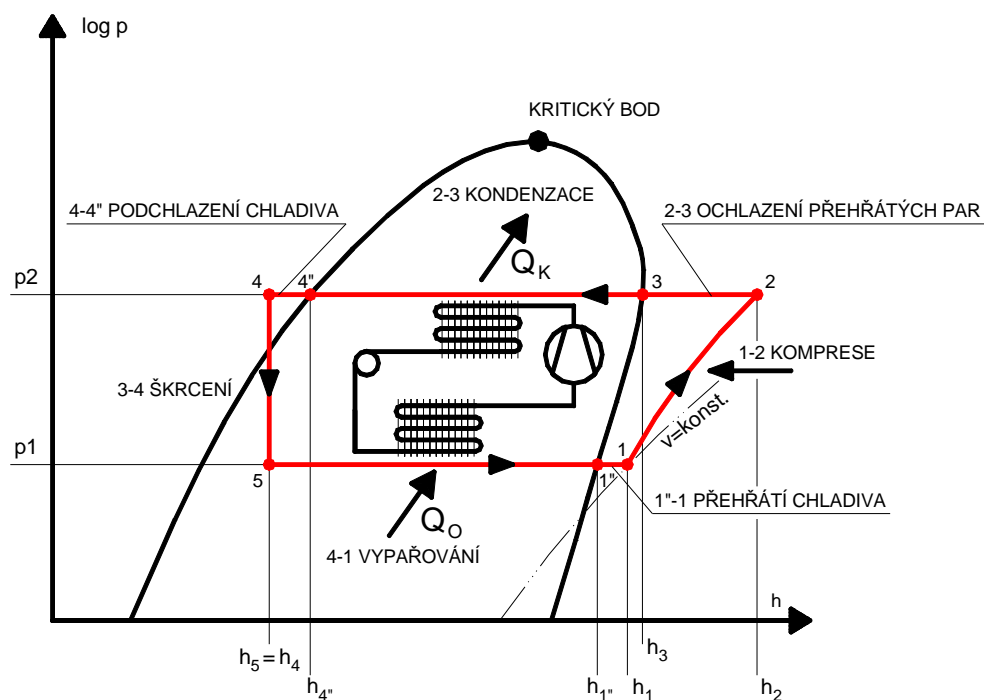
V některých případech také lze říci, že teplotní skluz je rozdíl ve vypařovacích teplotách jednotlivých složek chladiva při konstantním tlaku. Na obrázku 4.11a je znázorněno chladivo, které nemá teplotní skluz a křivka konstantního tlaku $p = \text{konst.}$ a konstantní teploty $T = \text{konst.}$ jsou mezi dolní mezní křivkou a horní mezní křivkou rovnoběžné. Jiná situace je na obrázku 4.11b, kde vidíme, že mezi dolní mezní křivkou a horní mezní křivkou křivka konstantního tlaku $p = \text{konst.}$ protíná dvě křivky konstantní teploty a $T_1 = \text{konst.}$ a $T_2 = \text{konst.}$. Z toho plyne, že na konci výparníku je jiná vypařovací teplota (vyšší) než při začátku vypařování. Velikost teplotního skluzu se liší podle typu zeotropní směsi.



Obr. 4.11a Chladivo bez teplotního skluzu Obr. 4.11b Chladivo s teplotním skluzem

4.1.5 Reálný jednostupňový chladicí oběh

Reálný chladicí oběh v sobě skrývá všechny výše jmenované zásady, které si v této kapitole shrneme.



Obr. 4.12 Reálný oběh v diagramu log p-h

Mezi body 1 - 2 nasává kompresor páry chladiva z tlaku P1 a stlačuje je na tlak P2. V této části cyklu dodáváme práci A (W) a můžeme ji vyjádřit:

$$A = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (4.3)$$

Kde je

\dot{m} hmotnostní průtok chladiva ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$),
 h_2, h_1 entalpie v bodě 2 a v bodě 1 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Po stlačení nasátých par do bodu 2 se přehřáté páry chladiva ochladí na mez sytosti. Vlastní kondenzace proběhne mezi horní mezní křivkou bod 3 a dolní mezní křivkou bod 4“. Dále se chladivo podchladí do bodu 4. Celý tento proces probíhá v kondenzátoru a my můžeme definovat teplo odevzdané v kondenzátoru Q_K (W):

$$Q_K = \dot{m} \cdot (h_2 - h_4) \quad (4.4)$$

Vlastní škrcení chladiva probíhá mezi body 3 a 4. Vypařování chladiva začíná v bodě 5, k vypaření chladiva se odebírá teplo z okolního prostředí a končí v bodě 1“ na horní mezní křivce. Od horní mezní křivky do bodu 1 se syté páry přehřejí a nasává kompresor. Vypařování chladiva se tedy děje mezi body 5 a bodem 1 a výkon výparníku Q_O (W) se tedy vypočte:

$$Q_O = \dot{m} \cdot (h_1 - h_5) \quad (4.5)$$

Pokud navrhujeme reálné chladicí zařízení, tak je nám znám potřebný chladicí výkon Q_C . Podle charakteru ochlazovaného prostoru volíme vypařovací teplotu a vhodnou kondenzační teplotu. Z těchto údajů jsme schopni zakreslit chladicí oběh do diagramu log p-h. Abychom mohli dále řešit návrh potrubí, musíme ještě stanovit hmotnostní tok chladiva m (kg) a ten vyjádříme ze vztahu:

$$\dot{m} = \frac{Q_O}{(h_1 - h_5)} \quad (4.6)$$

Kde je

h_5, h_1 entalpie v bodě 5 a v bodě 1 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$),
 Q_O chladicí výkon (W).

Výkonnost chladicího kompresoru se vyjadřuje objemovým množstvím nasávaných par chladiva \dot{V} ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$):

$$\dot{V} = \dot{m} \cdot v_1 \quad (4.7)$$

Kde je

v_1 měrný objem nasávaných par odečtený z diagramu log p-h ($\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$).

Porovnání chladicích oběhů provádíme pomocí chladicího faktoru EER (-). Chladicí faktor je definován jako energie získaná (chladicí výkon), podělena energií, kterou do okruhu musíme vložit (práce kompresoru) a můžeme ji tedy vyjádřit:

$$EER = \frac{Q_o}{A} \quad (4.8)$$

Obdobně u tepelných čerpadel vyjadřujeme topný faktor COP (-), zde je energií získanou kondenzační teplo a práce dodávaná do oběhu je stejná a platí tedy:

$$COP = \frac{Q_K}{A} \quad (4.9)$$

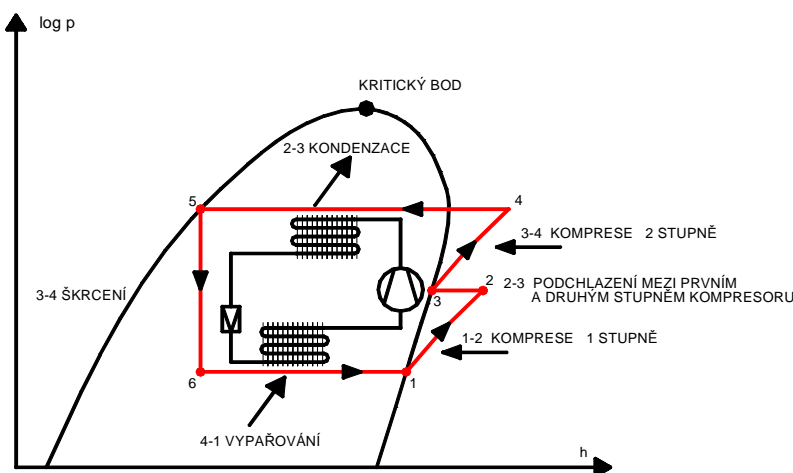
Největší efektivitu mají zařízení, kde se zužitkují obě strany oběhu, tzn. jak chladicí výkon pro ochlazování prostoru, tak topný výkon např. pro ohřev vody, vytápění apod. V tomto případě můžeme definovat tzv. poměrný energetický přínos η_{\max} (-):

$$\eta_{\max} = EER + COP \quad (4.10)$$

4.1.6 Dvoustupňový chladicí oběh

Tlak ve výparníku je určen požadovanou vypařovací teplotou v závislosti na požadované teplotě v chlazeném prostoru a pohybuje se ve velkém rozmezí od + 10 °C do - 100 °C. Při změně výparné teploty se mění výparný tlak a tím i tlakový poměr, který musí kompresor překonat. Při požadavku nízké vypařovací teploty by tlakový poměr byl příliš vysoký, a proto se volí vícestupňové chladicí oběhy. Jednostupňové oběhy se používají pro vypařovací teploty do cca - 45 °C. Pokud technologie potřebuje nižší odpařovací teplotu, můžeme použít dvoustupňový kompresor.

Dvoustupňový oběh pracuje podobně jako jednostupňový, pouze výtlak kompresoru je rozdělen na dva stupně, viz obr. 4.13. Mezi výtlakem prvního stupně a sáním druhého stupně stav 2 - 3 se vkládá mezichladič, který horké páry chladiva ochladí. Ochlazení je nutné, aby na výtlaku druhého stupně nebyly páry chladiva moc horké a nedocházelo k rozkladu mazacího oleje a v krajním případě vyhřátí hlav kompresoru. Ochlazení mezi stupni se provádí většinou částečným nástřikem kapalného chladiva, nebo výměníkem, ve kterém prochází sání chladiva a toto ochlazení horkých par mezi stupni kompresorů zároveň provede přehřátí chladiva před sáním prvního stupně kompresoru.



Obr. 4.13 Chladicí okruh s dvoustupňovým kompresorem

Dvoustupňové okruhy je výhodné používat v následujících případech:

- výtlačná teplota par chladiva při kondenzačním tlaku p_k přesahuje při jednostupňové kompresy přípustné hodnoty,
- tlakový poměr mezi vypařovacím tlakem p_o a kondenzačním tlakem p_k je příliš vysoký - meze hospodárného použití dvoustupňového zapojení lze charakterizovat tlakovým poměrem v rozmezí 6 až 10,
- celkový zdvihový objem obou stupňů při dvoustupňovém zapojení je pro daný chladicí výkon menší, než zdvihový objem při jednostupňovém zapojení.

Optimální střední tlak p_m se zpravidla volí podle následujícího vzorce:

$$p_m = \sqrt{p_o \cdot p_k} \quad (\text{Pa}), \text{ když } \frac{p_k}{p_m} = \frac{p_m}{p_o} \quad (4.10a)$$

Tento vzorec je odvozen pro dvoustupňovou kompresy plynů při následujících podmínkách:

- stejný hmotnostní tok chladiva v prvním a druhém stupni,
- stejně sací teploty v prvním a druhém stupni,
- stejně izoentropické kompresní exponenty daného chladiva pro první a druhý stupeň,
- stejně polytropické expanzní exponenty pro první a druhý stupeň,
- zanedbání tlakových ztrát.

I když tyto podmínky nejsou zpravidla splněny, používá se tento vzorec pro výpočet optimálního středního tlaku s odůvodněním, že průběh závislosti chladicího faktoru EER na středním tlaku p_m ($EER = f [p_m]$) je v okolí optima tak plochý, že menší odchylka od optimálního tlaku p_m nezhorší znatelně hospodárnost chladicího okruhu.

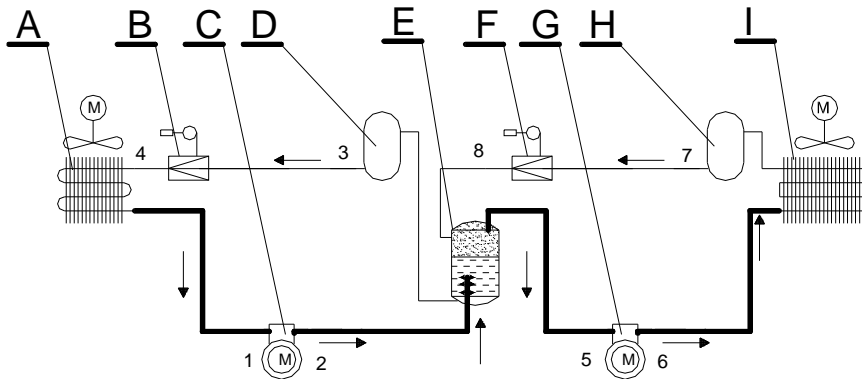
Podle toho, jestli je v obou okruzích stejné chladivo, je možné použít otevřenou středotlakou nádobu. Na obr. 4.14 je znázorněno schéma dvoustupňového chladicího okruhu s otevřenou středotlakou nádobou. Na obr. 4.15, 4.16 je znázorněn dvoustupňový okruh v diagramu log p-h.

Výpočtové vztahy pro dvoustupňový okruh s průchozí středotlakou nádobou:

- chladicí výkon:

Chladicí výkon kompresoru Q_o (W):

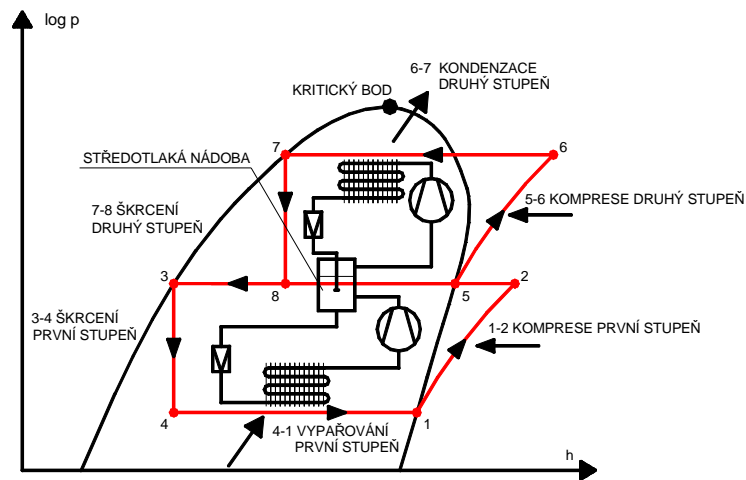
$$Q_o = m_o \cdot (h_1 - h_8) \quad (4.11)$$



LEGENDA:

Pára chladiva	—————
Kapalné chladivo	—————
Stav látky v diagramu logP-h	1,2,3,4,5,6,7,8
A- Výparník nízkotlaký okruh	
B - Škrťací ventil nízkotlaký okruh	F - Škrťací ventil vysokotlaký okruh
C - Kompresor nízkotlaký okruh	G - Kompresor vysokotlaký okruh
D - Zásobník chladiva nízkotlaký okruh	H - Zásobník chladiva vysokotlaký okruh
E - Středotlaká nádoba	I - Kondenzátor vysokotlaký okruh

Obr. 4.14 Schéma dvoustupňového okruhu s otevřenou středotlakou



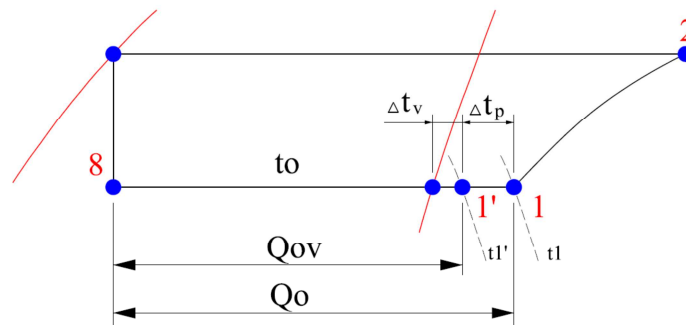
Obr. 4.15 Dvoustupňové zapojení v diagramu log p-h

Chladicí výkon výparníku Q_{ov} (W):

$$Q_{ov} = m_o \cdot (h_1 - h_8) \quad (4.12)$$

Kde je

m_o hmotnostní tok chladiva ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$),
 h entalpie v daném bodě ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).



Obr. 4.16a Chladicí výkon výparníku a kompresoru

Přehřátí par chladiva ve výparníku Δt_v (K):

$$\Delta t_v = t_{1'} - t_o \quad (4.13)$$

Přehřátí par chladiva v sacím potrubí Δt_p (K):

$$\Delta t_p = t_1 - t_{1'} \quad (4.14)$$

Kde je

- t_o vypařovací teplota (°C),
- $t_{1'}$ teplota par chladiva na výstupu z výparníku (°C),
- t_1 teplota par chladiva na saní 1° kompresoru (°C).

b) příkon kompresoru:

Izoentropický příkon 1° kompresoru P_{ie1° (W):

$$P_{ie1^\circ} = \dot{m}_o \cdot (h_{2[ie]} - h_1) \quad (4.15)$$

Izoentropický příkon 2° kompresoru P_{ie2° (W):

$$P_{ie2^\circ} = \dot{m}_k \cdot (h_{4[ie]} - h_3) \quad (4.16)$$

Celkový izoentropický příkon kompresoru P_{ie} (W):

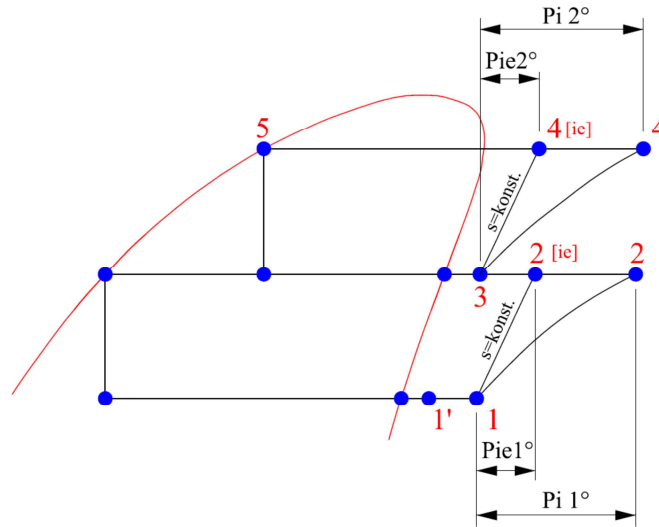
$$P_{ie} = \dot{m}_o \cdot (h_{2[ie]} - h_1) + \dot{m}_k \cdot (h_{4[ie]} - h_3) \quad (4.17)$$

Indikovaný příkon kompresoru P_i (W):

$$P_i = \frac{P_{ie}}{\eta_i} \quad (4.18)$$

Kde je

η_i indikovaná účinnost (-).



Obr. 4.16b Izoentropický a indikovaný příkon

Efektivní příkon kompresoru P_e (W):

$$P_e = \frac{P_i}{\eta_m} = \frac{P_{ie}}{\eta_i \cdot \eta_m} = \frac{P_{ie}}{\eta_{cie}} \quad (4.19)$$

Kde je

η_i indikovaná účinnost (-),
 η_m mechanická účinnost (-),
 η_{cie} celková izoentropická účinnost (-).

Příkon elektromotoru P_{el} (W):

$$P_{el} = \frac{P_e}{\eta_p \cdot \eta_{mot}} = \frac{P_{ie}}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_{mot}} = \frac{P_{ie}}{\eta_s} \quad (4.20)$$

Kde je

η_i indikovaná účinnost (-),
 η_m mechanická účinnost (-),
 η_{cie} celková izoentropická účinnost (-),
 η_{mot} účinnost elektromotoru (-),
 η_p účinnost převodu (-),
 η_s celková účinnost soustrojí (-).

c) teplo odvedené v kondenzátoru Q_k (W):

$$Q_k = m_k \cdot (h_4 - h_5) \quad (4.21)$$

d) hmotnostní tok dvoustupňového kompresoru m_k ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$):

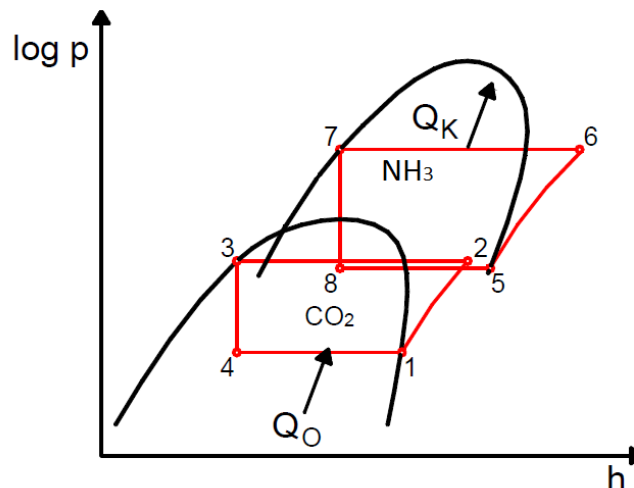
$$m_k = m_o \cdot \frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_6} \quad (4.22)$$

e) chladicí faktor EER (-):

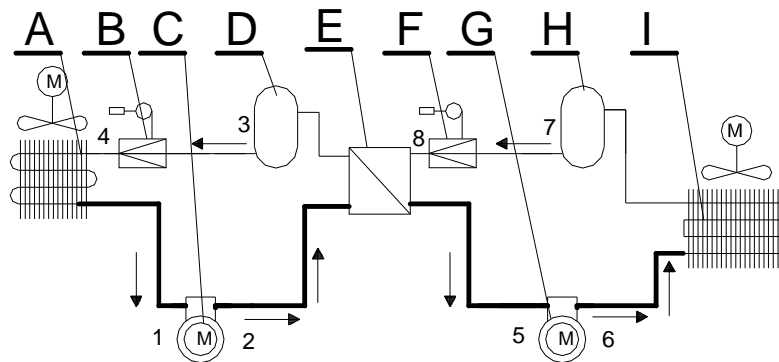
$$EER = \frac{Q_{ov}}{P_{el}} \quad (4.23)$$

4.1.7 Kaskádní chladicí oběh

Pokud potřebujeme dosáhnout ještě nižších vypařovacích teplot, než umožňuje zapojení s dvoustupňovým oběhem a použití jednoho typu chladiva, jsme nuceni použít více okruhů v kaskádním zapojení. Kaskádní oběh jsou vlastně dva jednostupňové oběhy, (může být ale použit i jednostupňový nízkoteplotní a dvoustupňový vysokoteplotní oběh), kdy kondenzátor druhého nízkoteplotního okruhu je výparníkem prvního vysokoteplotního okruhu. Tyto zařízení se využívají především pro laboratorní potřeby. V běžné praxi nejsou tak častá a používají se zejména ve složení nízkoteplotní mrazicí okruh CO_2 a vysokoteplotní chladicí okruh NH_3 , R134a apod., viz obr. 4.17 a obr. 4.18.



Obr. 4.17 Kaskádní okruh v diagramu log p-h



LEGENDA:

Pára chladiva	—————	
Kapalné chladivo	—————	
Stav látky v diagramu logP-h	1,2,3,4,5,6,7,8	E - Výměník
A - Výměník nízkotlaký okruh		F - Škrťací ventil vysokotlaký okruh
B - Škrťací ventil nízkotlaký okruh		G - Kompresor vysokotlaký okruh
C - Kompresor nízkotlaký okruh		H - Zásobník chladiva vysokotlaký okruh
D - Zásobník chladiva nízkotlaký okruh		I - Kondenzátor vysokotlaký okruh

Obr. 4.18 Schéma kaskádního oběhu

Výpočtové vztahy pro dvoustupňový okruh s neprůchozí středotlakou nádobou:

a) chladicí výkon:

Chladicí výkon kompresoru Q_o (W):

$$Q_o = m_o \cdot (h_1 - h_8) \quad (4.24)$$

Chladicí výkon výparníku Q_{ov} (W):

$$Q_{ov} = m_o \cdot (h_{1'} - h_8) \quad (4.25)$$

Kde je

m_o hmotnostní tok chladiva ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$),
 h entalpie v daném bodě ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Vztah mezi chladicím výkonem výparníku a kompresoru je patrný z obrázku 4.16a.

b) příkon kompresoru:

Izoentropický příkon 1° kompresoru P_{ie1° (W):

$$P_{ie1^\circ} = m_o \cdot (h_{2[ie1]} - h_1) \quad (4.26)$$

Izoentropický příkon 2° kompresoru P_{ie2° (W):

$$P_{ie2^\circ} = \dot{m}_k \cdot (h_{4[ie]} - h_3) \quad (4.27)$$

Celkový izoentropický příkon kompresoru P_{ie} (W):

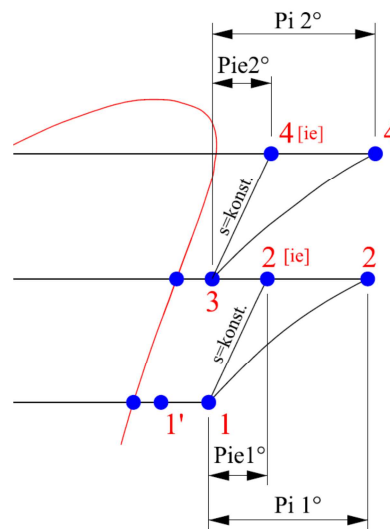
$$P_{ie} = \dot{m}_o \cdot (h_{2[ie]} - h_1) + \dot{m}_k \cdot (h_{4[ie]} - h_3) \quad (4.28)$$

Indikovaný příkon kompresoru P_i (W):

$$P_i = \frac{P_{ie}}{\eta_i} \quad (4.29)$$

Kde je

η_i indikovaná účinnost.



Obr. 4.16c Izoentropický a indikovaný příkon

Efektivní příkon kompresoru P_e (W):

$$P_e = \frac{P_i}{\eta_m} = \frac{P_{ie}}{\eta_i \cdot \eta_m} = \frac{P_{ie}}{\eta_{cie}} \quad (4.30)$$

Kde je

η_i indikovaná účinnost (-),

η_m mechanická účinnost (-),

η_{cie} celková izoentropická účinnost (-).

Příkon elektromotoru P_{el} (W):

$$P_{el} = \frac{P_e}{\eta_p \cdot \eta_{mot}} = \frac{P_{ie}}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_{mot}} = \frac{P_{ie}}{\eta_s} \quad (4.31)$$

Kde je

- η_i indikovaná účinnost (-),
- η_m mechanická účinnost (-),
- η_{cie} celková izoentropická účinnost (-),
- η_{mot} účinnost elektromotoru (-),
- η_p účinnost převodu (-),
- η_s celková účinnost soustrojí (-).

c) teplo odvedené v kondenzátoru Q_k (W):

$$Q_k = m_k \cdot (h_4 - h_5) \quad (4.32)$$

d) teplo odvedené při podchlazení Q_d (W):

$$Q_d = m_o \cdot (h_5 - h_7) \quad (4.33)$$

e) hmotnostní tok 2° kompresoru m_k ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$):

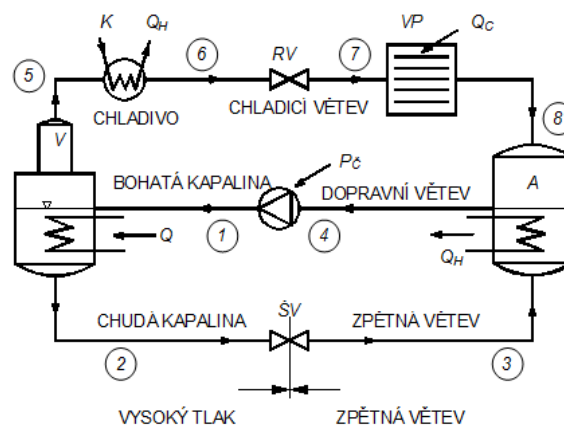
$$m_k = m_o \cdot \frac{h_2 - h_7}{h_3 - h_6} \quad (4.34)$$

f) chladicí faktor EER (-):

$$EER = \frac{Q_{ov}}{P_{el}} \quad (4.35)$$

4.1.8 Systémy sorpční

Zařízení sorpční se instalují pro velké chladicí výkony a hlavně tam, kde je levná tepelná energie. Kompresor, viz obr. 4.19 je v sorpčním oběhu nahrazen čerpadlem, které čerpá bohatou kapalinu z absorbérů A z oblasti nízkého tlaku stav 4 do oblasti tlaku vyššího.

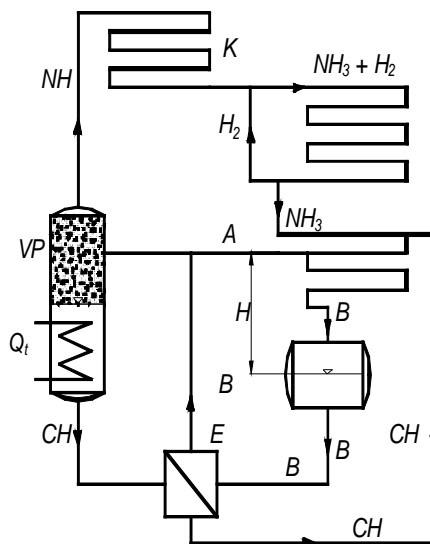


Obr. 4.19 Schéma průmyslového absorpčního zařízení

Chladivo je transportováno absorbované v nosné látce. Bohatá kapalina o stavu 1 proudí do vypuzovače V , který je ohříván tepelným tokem \dot{Q} a dochází v něm k destilaci a rektifikaci chladiva z kapaliny a chladivo se dostává do stavu 5 sytá pára a proudí do kondenzátoru, kde kondenzuje v kapalinu o stavu 6. Kapalina je v regulačním ventilu seškrvena na nízký tlak o stavu 7 a ve výparníku se intenzivně vypařuje a je vyvolán žádaný efekt \dot{Q}_C . Do absorbéru A proudí syté páry chladiva stav 8, který je ochlazován tepelným tokem \dot{Q}_H . V absorbéru se do přiváděné chudé kapaliny absorbuje chladivo. Z vypuzovače stav 2 odchází chudá kapalina přes škrťací ventil ŠV do absorbéru. Parametry jsou dány stavem 3.

U malých chladicích zařízení se používá trojice pracovních látek, čpavek, voda a vodík. Systém pracuje podle difuzního oběhu, viz obr. 4.20. Bohatá kapalina o koncentraci se ohřívá a vypařuje ve vypuzovači VP . Voda (chudý roztok) odtéká přes ekonomizér E spodní částí vypuzovače potrubím CH . Syté páry čpavku vystupují z vypuzovače a proudí do kondenzátoru K , kde kondenzují na kapalinu a stékají do výparníku V , na jehož vstupu se přivádí inertní vodík.

Dochází k vypařování kapalného chladiva, které difunduje do vodíkové atmosféry. V důsledku rozdílu parciálního tlaku vodíků mají syté páry chladiva podstatně nižší tlak, než byl v kondenzátoru. Parciální tlaky vodíku, vodních par a čpavku určují tlak v kondenzátoru. Totéž složení se očekává i ve výparníku, avšak s podstatným rozdílem tlaku čpavku a vodíku. Páry čpavku proudí do absorbéru a vodík je veden zpět na začátek výparníku výparníkovým obtokem.



Obr. 4.20 Schéma difuzního oběhu

K absorpci čpavkových par do vody dochází v absorbéru A , kde vzniká chudá kapalina CH , která je přiváděna k ekonomizéru. Bohatá kapalina B je po absorpci shromážděna ve sběrači kapalného chladiva S , odkud proudí zpět přes ekonomizér do vypuzovače VP . Změnu výparné teploty podle koncentrace sytých par chladiva zajišťuje vodíkový okruh v inertním vodíku a jeho parciální tlak zajišťuje odškrvení kondenzačního tlaku na tlak výparný. Tyto okolnosti způsobují, že není zapotřebí žádného škrťacího ventilu ani oběhového čerpadla. Oddělení

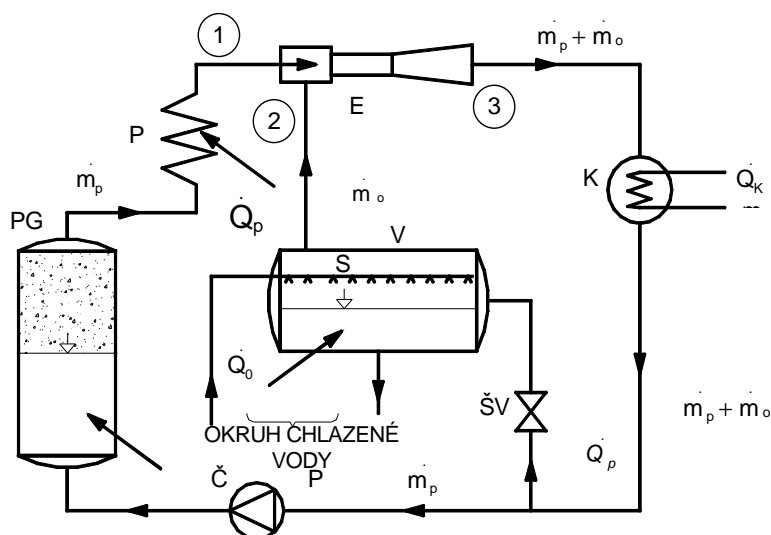
vodíku od par chladiva způsobuje jejich rozdílná měrná hmotnost. Stékající těžší páry chladiva do absorbéru způsobují, že lehký vodík proudí zpět do ústí výparníku. Pohyb roztoku v celém systému je vyvolán termosifónovým účinkem, který je dosahován ohřevem ve vypuzovači a samospádem.

Absorpční chladničky využívající tento systém mohou být vytápěny elektrickým odporovým teplem nebo spalováním různých plynných paliv. S rozvojem solární techniky se nabízí vytápění těchto chladniček solární energií.

4.1.9 Systémy proudové

Princip proudového oběhu je založen na závislosti bodu varu chladiva a jeho tlaku. Pro překonání tlakového spádu mezi výparníkem a kondenzátorem se používá ejektor. Proudový chladicí oběh se používá pro ochlazování vody. Zapojení proudového oběhu je uvedeno na obr. 4.21.

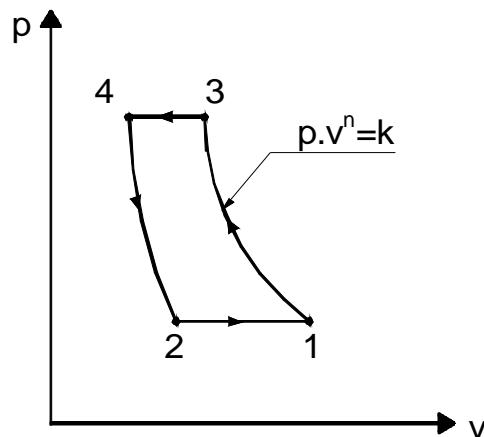
Sytá pára o hmotnosti m_p je vyráběna v parním generátoru PG a v přehříváku P je přehřáta na vysoké teplotní parametry a proudí jako hnací pára do Lavalovy dýzy (ejektoru). Ve vstupní komoře proudového přístroje odsává z výparníku V množství oběhové vody m_o , čímž se vytvoří velký podtlak ve výparníku V. Z difuzoru vytéká hmotnostní tok $m_p + m_o$, což je směs hnacího a hnaného proudu. Toto hmotnostní množství se kondenzuje v kondenzátoru K. Tepelný tok Q_k je odebírán chladicí vodou. V rozdělovači R se kondenzát dělí na proud oběhové vody m_o a proud hnací vody m_p . Přes škrťací ventil ŠV je vedena oběhová voda zpět do výparníku. Hnací vodu čerpáme čerpadlem Č s energetickým příkonem PC do parního generátoru. Do výparníku V je sprchovým potrubím přivedena chlazená voda, ochlazovaná chladicím výkonem Q_o . Po ochlazení na požadovanou teplotu danou podtlakem, který zajišťuje ejektor, proudí chlazená voda potrubím ze spodní části výparníku V ke spotřebičům.



Obr.4.21 Proudový chladicí oběh

4.1.10 Chlazení v oblasti plynu

U plynových oběhů nedochází ke změnám skupenství. Chladicí oběhy zpravidla probíhají v oblastech dostatečně vzdálených od mezní křivky.



Obr. 4.22 Plynové chlazení v diagramu p-v

Rozborem prvního zákona termomechaniky

$$dq = du + da \quad (4.36)$$

Lze dokázat fyzikální podstatu ochlazení plynu po adiabatické expanzi, kde q ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) je měrné teplo,

$$du = c_v \cdot dT \quad (4.37)$$

je diferenciál měrné vnitřní energie, c_v ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) je měrná tepelná kapacita při konstantním objemu a T (K) je teplota a a ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) je měrná práce.

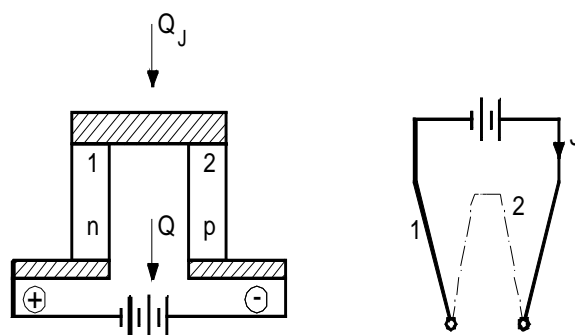
Je zřejmé, že objemová práce vykonaná plynem se vykonává na úkor vnitřní energie plynu a pokud předpokládáme kladnou tepelnou kapacitu za konstantního objemu c_v , musí nutně

$$dT < 0 \quad (4.38)$$

a proto při vykonané adiabatické expanzní práci musí teplota expandujícího plynu klesat. Na obr. 4.22 je uveden plynový oběh v diagramu p-v. Plynový kompresor nasává plyn a adiabaticky jej stlačí ze stavu 1 do stavu 2. Ve vysokotlakém chladiči dojde k ochlazení stlačeného plynu na stav 3. Po ochlazení proudí plyn do expandéru, ve kterém koná objemovou práci a dojde k jeho ochlazení na stav 4. Ochlazený plyn vyvolá chladicí efekt v chladiči a dostaneme opět stav 1.

4.1.11 Peltierův jev

Opakem Seebeckova jevu je jev Peltierův. Pokud spojíme vodivě dva různé vodiče, potom při průchodu konstantního proudu se na jenom vodiči vyvíjí teplo a na druhém se teplo odebírá. Dva různé kovy se formují do tvaru desek, kdy jedna strana desky se při průchodu proudu ohřívá a druhá strana se ochlazuje, viz obr. 4.23.



Obr. 4.23 Peltierův článek

Peltierovy články jsou energeticky náročnější než klasická kompresorová chladicí zařízení. Jejich velká výhoda vyplývá z velmi malých rozměrů v porovnání s ostatními systémy a vcelku velkým chladicím faktorem. Proto se používají pro chlazení elektrotechnických součástí pro chlazení v přenosných chladicích zařízeních (autochladničky, přenosné chladicí boxy apod). Také se používají pro nápojové automaty malých chladicích výkonů. Jedna z nevýhod v praktických aplikacích je schopnost ochladit prostor o cca 20 K, vůči venkovní teplotě (údaje uváděné výrobcem chladicích výdejníků vody).

4.1.12 Magnetické chlazení

Pokud vložíme magnetickou látku do dostatečně vysokého magnetického pole, jednotlivé magnetické momenty se uspořádají do směru souhlasného s tímto polem a entropie látky se změní. Pokud je látka dostatečně tepelně (adiabaticky) zaizolována, projeví se změna entropie změnou teploty látky. Vložením a vyjmutím magnetické látky do magnetického pole se většina látek ohřeje (pozitivní magnetokalorický jev). Velikost těchto teplotních polí je u většiny látek malá, a tudíž v praxi obtížně využitelná.

K velké změně entropie magnetické látky dojde v termodynamické oblasti, kde látka výrazně mění svoji magnetizaci v závislosti na teplotě, což plyne z Maxwellových rovnic. Toto se děje při přechodu magnetických látek do paramagnetického stavu. Zrovna tak k velké změně entropie dochází při magnetických fázových přechodech spojených se změnou magnetické struktury látek.

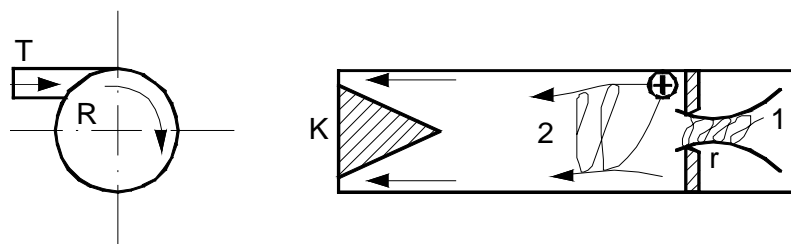
V současné době probíhá výzkum v této oblasti a jsou k dispozici již realizovatelné návrhy využití tohoto systému chlazení v praktických aplikacích.

Magnetické chlazení je v současnosti v oblasti výzkumu a začíná se uvažovat o prvních praktických aplikacích.

4.1.13 Chlazení vířivou (Raugeho) trubicí

Na obr. 4.24 je znázorněno funkční schéma vířivé trubice. Raugeho trubice je válcová nádoba s tangenciálním vstupem pracovní látky a regulovanými výtoky na obou stranách trubice.

Do válcové trubice se tangenciálně zavádí proud tlakového vzduchu vstupní dýzou T a tím se uvede vzduch do vířivého pohybu. Na pravé straně vířivé trubice se clonou odděluje chladný proud I , který vytéká ze vstupního prostoru clonou r . Stěnou clony jsou usměrnovány povrchové vrstvy rotujícího proudu na opačnou stranu 2 vířivé trubice. Tyto proudy jsou podstatně teplejší a regulačním kuželem K jsou vedeny k odběrnému potrubí.



Obr. 4.24 Princip vířivé trubice

4.2 Osvětlení

4.2.1 Přehled základních norem pro osvětlovací techniku

ČSN EN 15251

Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky

ČSN IEC 50(845)

Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845: Osvětlení

ČSN EN 55103-1 ed. 2

Elektromagnetická kompatibilita - Norma skupiny výrobků audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavního osvětlení pro profesionální užití - Část 1: Vyzařování

ČSN EN 55103-2 ed. 2

Elektromagnetická kompatibilita - Norma skupiny výrobků audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavního osvětlení pro profesionální užití - Část 2: Odolnost

ČSN EN 12665

Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení

ČSN 36 0011-1

Měření osvětlení prostorů - Část 1: Základní ustanovení

ČSN 36 0011-2

Měření osvětlení prostorů - Část 2: Měření denního osvětlení

ČSN 36 0011-3

Měření osvětlení prostorů - Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů

ČSN 36 0011-4

Měření osvětlení prostorů - Část 4: Měření umělého osvětlení venkovních prostorů

ČSN 36 0020

Sdružené osvětlení

ČSN EN 60432-1 ed. 2

Žárovky - Požadavky na bezpečnost - Část 1: Žárovky pro všeobecné osvětlení pro domácnost a obdobné osvětlovací účely

ČSN EN 60432-2 ed. 2

Žárovky - Požadavky na bezpečnost - Část 2: Halogenové žárovky pro všeobecné osvětlení pro domácnost a obdobné osvětlovací účely

ČSN EN 12464-1

Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory

ČSN EN 12464-2

Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory

ČSN EN 1838

Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení

ČSN EN 12193

Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť

ČSN EN 13032-1+A1

Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel - Část 1: Měření a formát souboru údajů

ČSN EN 13032-2

Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel - Část 2: Způsob uvádění údajů pro vnitřní a venkovní pracovní prostory

ČSN EN 13032-3

Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel - Část 3: Způsob uvádění údajů pro nouzové osvětlení pracovních prostorů

ČSN EN 61347-2-7 ed. 3

Ovládací zařízení pro světelné zdroje - Část 2-7: Zvláštní požadavky na bateriemi napájená elektronická ovládací zařízení pro nouzové osvětlení (s vlastními bateriemi)

ČSN EN 60598-2-22

Svítidla - Část 2-22: Zvláštní požadavky - Svítidla pro nouzové osvětlení

ČSN EN 60598-2-22 ed. 2

Svítidla - Část 2-22: Zvláštní požadavky - Svítidla pro nouzové osvětlení

ČSN EN 50172

Systémy nouzového únikového osvětlení

ČSN EN 62034 ed. 2

Automatické zkušební systémy pro nouzové únikové osvětlení napájené z baterií

ČSN EN 15193

Energetická náročnost budov - Energetické požadavky na osvětlení

ČSN 73 0580-1

Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky

ČSN 73 0580-2

Denní osvětlení budov - Část 2: Denní osvětlení obytných budov

ČSN 73 0580-3

Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol

ČSN 73 0580-4

Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov

4.2.2 Členění světlení

Světelné prostředí tvoří podmínky pro zrakovou pohodu. Zraková pohoda je příjemný a příznivý psychofyzilogický stav organismu, vyvolaný optickou situací vnějšího prostředí,

který odpovídá potřebám člověka při práci i při odpočinku. Zraková pohoda umožňuje zraku optimálně plnit jeho funkce. Zrakovou pohodu ovlivňuje nejen kvalita a kvantita osvětlení, ale i psychické ladění organismu, stav zraku, věk, únava a barevné řešení prostoru. Osvětlování je činnost zaměřená k vytvoření požadovaného světelného prostředí. Výsledkem této činnosti je osvětlení.

Základní dělení je na denní, umělé a sdružené osvětlení. Osvětlení dělíme podle prostoru, kam jej umístíme na osvětlení vnitřní a osvětlení vnější.

Rozdělení umělého osvětlení:

- 1) Normální – osvětlení pro činnost v bezporuchovém stavu napájení soustavy
 - a) hlavní – za obvyklých provozních podmínek
 - celkové – zajišťuje rovnoměrné osvětlení celé místnosti,
 - odstupňované – zajišťuje rovnoměrné osvětlení v jednotlivých částech místnosti podle zrakové činnosti,
 - místní-zajišťuje přisvětlené místa úkolu přidavnými svítidly,
 - kombinované – celkové nebo odstupňované osvětlení doplněné osvětlením místním,
 - b) pomocné – osvětlení pro pomocné práce mimo hlavní provoz,
 - c) bezpečnostní – sprovazuje se při poruše.
- 2) Poruchové
 - nouzové – osvětlení únikových cest a důležitých manipulačních míst při přerušení dodávky elektrické energie-stanoví požární technik,
 - náhradní – osvětlení pro dokončení započaté činnosti nebo pro zajištění minimálních požadavků technologického osvětlení.
- 3) Provozní – osvětlují provozní zařízení.

Členění svítidel:

- přímá – 90% světelného toku jde do spodní polokoule
- převážně přímá – 60-90 % světelného toku jde do spodní polokoule
- smíšená – 40-60 % světelného toku jde do každé polokoule
- převážně nepřímá – 60-90 % světelného toku jde do horní polokoule
- nepřímá – 90% světelného toku jde do horní polokoule

Mezi základní světelné zdroje patří žárovka, zářivka, výbojky, halogenové světla a led diody. Světelné zdroje si většinou se volí podle povahy interiéru a energetické náročnosti.

4.2.3 Výpočet osvětlení

Výpočet umělého osvětlení slouží pro stanovení počtu svítidel a dosažení požadované intenzity osvětlení v osvětlovaném prostoru. Pro výpočet je nutné mít k dispozici projektovou dokumentaci s označením účelu místností s půdorysnými a výškovými rozměry, dále světelné vlastnosti stropů a stěn. Je potřeba znát požadavky na rozmístění osvětlovacích těles, plán instalací a ovlivňující faktory, na které je nutné při návrhu brát zřetel. Je nutné vyznačit místa s většími nároky na osvětlení.

Základní používané metody pro výpočet umělého osvětlení:

- 1) Metoda poměrného příkonu: tato metoda se používá pro výpočet vnitřního osvětlení a určuje hrubý (orientační) příkon světelných zdrojů pro zajištění potřebného osvětlení.
- 2) Toková metoda (metoda účinnosti): tato metoda se používá pro přesné určení počtu a rozmístění svítidel v dané místnosti a uvažuje nejen způsob osvětlení místností, ale také účinnost svítidla a podíl odraženého světla od stropu a stěn.

4.2.3.1 Bodová metoda

Používá se pro výpočet venkovního osvětlení, tj. osvětlení ulic, náměstí, hřišť a dále pro kontrolu rovnoměrnosti osvětlení určeného jinou metodou.

- 1) Metoda poměrného příkonu

Slouží k orientačnímu stanovení příkonu osvětlovací soustavy P (W) v závislosti na druhu a způsobu osvětlení, poměrnému příkonu k ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) průměrné odrazivosti povrchů, požadované průměrné osvětlenosti E (lx), ploše osvětlovaného prostoru S (m^2).

$$P = \frac{k \cdot S \cdot E}{100} \quad (4.39)$$

Základem této metody je tabulka s poměrnými příkony zdrojů na 1 m^2 obytné plochy místnosti, jimiž se dosáhne průměrné intenzity osvětlení 1 lux ve srovnávací rovině, tj. v rovině 0,85 m nad podlahou. V tabulce jsou uvedeny poměrné příkony světelných zdrojů ($\text{W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{lx}^{-1}$).

- 2) Metoda toková

Potřebný počet svítidel n_s (ks) se určí dle vzorce:

$$n_s = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot z \cdot \varphi} \quad (4.40)$$

Výpočet potřebného počtu kusů svítidel závisí na požadované velikosti udržované osvětlenosti prostoru E_m (lx), ploše prostoru S (m^2), činiteli využití osvětlovací soustavy η_{os} (%), udržovacím činiteli z (-) a světelném tok všech zdrojů jednoho svítidla Φ (lm). Činitel využití osvětlovací soustavy je uváděn v katalogových listech výrobců svítidel a je závislý na činiteli místnosti k (-) a odranosti povrchu místnosti. Udržovací činitel, který nabývá hodnoty 0,45 - 0,65, se stanoví jako součin dílčích činitelů z_z -činitel světelných zdrojů, z_s -činitel znečištění svítidel, z_p -činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru, z_{fz} -činitel funkční spolehlivosti svítidel.

Vzorec pro výpočet činitele místnosti k (-):

$$k = \frac{S \cdot h \cdot (a_m + b_m)}{a_m \cdot b_m} \quad (4.41)$$

Závěsná výška h (m) se určí dle vzorce:

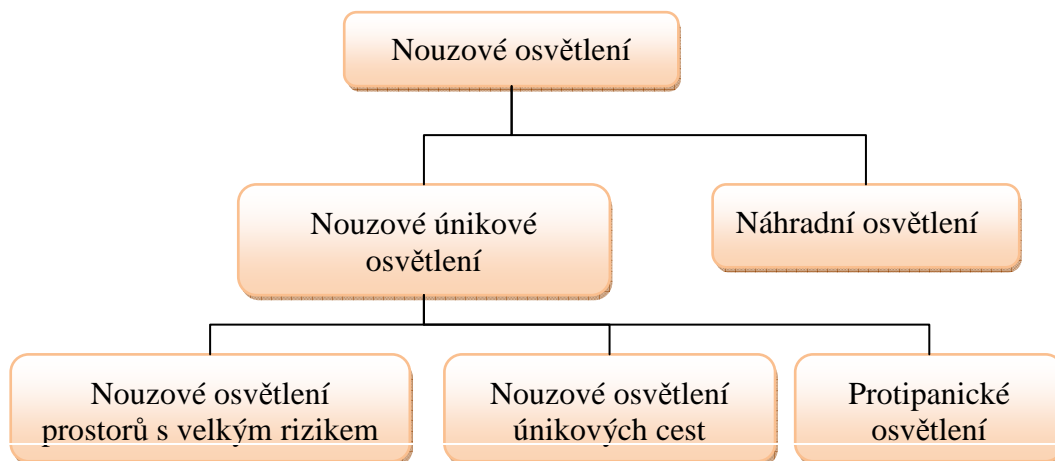
$$h = h_m - h_1 - h_3 \quad (4.42)$$

Kde je

- h závěsná výška (m),
- a_m šířka místnosti (m),
- b_m délka místnosti (m),
- h_1 vzdálenost svítidla od stropu (m),
- h_3 výška srovnávací roviny (m),
- h_m výška místnosti (m).

4.2.4 Nouzové osvětlení (NO)

Je určené k použití v případě poruchy v napájecí síti normálního osvětlení. Nouzové osvětlení se zřizuje pro použití, v případě výpadku normálního osvětlení. Je napájeno ze záložního zdroje nezávislého na tom, který napájí klasické osvětlení a zapíná se automaticky. Hlavním účelem nouzového osvětlení únikových cest je umožnit přítomným osobám bezpečný odchod z prostoru a poskytnutím vhodných podmínek pro vidění a určení směru na únikových cestách a na zvláštních místech. Osvětlení musí být poskytnuto včas, automaticky a po potřebnou dobu na určeném místě v době. Nouzové osvětlení má zajistit snadné dosažení a použití protipožárních a bezpečnostních zařízení. Nouzové osvětlení může být ve dvojím provedení. Svítidla jsou s vlastními trvale dobíjenými akumulátory nebo svítidla napájenými z centrálního zdroje.



Obr. 4.25 Rozdělení nouzového osvětlení

4.2.4.1 Nouzové osvětlení s trvale dobíjenými akumulátory

V případě požáru a při případném přehoření kabelu se svítidlo rozsvítí na svůj vlastní zdroj. Kabel nemusí být požárně odolný. Protože nouzová svítidla jsou hlavně na chráněných a nechráněných únikových cestách, musí provedení kabelu odpovídat způsobu uložení. Cílem je, aby kabel při hoření neuvolňoval jedovatý chlor. Je-li kabel například uložen minimálně 10 mm pod omítkou, je možno pro nouzové osvětlení použít normální CYKY kabel, který pro zpomalení hoření jedovatý chlor používá. Je-li kabel veden volně (ve smyslu ochrany před

požárem, tj. pokud kabel není uložen v krytu s požadovanou požární odolností) je nutno použít bezhalogenový kabel, který jedovatý chlor neobsahuje (například CHKE-R). V praxi se kabelové trasy k těmto svítidlům nedělají jako systémy se zachováním funkčnosti při požáru.

Výhody NO s trvale dobíjenými akumulátory: není pravděpodobné, že se poškodí nebo vybijí baterie všech svítidel najednou. Instalace vedení k těmto svítidlům je levnější. V případě požáru zůstávají nouzová svítidla po vypnutí napájení nízkým napětím v provozu na vlastní zdroj bezpečného napětí a nehrozí od nich nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

Nevýhody NO s trvale dobíjenými akumulátory: k nutné vyměňovat baterie ve svítidlech. Kontrola stavu jednotlivých baterií a svítidel je pracná.

4.2.4.2 Nouzové osvětlení napájené z centrálního zdroje

V tomto případě kabely zajišťují přenos nouzové energie do svítidla. Kabelové trasy i kabely jsou tedy požárně bezpečnostním zařízením a je nutno je udělat jako systém se zachováním funkčnosti při požáru, protože při přehoření nebo poškození kabelu by nouzové osvětlení zhaslo. Kabely se v tomto případě používají bezhalogenové, ohnivzdorné. Centrální zdroj musí být umístěn spolu s příslušným rozvaděčem nouzového osvětlení v samostatném požárním úseku, většinou v samostatné rozvodně, vyhrazené pouze pro požárně bezpečnostní zařízení.

Výhody NO napájeného z centrálního zdroje: snadno se kontroluje stav centrální baterie a není nutná výměna baterií ve svítidlech.

Nevýhody NO napájeného z centrálního zdroje: při poruše centrální baterie nefunguje žádné nouzové svítidlo. Při použití malého bezpečného napětí je nutno použít vodiče s velkými průřezy. Při použití nízkého napětí je nutno nouzové osvětlení při některých situacích vypnout (zátopy, požár apod.) z důvodu ochrany před úrazem elektrickým proudem.

Literatura

- [1] BÄCKSTRÖM; M., Technika chlazení, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1959.
- [2] DVOŘÁČEK, K., CSIRIK, V., Projektování elektrických zařízení, IN-EL, Praha, 1999.
- [3] DVOŘÁK, Z., ČERVENKA, O., Průmyslová chladicí zařízení, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1962.
- [4] DVOŘÁK, Z., Základy chladicí techniky, skripta, Ediční středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5, leden 1982.
- [5] HOCH, V, Chladicí technika, skripta, Nakladatelství VUT Brno, Brno 1992.
- [6] HÝBL, J., Strojní chlazení díl první teoretická část, Nákladem české matice technické v komisi knihkupectví Frant. Řivnáče, Praha, 1948.
- [7] HÝBL, J., Strojní chlazení díl druhý část konstruktivní a praktická část, Nákladem české matice technické v komisi knihkupectví Frant. Řivnáče, Praha, 1947.
- [8] CHLUMSKÝ, V, a kolektiv: Technika chlazení, SNTL-Nakladatelství technické literatury, Technický průvodce svazek 48, Praha 1971.
- [9] KAMARÁD, J., Magnetické chlazení na prahu praktického využití. Chlazení a klimatizace, leden 2008.

- [10] PAVELEK, M. a kol.: Termomechanika. Skripta. VUT FSI, Brno 2007.
- [11] ULRICH, J.H. SMUTNÝ, F., Chladicí technika II, Překlad: Svaz CHKT s.r.o., Komunardů 6, Praha 7, Praha 2000., ISBN 80-238-5889-0.
- [12] Zákon č. 22/1997 Sb o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, novelizovaný zákonem č. 71/2000 Sb. a změněný zákonem o obecné bezpečnosti výrobků č. 102/2001 Sb.
- [13] Nařízení vlády č.26/2003 Nařízení vlády č. 26/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení, novelizovaný nařízením vlády č. 621/2004 Sb.
- [14] ČSN EN 378-2/2000 Tlakové a další požadavky na chladicí zařízení.
- [15] ČSN EN 13480-8 Kovová průmyslová potrubí.
- [16] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.
- [17] Ing.Lidmila Marková, CSc., Ing. Zuzana Vyoralová. Technická zařízení budov 40- Umělé osvětlení, elektrorozvody, hromosvody. Praha : ČVUT, 2005.
- [18] ČSN 33 2130 ed. 2. Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody. 2009.
- [19] Dvořáček, Ing. Karel. Správná a bezpečná elektroinstalace. Praha : IN-EL, 2004.
- [20] ČSN EN 12665. Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení. 2003.
- [21] Kunc, Josef. Elektroinstalace krok za krokem. Praha : Grada Publish, 2010.
- [22] <http://www.tzb-info.cz>. [Online] <http://www.tzb-info.cz/4463-nouzove-osvetleni-i>.

5 Doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D., Ing. Olga Rubinová, Ph.D.: Větrání a klimatizace

5.1 Obecné zásady

Spotřeba energie na větrání znamená souhrn různých forem energie vynaložených na výměnu vzduchu v budově, přičemž tato výměna může být spojena s úpravou jeho vlastností, fyzikálních i chemických. Jakmile nepostačuje z různých důvodů pouze prostá výměna vzduchu za vzduch venkovní s jeho aktuálními vlastnostmi, nutné úpravy zajišťuje zařízení vzduchotechniky. Na druhé straně klimatizační zařízení obecně s venkovním vzduchem pracovat vůbec nemusí, takže na rozdíl od hodnocení stavební fyziky nebo osvětlení je v tomto případě nezbytné funkci a provozním stavům vzduchotechniky v konkrétních případech správně porozumět, aby byly bilance, sledující toky energií, sestaveny a vyčísleny správně. Kategorie, do kterých se člení potřeba energie podle vyhlášky, formálně neodpovídají technickým systémům, jak je známe. Z toho je zřejmé, že pro výpočet energetických spotřeb technických zařízení je nutné ovládat nejméně základy vytápění a vzduchotechniky. V dalším textu se také předpokládá, že čtenář již rozumí také pojmům jako je dodaná, primární či obnovitelná energie.

Pokud vzduchotechnické zařízení zajišťuje ohřev vzduchu, toto teplo patří do kategorie „Vytápění“, pokud vzduch chladí, tato energie patří do kategorie „Chlazení“, pokud vzduch zvlhčuje do kategorie „Úprava vlhkosti“, pokud odvlhčuje kondenzačním způsobem tak do „Chlazení“ a pouze energie na dopravu vzduchu se ocitne v kategorii „Větrání“. Proto ačkoli je vzduchotechnika obecně významným spotřebičem energie různých forem, z PENB to nemusí být zřejmé. Samozřejmě, že v mnohých stavbách, zejména pro bydlení, ve vzdělávacích objektech nebo menších komerčních je provozováno větrání přirozené, nejčastěji nárazovým otevíráním oken uživatelem. Tento způsob větrání, zdánlivě nenáročný, je spojen s potřebou tepla na ohřev vyměněného vzduchu. Požadavek na snížení množství tepla na větrání je možné realizovat recyklací tepla z odpadního vzduchu, což si ovšem vyžaduje použití systému nuceného větrání, jehož součástí je výměník vzduch-vzduch na předeřev venkovního vzduchu, případně může být toto teplo využito v tepelném čerpadle a teplo může být převáděno do vody. V těchto případech je nutná podrobná znalost energetických toků, aby mohly být správně do PENB zaneseny. Běžné je také větrání kombinované, s přirozeným přívodem a nuceným odvodem vzduchu, kdy je vzduch proudící z exteriéru do obytných místností odváděn přes koupelny, kuchyně apod. V tomto případě k teplu na ohřev vzduchu (které dodávají otopná tělesa) přibude energie na pohon ventilátorů.

Dodanou energii definuje vyhláška jako součet vypočtené spotřeby a pomocné energie. Motory ventilátorů jsou právě spotřebičem této pomocné energie. Vypočtená spotřeba energie se skládá z potřeby a zahrnutí účinnosti systémů. Potřebu je třeba chápat jako energii užitečnou, která je zužitkována v místnostech. V technických systémech však prochází různými přeměnami, je převáděna přes výměníky do jiných látek, transportována na různé vzdálenosti a to vše je vždy zdrojem energetických ztrát. Od energie v palivu k dosažení určité teploty v místnosti například klimatizační jednotkou je dlouhá cesta (spalování – výměník voda/voda – rozvody - výměník voda/vzduch – distribuce vzduchu do místnosti). S příchodem anglických norem a jejich překladů do českého technického slovníku nastává určitý nesoulad v názvosloví; pojmem distribuce vzduchu se ve vzduchotechnice tradičně rozumí přívod a odvod vzduchu přes koncové elementy do větraného/klimatizovaného prostoru; podle názvosloví převzatého z angličtiny, které se promítá i do problematiky EHB pojem „distribuce“ znamená rozvod potrubím a v místnosti se vzduch „rozptyluje“; ve slovníku EHB je to energie „sdílená“. Je třeba jisté ostražitosti při používání těchto pojmů,

kteřé jsou i zde používány pro určení energetických ztrát při transportu energie. Každý úsek této cesty je různě energeticky účinný, některé ztráty mohou být zanedbatelné, jiné nikoliv. Tato skutečnost bude dále dokumentována na názorném příkladu, který je součástí této kapitoly.

Významným faktorem, který předurčuje spotřebu energie, jsou požadavky na vnitřní prostředí. Čím mají být v zimě dosahovány vyšší teploty, zda má být řízená vlhkost vzduchu nebo je nutné zbavit větrací vzduch i jemného prachu – to všechno ovlivňuje potřebné výkony zařízení a tím jeho spotřebu. EN 15251:2007 uvádí čtyři kategorie budov, seřazené dle požadovaného komfortu. Čím vyšší třída budovy, tím větší rozptyl hodnot od optimálního stavu je přípustný. Z hlediska vytápění a chlazení je ukazatelem komfortu index PMV (střední tepelný pocit) a z toho odvozený PPD (podíl osob nespokojených s prostředím, kterým je buď chladno, nebo teplo). Toto vyjádření je obecné a umožňuje určit výpočtovou teplotu (pro zimní a letní návrhový stav) na základě požadavku komfortu s ohledem na fyzickou aktivitu a oblečení osob. Pro třídu budovy II a lehkou fyzickou aktivitu (kancelářská práce, běžné aktivity v domácnosti) odpovídá ročnímu rozptylu teplot 20 až 26 °C, pro nižší kvalitu prostředí, třídu II pak 19 až 27 °C. V případech budov bez strojního chlazení je vnitřní teplota odvozena od teploty venkovní, ovšem pouze při možnosti otevírání oken uživateli, jako nástroji regulace tepelné pohody. Pak norma připouští vnitřní operativní teplotu blízkou teplotě vnějšího vzduchu. Tato norma definuje také parametry akustického a světelného prostředí.

Zavedením referenční budovy a parametrů typického užívání jsou však tyto jevy potlačeny. Pro každý (nebo podobný) typ budovy je vyhláškou definováno, jakých parametrů v interiéru má být dosaženo. Cílem PENB není postižení skutečného budoucího provozu, ale porovnání různého technického řešení za jinak stejných podmínek, hodnotí se tedy jen relativní hodnota – jak navržené technické řešení je lepší nebo horší z hlediska spotřeby energie než to, které vyhláška považuje za „standardní“ ekonomicko-ekologický kompromis, zvaný jako nákladové optimum.

Referenční budova tak má dáno, že v režimu chlazení je vybavena aktivními stínícími prvky se součinitelem 0,2, což značí, že jde o venkovní stínění. Jejich účinnosti výroby, distribuce a sdílení tepla jsou takové, že potřebuje dodat skoro dvojnásobnou energii v palivu než je energie užitečná, než je teplo upotřebené na ohřev vzduchu při větrání oknem. U chlazení je situace mírně lepší. U větrání je jako kvalitativní parametr soustrojí motor-ventilátor a hydrauliky potrubní sítě použit měrný příkon ventilátoru SFP (specific fan power) dle normy EN 13 779, který představuje příkon ventilátoru vztažený k průtoku vzduchu $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ten jednak závisí na konstrukci motoru a ventilátoru a způsobu jeho zabudování do zařízení, jednak na potřebném dopravním tlaku. Tento SFP stoupá s rostoucím tlakem, který je dán tlakovými ztrátami zejména VZT jednotky, druhotně ztrátami v rozvodech. Kategorii SFP je celkem 7 a hodnota požadovaná vyhláškou odpovídá třídě 4, tedy průměru. Třída 6 má více jak dvojnásobnou hodnotu SFP oproti třídě 4. Vyhláška nezohledňuje, zda se jedná o jednoduché větrací zařízení malého rozsahu, kde bude možné dosáhnout vysokého SFP, nebo složitějšího klimatizačního zařízení s několika výměníky a vícenásobnou filtrací, kde je nutné použít více prvků, které generují tlakovou ztrátu. Naopak pokud jde o účinnost zpětného získávání tepla, jsou referenční hodnoty reálně dosažitelné i překročitelné a zohledňuje se velikost zařízení (velké VZT jednotky mají přípustnou menší účinnost, aby výměníky byly přiměřeně rozměrné). Faktory primární energie mají pro referenční budovu v části větrání, pomocné energie, chlazení i úpravy vlhkosti hodnotu 3,0. Tyto potřeby jsou tedy pokryty elektrinou (ze všech systémů pouze vytápění a příprava teplé vody mají hodnotu nižší, odpovídající zemnímu plynu nebo uhlí).

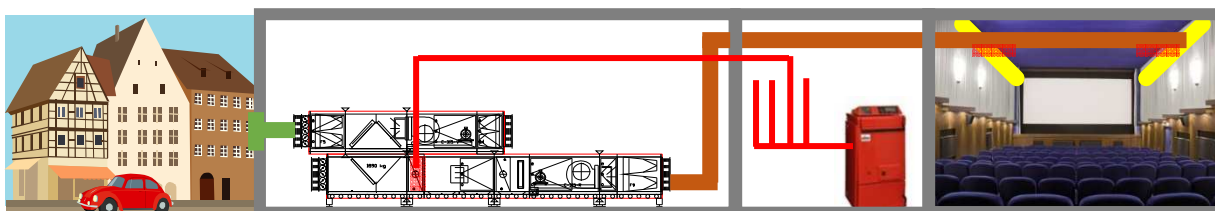
Z hlediska spotřeby elektrické energie pro dopravu vzduchu se kromě výše zmíněného měrného příkonu SFP dostávají v posledních letech do popředí požadavky na ekodesign elektrických spotřebičů, mezi které patří i ventilátory nebo celé větrací jednotky. Právě větracím jednotkám se věnuje nařízení komise EU č. 1253/2014. Spotřeba elektřiny právě na ně byla v rámci EU v roce 2010 odhadnuta na téměř 78 TWh, což je pro představu zhruba 5ti násobek elektřiny vyrobené za rok v JE Temelín. Když se ovšem uváží, kolik bylo ušetřeno tepla jeho recyklací, je bilance ušetřené primární energie pozitivní. VZT jednotky určené pro nebytové prostředí musí být od r. 2016 vybaveny vícerychlostním pohonem, obousměrné (obsahují přívod i odvod) jednotky musí mít zpětné získávání tepla s obtokem, přičemž minimální tepelná účinnost ZZT musí být 67 %, od r. 2018 stoupá na 73 %. Tyto podmínky jsou přísnější, než stanovuje vyhláška 78/2013 Sb. Dále jsou podle nařízení výrobci povinni zveřejňovat velké množství technických údajů, které lze pro výpočet PENB použít. Jako parametr energetického chování jednotky je zavedena „specifická spotřeba energie“ SEC, která vyjadřuje roční spotřebu elektřiny a tepla za standardizovaných podmínek. Podobný předpis existuje již od r. 2011 pro ventilátory od 125 W do 500 kW. Od roku 2015 vstoupila v platnost druhá fáze s přísnějšími požadavky, které jsou odlišné pro ventilátory různé konstrukce a velikosti.

Měrný příkon ventilátoru ovlivňuje také těsnost potrubí a VZT jednotky. Pokud vlivem netěsností uniká část upraveného vzduchu, je třeba množství vzduchu procházející ventilátorem o tyto netěsnosti navýšit.

5.2 Příklad výpočtu ENB klimatizovaného prostoru

5.2.1 Energie na teplovzdušné vytápění a chlazení

Pro účely zhotovení PENB je v běžných případech účelné budovu rozdělit na zóny, které zahrnují vždy jeden typ provozu (např. oddělit bytovou a komerční část polyfunkčních domů). To členění také respektují funkční celky vzduchotechniky, proto může být účelné budovu zónovat s ohledem na vzduchotechnická zařízení. Na příkladu přednáškového sálu, který je obsluhován samostatným VZT zařízením, je to zcela zřejmé; přilehlé učebny budou míst spíše přirozené větrání, chodby budou vytápěny na nižší teplotu, kuchyně má jinou provozní dobu i výpočtové teploty atd. Tedy i jedna místnost může být vhodně samostatnou zónou. Vybraný sál má kapacitu 240 osob a energeticky vztažnou plochu 500 m². Na obrázku 5.1 jsou schematicky znázorněny technické systémy pro tvorbu vnitřního prostředí. Zdrojem tepla je plynový kotel, topná voda teplovodním ohřivačem ohřívá přiváděný vzduch, VZT jednotka je ve ventilačním provozu (tj. pracuje se 100 % venkovního vzduchu). Sál je vytápěn pouze teplovzdušně. Provedeme zevrubnou energetickou analýzu tohoto zařízení.



Obr. 5.1 Schéma teplovzdušného vytápění přednáškového sálu

Potřebu tepla zóny určíme pro měsíc březen z průtoku vzduchu a výpočtových teplot. Teplo potřebné pro větrání a ztráty prostupem se ve výpočtech dle ČSN EN 13 790 počítá

dohromady. Tepelná ztráta prostupem sálu činí 20 kW, průtok vzduchu $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 7200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Výpočtová teplota pro sál činí 20 °C, průměrná teplota v březnu dle TNI 73 0331 je 3,7 °C. Z těchto informací určíme teplotu přiváděného vzduchu na krytí tepelné ztráty prostupem

$$t_p = t_i + \frac{Q}{V\rho c} = 20 + \frac{20000 / (20 - (-12)) \cdot (20 - 3,7)}{2,1,2,1010} = 24 \text{ °C}$$

Výkon ohřivače tedy určíme následovně

$$Q = V\rho c(t_p - t_{zzt})$$

Teplotu vzduchu za předeřevem ZZT musíme dopočítat; TNI doporučuje výpočtovou hodnotu účinnosti ZZT v závislosti na typu výměníku a průtoku vzduchu v tab. A 60. Pro případ na obrázku – křížový deskový výměník a průtok vzduchu nad $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ činí $\eta = 0,6$. Teplota odváděného vzduchu je shodná s teplotou vzduchu v místnosti, tedy 20 °C. Před ohřivačem tedy bude teplota určená z účinnosti výměníku:

$$\eta = \frac{(t_{zzt} - t_e)}{(t_i - t_e)} \rightarrow t_{zzt} = t_e + \eta(t_i - t_e) = 3,7 + 0,6 \cdot (20 - 3,7) = 13 \text{ °C}$$

Výrobci výměníků pro recyklaci tepla z odpadního vzduchu samozřejmě určité hodnoty uvádí, jsou ovšem stanoveny zpravidla za jiných podmínek než odpovídají reálnému provozu a navíc je účinnost závislá na teplotních podmínkách, vlhkosti vzduchu a také průtoku, což jsou parametry, které se za provozu mění. V případě, že by se průtok přiváděného vzduchu lišil od průtoku vzduchu odváděného přes výměník, mělo by to na výslednou hodnotu teploty předeřátého vzduchu také významný vliv.

Výkon ohřivače (pro stav reprezentující měsíc březen) je tedy

$$Q = V\rho c(t_p - t_{zzt}) = 2,1,2,1010 \cdot (24 - 13) = 26,7 \text{ kW}$$

Při konstantním provozu zařízení 24 h denně a 7 dní týdně bychom s použitím denostupňové metody určili spotřebu tepla pro měsíc březen

$$Q = 26,7 \cdot 24 \cdot 31 = 19,8 \text{ MWh}$$

Ve skutečnosti bude provoz větrání uzpůsoben provozu budovy. TNI v tab. B.11 Budovy pro vzdělávání, posluchárny, přednáškové prostory stanovuje provozní dobu 7 až 18 h, tedy 11 h denně, 257 dní ročně a obsazenost $14 \text{ m}^2 \cdot \text{os}^{-1}$. V tab. B12 určuje teplotu v mimoprovozní době na 16 °C. Dále stanovuje průtok vzduchu na 20 až $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$ a vodní zisky o hodnotě $40 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Zavedením cirkulačního režimu pro teplovzdušné vytápění mimo provozní dobu dosáhneme značné úspory, výkon ohřivače v mimoprovozní době klesne na

$$Q = V\rho c(t_p - t_{zzt}) = 2,1,2,1010 \cdot (24 - 20) = 9,7 \text{ kW}$$

Pokud bychom připustili pokles vnitřní teploty mimo provoz budovy na 16 °C dle TNI, snížili by se i tepelné ztráty prostupem a výkon o 25 % a tím by výkon ohřivače klesl na hodnotu 7,3 kW. Váženým průměrem podle času by spotřeba tepla za měsíc březen činila pro 22 pracovních a 9 nepracovních dní činila

$$Q = 22 \cdot 11 \cdot 26,7 + (22 \cdot 13 + 9 \cdot 24) \cdot 9,7 = 6,5 + 4,9 = 11,4 \text{ MWh}$$

Samotná skladba VZT jednotky má tedy zásadní vliv na hodnotu potřeby tepla. Pro ilustraci zvažme nastavení VZT jednotky, které umožňuje řízení průtoku vzduchu na základě obsazenosti prostoru, např. v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého. Počet posluchačů může být jistě proměnlivý a v případě, že bude zařízení vybaveno směšovacími klapkami s plynulým řízením a detekcí CO₂ v odváděném vzduchu, lze ho provozovat hospodárněji.

Základní průtok vzduchu odpovídá při dávce $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$, kapacitě 240 osob. Bude-li v sále přítomno pouze 100 osob, bude nutný průtok pro větrání pouze $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, tedy 40 % z celkového průtoku. Teplota vzduchu před ohřívачem tak bude významně vyšší, dána tímto směšovacím poměrem

$$t_i \cdot V_c + t_{zst} \cdot V_e = t_p V_p \rightarrow t_p = \frac{t_i \cdot V_c + t_{zst} \cdot V_e}{V_p} = \frac{20.4200 + 13.3000}{7200} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

Výkon ohřívачe v pracovní době (představující potřebné teplo na krytí ztrát prostupem a větráním se změnil na

$$Q = V_p c (t_p - t_{zst}) = 2.1 \cdot 2.1010 \cdot (24 - 17) = 17,0 \text{ kW}$$

čímž se potřeba tepla opět redukuje. Nastavení směšovacího poměru ovšem nemá vliv na práci ventilátorů, ta se tímto nemění. Můžeme ji však snížit regulací celkového průtoku, jak ukážeme dále. Měsíční metoda na výpočet potřeby tepla a chladu ovšem nepoužívá denostupňovou metodu, ale uvažuje působení tepelných zisků v zimě a naopak tepelných ztrát v létě. Vypočteme tedy potřebu tepla na vytápění využitím této metody. Ve zmíněném sále, který tvoří samostatnou zónu, jsou umístěny v podélných stěnách prosvětlovací pásy o rozměru $30 \times 1,4 \text{ m}$, jeden jihovýchodním, druhý jihozápadním směrem. Tepelné ztráty prostupem, určené jako tepelný výkon za účelem návrhu otopné soustavy pro výpočtovou teplotu $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ činí 20 kW vč. tohoto prosklení, což je již výše převedeno na měrnou tepelnou ztrátu $H = 625 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$. Měrná ztráta větráním činí

$$H = (1 - \eta) V_p c = 0,4 \cdot 2.1 \cdot 2.1010 = 970 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

Dohromady tedy $1,6 \text{ kW} \cdot \text{K}^{-1}$. Tepelné zisky budou tvořeny osluněním, přítomnými lidmi, umělým osvětlením a elektronickým vybavením. TNI v tab. B.14 stanovuje měrné zisky od osob $5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ a podíl přítomnosti osob na 0,25, stejně jako u vnitřního vybavení se zisky $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Vynásobením získáme $15 \cdot 0,25 \cdot 11.500 = 20,6 \text{ kWh} \cdot \text{den}^{-1}$, což jsou vnitřní tepelné zisky, jejichž výpočtová hodnota se během roku nemění. Výpočet s 11 h pracovní dobou odpovídá logice tabulky, ovšem původem tohoto činitele obsazenosti je ČSN EN ISO 13790, kde jsou doporučené hodnoty pro případ neexistence národních norem v tab. G8 až G11 vztaženy k intervalu 24 h (v našem případě by tak zisky byly přibližně dvojnásobné). Naopak značně proměnlivé jsou tepelné zisky slunečním zářením přes prosklenou plochu. Pro měsíc březen uvádí příloha C.1 TNI hodnotu dopadajícího slunečního záření na svislou stěnu orientovanou jihovýchodně nebo jihozápadně $64,7 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}$. Okna jsou zabudovaná ve svislých stěnách a ostění částečně vrhá stín, skleněná plocha je konstrukčně členěná a toto zmenšení průsvitné plochy je třeba započíst (odhadnutá redukce 10 % z plochy). Podíl záření procházejícího sklem je závislý na úhlu slunečního paprsku a roviny skla, tudíž se během dne i roku také mění. Zatížen těmito chybami tepelný zisk osluněním za měsíc březen nabude hodnoty pro průměrnou 70% prostupnost skla

$$Q = A \cdot I \cdot g = 2.30 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 64,7 \cdot 0,7 = 3423 \text{ kWh} = 3,4 \text{ MWh}$$

Celkové tepelné zisky nyní činí $3423 + 31 \cdot 20,6 = 4062 \text{ kWh} \cdot \text{měsíc}^{-1}$. Jak vidno, tepelné zisky jsou mírně nadnesené, neboť jsou vnitřní zisky z lidí započteny i v nepracovních dnech. Zredukujeme-li zisky z provozu na 22 pracovních dní, získáme celkem $3877 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-1}$. Ztráty prostupem určíme pro provozní den; útlumový víkendový provoz doporučuje norma zavést redukčním činitelem až z celkové spotřeby. Tepelná ztráta prostupem a větráním pro březnový den činí

$$Q = H(t_i - t_e) = (625 + 970) \cdot (20 - 3,7) = 26,0 \text{ kW}$$

Tato hodnota je shodná s výkonem ohřívачe určeným výše, drobné rozdíly vznikají zaokrouhlením. Za celý měsíc je tak na krytí tepelných ztrát bez započtení zisků třeba

24.31.26,0 = 19340 kWh. Pokud bychom chtěli uvážit vliv denního a nočního (cirkulačního) režimu VZT, pak vypočteme za měsíční interval 31 dní

$$Q = 31. (24.625 + 11.970). (20 - 3,7) = 12,97 \text{ MWh}$$

Tepelné zisky jsou nižší než tepelné ztráty, podle očekávání bude sál v režimu vytápění. Poměr zisků a ztrát činí pro případ, že nucené větrání je v provozu pouze 11 h denně

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l} = \frac{3877}{12970} = 0,30$$

Nakolik jsou tepelné zisky využitelné, závisí na tepelné akumulaci budovy, kterou vyjadřuje časová konstanta budovy, definovaná ve stavební fyzice jako podíl akumulace a ztrát. Akumulační složku lze určit z ČSN EN 15 603, která udává návrhové hodnoty podle velikosti místností (tím je určeno množství vnitřních akumulačních konstrukcí) a charakterem povrchů (lépe betonová podlaha než koberec, a ten je zase lepší než masivní dřevo). Pro velký sál budeme uvažovat 300 kJ.K⁻¹.m⁻² podlahy

$$\tau = \frac{C}{H} = \frac{300.1000.500/3600}{625 + 970} = 26 \text{ h}$$

Z toho určíme faktor setrvačnosti budovy

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} = 2,74$$

A stupeň využití zisků v topném režimu

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,97$$

Což nás přivedlo k samé podstatě měsíční metody výpočtu potřeby tepla; dynamika bilance zisků a ztrát během roku je tu zavedena činitelem využití, který kromě schopnosti budovy akumulovat teplo (obsaženo v časové konstantě) zohledňuje množství zisků vzhledem ke ztrátám v parametru γ . Nízké zisky, jako je nyní náš případ, jsou využity téměř ze 100 %. Pokud budou vysoké, budou v reálném případě spíše způsobovat lokální přetápění některých místností, než aby byly rovnoměrně v celém objemu zóny. Také je tu časové hledisko - solární zisky působí ve dne, kdy je vyšší teplota vzduchu, kdežto nejvyšší ztráty jsou v noci, kdy teplota klesá. Tyto jevy činitel využití zahrnuje. Potřeba tepla s využitím zisků tedy bude

$$Q_H = Q_l - \eta_H. Q_l = 12970 - 0,97.3877 = 9193 \text{ kWh}$$

S nástupem léta se situace změní, určíme bilanci pro měsíc červen, kdy lze očekávat max. tepelné zisky. Vnitřní zisky zůstanou beze změny, ale solární narostou na hodnotu

$$Q = A. I. g = 2.30.1,4.0,9.79,2.0,7 = 4646 \text{ kWh}$$

Tepelné ztráty větráním i prostupem přepočteme pro letní výpočtový stav, kdy venkovní červenová teplota činí 16,1 °C. Vnitřní výpočtová teplota 26 °C musí být pro měsíční výpočet redukována na TNI předepsanou hodnotu 21 °C, neboť jinak je (v důsledku nízké průměrné vnější teploty) tepelná bilance podhodnocená a zóna by vyšla v negativní tepelné bilanci, přestože zkušenosti hovoří jinak. Tento jev je eliminován redukcí výpočtové teploty, čímž tepelné ztráty budou mít hodnotu

$$Q = d. H. h. (t_i - t_e) = 30. (24.625 + 11.970). (21 - 16,1) = 3773 \text{ kWh}$$

Poměr zisků a ztrát se tak změní, zisky převyšují ztráty a budova bude v režimu chlazení

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l} = \frac{4646 + 453}{3773} = 1,35$$

A stupeň využití ztrát pro snížení tepelných zisků v chladicím režimu se určí analogicky topnému režimu pro hodnotu poměrů zisků a ztrát v letním období

$$\eta_c = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = 0,62$$

$$Q_c = Q_g - \eta_c \cdot Q_l = 5099 - 0,62 \cdot 3773 = 2778 \text{ kWh}$$

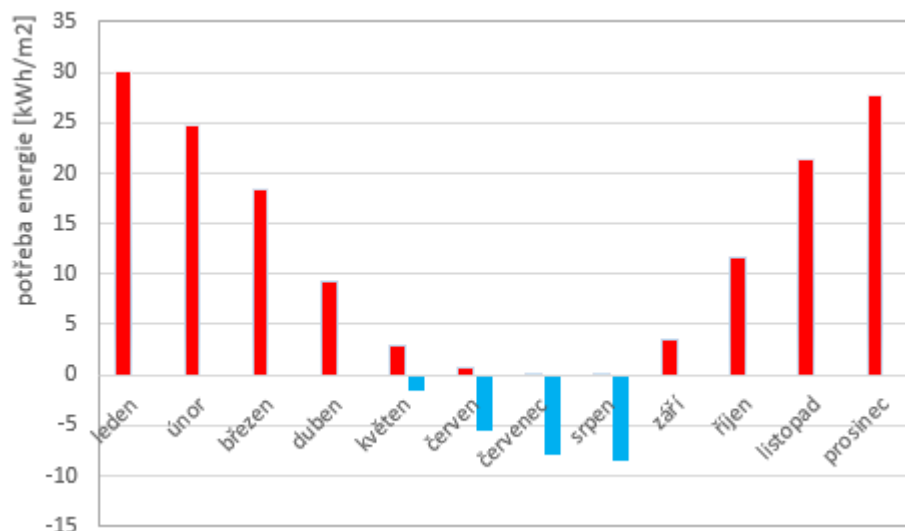
Vhodným opatřením pro snížení slunečních zisků by byly venkovní žaluzie, které jsou schopny odclonit 80 % dopadajícího záření. Hodnota tepelných zisků okny by klesla při stínění 50 % plochy skla na hodnotu

$$Q = A \cdot I \cdot g \cdot s = 30,1,4,0,9,79,2,0,7,1 + 30,1,4,0,9,79,2,0,7,0,2 = 2788 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l} = \frac{2788 + 453}{3773} = 0,86$$

A hodnoty zisků by ani nedosahovaly hodnot tepelných ztrát. Z toho je vidět, jak solární zisky dramaticky ovlivňují tepelnou bilanci budov a tím jejich energetickou náročnost. Měsíční metoda výpočtu spotřeby tepla je jednoduchým a účinným nástrojem, jak tepelné bilance v ročním cyklu optimalizovat.

Celoroční průběh potřeby energie na vytápění a chlazení zpracovaný měsíční metodou poskytuje také informace o předpokládaném zahájení a ukončení topné či chladicí sezóny a vůbec o relaci mezi spotřebou energie pro udržení mikroklimatických podmínek v létě a v zimě, např. zda není nízká spotřeba energie na vytápění vykoupena dlouhou chladicí sezonou. V grafu si můžeme prohlédnout situaci řešeného sálu, hodnoty jsou již vyneseny vztažené na 1 m² podlahové plochy. Roční potřeba tepla na vytápění tak činí 150 kWh.m⁻², chlazení 24 kWh.m⁻².



Obr. 5.2 Potřeba energie na vytápění a chlazení řešeného sálu

Nicméně tyto výsledky stále popisují potřebu, nikoliv spotřebu energie. Nyní se začneme zabývat distribucí tepelné energie od zdroje do sledovaného sálu s výpočtem dílčích účinností a následně tedy dodané energie. Účinnost sdílení energie na vytápění teplovzdušným systémem uvádí TNI 73 0331 souborem doporučených v závislosti na poloze přírodních elementů (vyšší účinnost stejně jako otopná tělesa mají u chladné vnější stěny) a

způsobu regulace teploty (regulace v jednotlivých místnostech má vyšší účinnost než centrální úprava vzduchu). Pro náš případ bude účinnost sdílení 0,87 (regulace jednotlivé místnosti). Tepelná ztráta rozvodů se určí ze vztahu (oproti předpisu v EN či TNI vynechávám indexy, které značně znepráhledňují zápis a teploty označují tradičním t , ψ znamená průměrný lineární součinitel prostupu tepla, L délku a t provozní dobu zařízení.

$$Q = \sum \Psi(t_p - t_i)L \cdot t \cdot f$$

Určíme tepelnou ztrátu rozvodu v celkové délce 150 m procházejícího chodbou o teplotě 15 °C. Přestože vztahy počítají s ročním výpočtem, budeme dále pokračovat v analýze bilancí za měsíc březen. Teplotu přiváděného vzduchu jsme vypočetli již na začátku a činí 24 °C. Pro vytápěnou zónu a nové potrubí se doporučuje činitel ψ (vlastně měrná tepelná ztráta) o hodnotě 0,85 W.m⁻¹.K⁻¹. Činitel f vyjadřuje využitelnost tepelných ztrát; pokud potrubí prochází vytápěným prostorem, pak $f = 0,15$; pokud ne (např. ve venkovním prostoru), pak $f = 1$. Můžeme dosadit (provozní doba měsíčně je 11 h x 22 dní)

$$Q_{\text{dis}} = \sum \Psi(t_p - t_i)L \cdot t \cdot f = 0,85(24 - 15) \cdot 150 \cdot 11 \cdot 22 \cdot 0,15 = 42 \text{ kWh}$$

Započtené je pouze přívodní potrubí, ale v principu je jasné, že využíváme-li teplo z odpadního vzduchu, má význam i tepelná ztráta potrubí odvodního. Zde bude ovšem přibližně poloviční rozdíl teplot a tím ztráta nižší, dále uvažujme 42 + 21 = 63. Také hodnota měrné ztráty zahrnuje velký rozptyl v závislosti na velikosti potrubí, bude přímo úměrná obvodu potrubí. Pro zjednodušení TNI nabízí i pomocné vztahy pro odhad délky rozvodů v závislosti na objemu zóny, ale to už je asi lepší použít paušální hodnotu účinnosti podle průtoku vzduchu, která je pro větší průtoky stanovena na 0,85. Přesnější výpočty mají opodstatnění při rozvodech uložených mimo vytápěné prostory, jako jsou suterény, technická podlaží, šachty nebo venkovní prostory. Nicméně z vypočtené ztráty rozvodu a potřeby můžeme určit účinnost ze vztahu

$$\eta = \frac{Q_H}{Q_H + Q_z} = \frac{9193}{9193 + 63} = 0,993$$

a hodnota je to značně vysoká, vyšší než tabulková orientační hodnota 0,85. Spotřebu energie se zahrnutím účinnosti můžeme již určit za měsíc březen

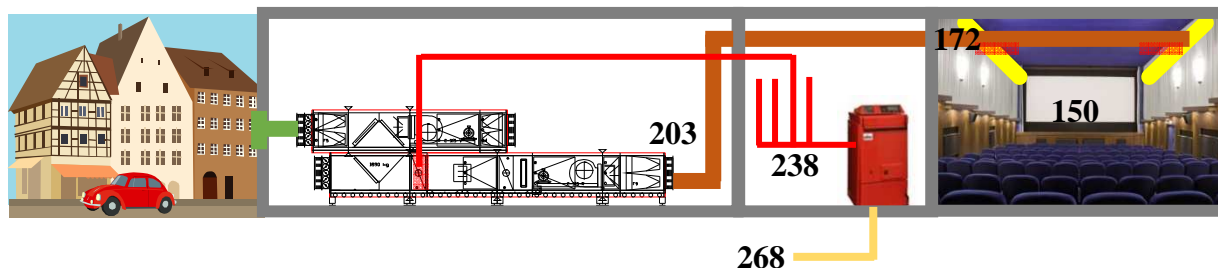
$$Q = \frac{Q_H}{\eta_{\text{em}} \cdot \eta_{\text{dis}}} = \frac{9193}{0,87 \cdot 0,85} = 12152 \text{ kWh}$$

Jak vidno, účinnosti jsou těžko uchopitelné, ve snaze o přesné postižení značně pracné a velkou chybou zatížené parametry. Patří však mezi hodnocená kritéria v PENB. Značně navyšují energetické potřeby, v případě použití doporučených paušálních hodnot je celková účinnost dopravy a rozptýlení teplého vzduchu 71 % tzn., že téměř třetina výkonu by byla neúčinnou ztrátou a to se jeví nadhodnocené.

Potřebnou tepelnou energii je nutné ještě zdrojem tepla vyrobit. Pro běžný případ, kterým může být plynová kotelna, je TNI 73 0331 doporučená hodnota sezónní účinnosti výroby tepla nízkoteplotního kotle s modulovaným hořákem ve výkonovém rozmezí 35 až 400 kW rovna 0,89. Mezi kotlem a VZT výměníkem je vložený teplovodní okruh, který pracuje s určitou účinností distribuce tepla. Pro rozvod se střední teplotou 60 °C je doporučená hodnota 0,85. V celoročních hodnotách z potřeby 150 kWh.m⁻² určíme spotřebu tepla jednotky

$$Q = \frac{Q_H}{\eta_{\text{em}} \cdot \eta_{\text{dis}}} = \frac{150}{0,87 \cdot 0,85} = 203 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Analogicky dopočteme spotřebu směrem od spotřebiče ke zdroji, až se dostaneme k dodané energii v palivu, kde energonositelem je zemní plyn. Celkem dochází s využitím doporučených – směrných hodnot ke 40% ztrátám tepelné energie.



Obr. 5.3 Tok tepelné energie v technických systémech pro teplovzdušné vytápění sálu

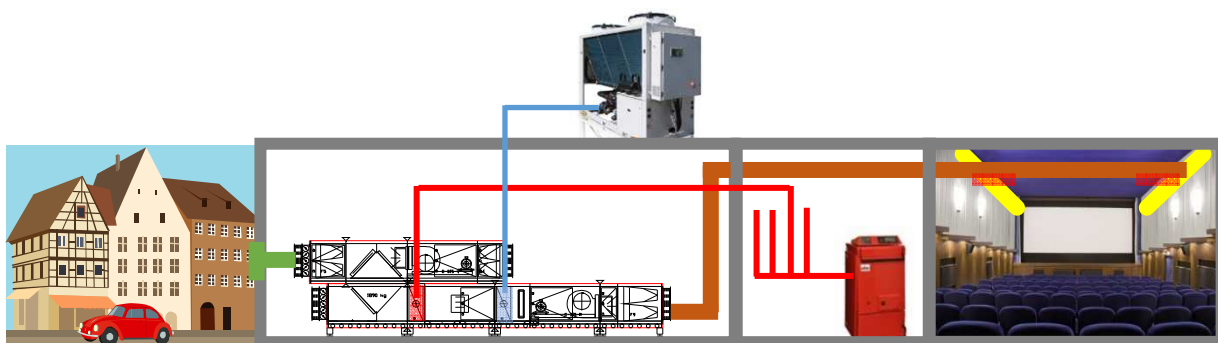
K funkci tohoto systému je zapotřebí ještě pomocné energie pro oběhová čerpadla. V běžné konfiguraci bychom našli jedno na rozdělovači v kotelně, druhé u regulačního (směšovacího) uzlu u ohřívače VZT jednotky. Dále je třeba napájení pro systém měření a regulace, příp. dalších prvků. Jejich průměrné výkony se vynásobí dobou provozu a získáme dodanou pomocnou energii. Protože dnes instalovaná čerpadla stejně jako ventilátory jsou plynule regulovatelná a pracují v širokém rozsahu výkonu, bude průměrný roční výkon nižší než jmenovitý. Na druhé straně je zavedeným zvykem a technicky výhodné regulovat výkon teplovodního ohřívače kvalitativně, změnou teploty, nikoliv průtoku. K tomu ještě relativně malý příkon čerpadel oproti jiným prvkům ve vzduchotechnice nás opravňuje použít průměrné roční příkony bez analýzy provozu. Pro vytápěnou plochu 500 m² uvádí tab. A.30 pro čerpadlo bez regulace otáček průměrný příkon 55,6 W. K tomu ještě servopohon trojcestného ventilu, servopohonu uzavíracích klapek na VZT jednotce, které dohromady započteme výkonem 0,5 W. Průměrná doba otopného období se pohybuje kolem 200 dní, ohřívač však bude v provozu i v době, kdy teplota vnějšího vzduchu bude vyšší než 13 °C. Graf potřeby tepla ukazuje nutnost vytápění od října do května, tj. 7 měsíců, tj. 215 dní, vč. dnů pracovního klidu, kdy sice není třeba větrat, ale je nutno udržovat teplotu v místnosti. Z těchto hodnot získáme

$$P = P_i \cdot t = (2.55,6 + 0,5) \cdot 215 = 24 \text{ kWh}$$

Nyní můžeme určit celkovou primární energii pro systém teplovzdušného vytápění pro dodanou a pomocnou energii (konverzní faktory pro zemní plyn a elektřinu)

$$Q = Q_i \cdot f_i = 268 \cdot 500 \cdot 1,1 + 24 \cdot 3,2 = 147 \text{ MWh} = 295 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Systém chlazení pro klimatizaci sálu je možno sestavit v mnoha variantách, zde zvolíme energeticky výhodný systém přímého chlazení, kdy chladičem v jednotce je výparník chladivového okruhu a na střeše je kondenzační jednotka s kompresorem. Příkon kompresorového chlazení je značně odvislý od dodávaného výkonu, s částečným zatížením kompresoru významně klesá, proto stejně jako u zdrojů tepla je třeba pro celoroční hodnocení použít sezónní hodnotu účinnosti. Evropský sezónní energetický faktor ESEER, ve srovnání k jednoduchému EER (chladičímu faktoru), je stanoven jako kombinace různých provozních podmínek definovaných nejnověji podle EUROVENT/CEN tak, aby faktor odrážel co nejlépe provoz stroje v normálních sezónních provozních podmínkách mimo projektované maximální parametry. Koncepti systému znázorňuje obrázek 5.4.



Obr. 5.4. Přímé chlazení vzduchu v klimatizační jednotce

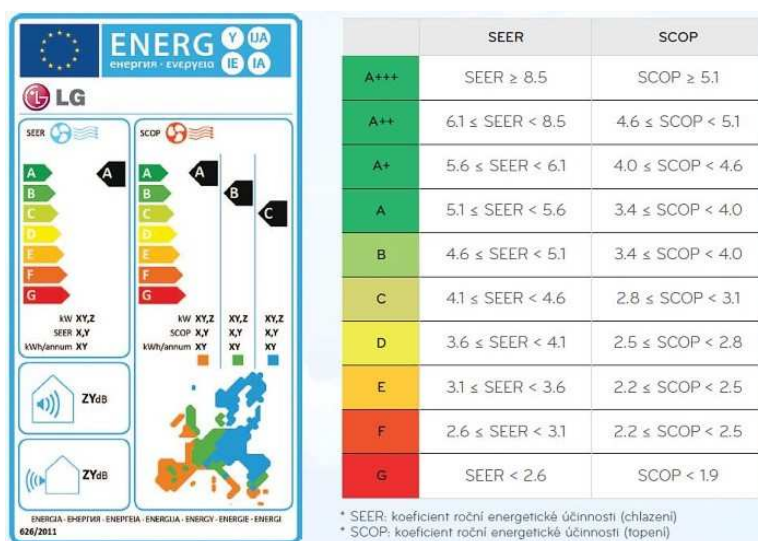
Analogií sezónního chladicího faktoru je sezónní topný faktor SCOP. Výrobci mají povinnost tyto hodnoty uvádět (obrázek 5.5) a jsou také kritériem klasifikace do tříd energetických štítků, příklad uvádí obrázek. Pro náš případ vybereme zařízení třídy A+ s hodnotou SEER min. 5,6. Z toho plyne spotřeba elektřiny za celoroční provoz

$$Q = \frac{Q_c}{SEER} = \frac{24}{5,6} = 4,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

V chladivovém systému nejsou žádná oběhová čerpadla, chlazení kondenzátoru zajišťují ventilátory, jejich spotřeba je v tomto případě zahrnuta ve spotřebě kondenzační jednotky, tvoří nedílný celek. V případě použití vodou chlazeného kondenzátoru a např. chladicí věže či suchého chladiče by musela být spotřeba ventilátorů připočtena, stejně jako oběhových čerpadel. Vypočtená energie pro chlazení musí být ještě z chladiče ve strojovně převedena větracím vzduchem do místnosti, uplatní se účinnost rozvodů a sdílení stejně jako v případě teplovzdušného vytápění. Spotřeba tak stoupne na

$$Q = \frac{Q}{\eta} = \frac{4,3}{0,87 \cdot 0,85} = 5,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Přepočteno na primární energii získáme $5,8 \cdot 3,2 = 18,6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$, z toho neobnovitelná činí $5,8 \cdot 3 = 17,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obr. 5.5 Energetický štítek klimatizace typu Split

5.2.2 Energie na dopravu vzduchu

Měrný příkon ventilátoru SFP je již zažitou veličinou a tak tuto hodnotu najdeme v diagramech pro ventilátory nebo jako výstup selekčních programů pro ventilátory i VZT jednotky. Snadno ji lze určit také ze znalosti průtoku, dopravního tlaku ventilátoru a příkonu motoru. Na obrázku 5.6 je diagram ventilátoru běžně užívaného ve VZT jednotkách (radiální ventilátor s volným oběžným kolem). V řešeném případě je ventilátor umístěn ve VZT jednotce s filtrem a třemi výměníky, které mají určitou tlakovou ztrátu, kterou rovněž programy výrobců jednotek udávají. S uvážením připojeného potrubního rozvodu lze odhadnout celkový tlak na 1,2 kPa. Nejbližší vyšší motor má příkon 4 kW. Pro tento pracovní bod lze vypočítat

$$\text{SFP} = \frac{4000}{7200/3600} = 2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$$

Což je více než $1750 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ pro referenční budovu, stále však na hranici třídy 4. Pokud by VZT jednotka neobsahovala např. chladič, snížila by se tlaková ztráta natolik, že by bylo možné použít motor 3 kW, čímž by SFP klesl na $1500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$. Snížení tlakových ztrát je možné také zvětšením velikosti jednotky, čímž dojde k poklesu průtočné rychlosti. Prostudováním grafu ventilátoru zjistíme, jak se v jeho pracovní oblasti mění jeho účinnost. Navržený pracovní bod dosahuje vysoké, téměř maximální účinnosti. Tab. A.62 uvádí orientační měrný příkon $5000 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ pro AC motory (naš případ), ovšem pro případ ohřívače nebo chladiče a externí tlakové ztráty do 300 Pa. VZT jednotka v našem případě má ohřívač i chladič. Tlaková ztráta VZT jednotky závisí rovněž na druhu filtrace vzduchu, počtu filtrů a jejich odlučivosti. Tyto okolnosti již zohledňují postupy stanovení účinnosti podle nových směrnic pro ekodesign. Z hodnoty SFP určíme příkon ventilátorů, jednotka je obousměrná (přívod i odvod), přičemž odvodní ventilátor bude mít z důvodu menší ztráty jednotky menší motor, takže celkový příkon bude $P = 3 + 4 = 7 \text{ kW}$. Když se vrátíme k hodnotě SFP, je to pro obousměrnou jednotku $7000/2 = 3500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$, tzn. že vybraný ventilátor má lepší než průměrně očekávané vlastnosti, které uvádí TNI.

Budova má předepsáno 257 provozních hodin ročně, takže spotřebu energie bychom získali vynásobením příkonu a času. Všechna dnes vyráběná zařízení však musí obsahovat regulaci vzduchového výkonu. V našem případě můžeme regulace průtoku využít k větrání dle potřeby, odvislé od počtu osob. Jestliže pro vnitřní zisky platí referenční hodnota výskytu 0,25 %, tj. osoby se zdržují v prostoru jen 25 % času (nebo jsou tam stále, ale v průměru jen v 25% zastoupení). Z toho plyne, že i výkon ventilátoru může klesnout dle tohoto předpokladu. Se snížením vzduchového výkonu příkon značně klesne, v závislosti na typu regulace. V grafu charakteristiky ventilátoru je vyneseno provozní bod při snížení otáček o 1/3. Relaci výkonu a otáček ventilátoru uvádí vztah, do něhož můžeme dosadit odečtené hodnoty otáček a zjistit sníženou hodnotu výkonu a tím příkonu

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \rightarrow P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = 4000 \cdot \left(\frac{1980}{3025}\right)^3 = 1121 \text{ W}$$

a vidíme, že se jedná o 70 %. Plynule řízené ventilátory poskytují vysoké možnosti úspor energie. Ventilátory s AC motory jsou proto vybavovány frekvenčními měniči. Pokud bychom prohlásili 67% výkon za průměrný, můžeme již roční spotřebu energie určit jednoduše pro oba ventilátory (přívodní a odvodní)

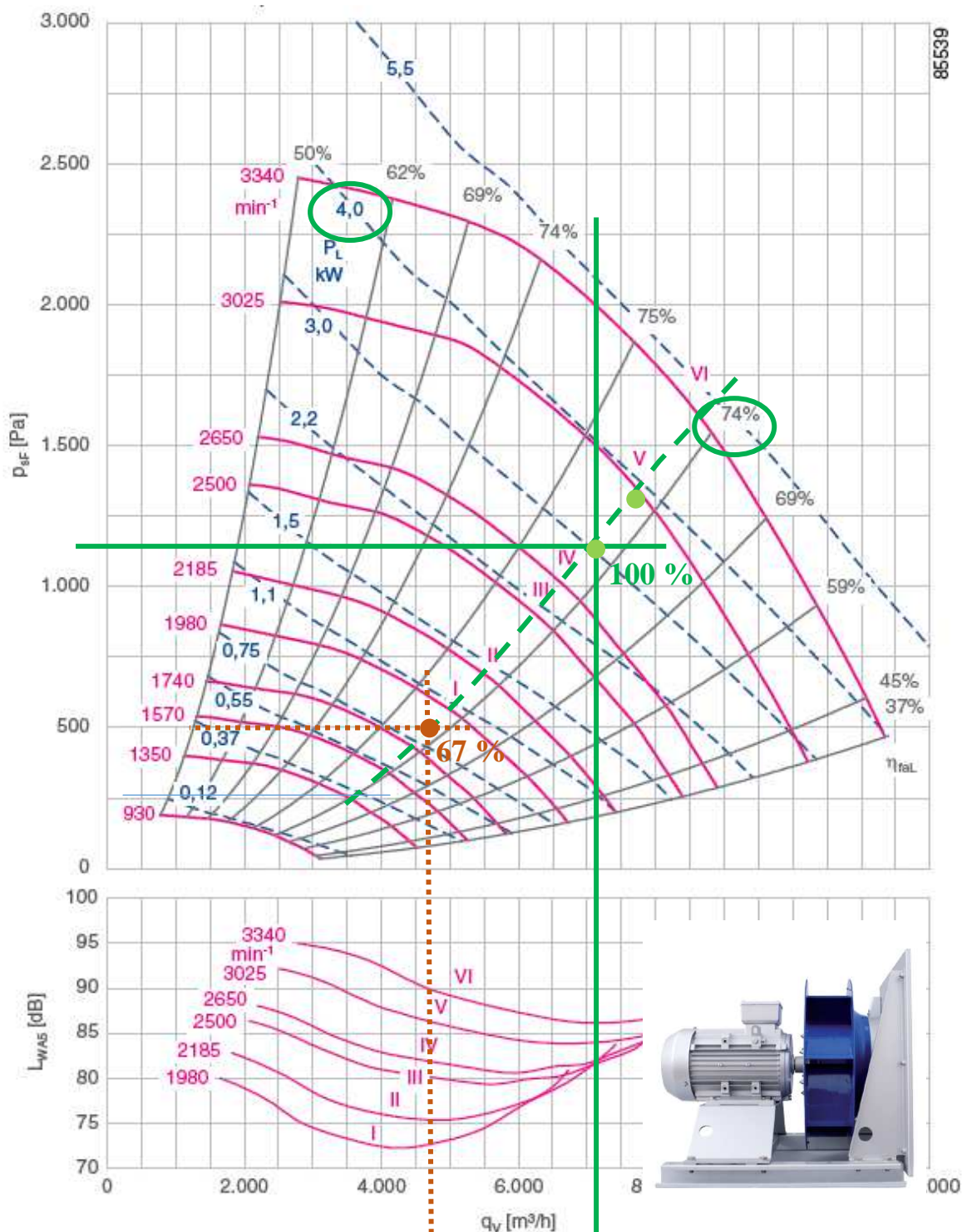
$$P = P_2 \cdot t = (1121 + 840) \cdot 24 \cdot 257 = 12,1 \text{ MWh}$$

Provoz ventilátorů jsme započítali 24 h, tedy i v mimopracovní dobu, neboť provoz zařízení není spojen jen s větráním, ale i vytápěním a chlazením. Na druhou stranu

v mimopracovní době může být vytápění zajištěno pouze oběhovým vzduchem při provozu pouze přírodního ventilátoru, odvodní může být odstaven a v případě malých ztrát či zisků může jednotka zcela v noci vypnutá. Při zvážení těchto okolností výpočet upravíme

$$P = P_2 \cdot t = (1121.24 + 840.11) \cdot 257.16,7 = 8,4 \text{ MWh} = 16,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Dále učíme primární energii $3,2,8,4 = 26,9 \text{ MWh} = 54 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ a z toho neobnovitelnou složku $25,2 \text{ MWh} = 53,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obr. 5.6 Určení příkonu motoru ventilátoru a otáček ventilátoru při plném a 2/3 zatížení

5.2.3 Energie na vlhčení vzduchu

Při vyšších požadavcích na prostředí, které zahrnují udržování vlhkosti, je nutné zvlhčování, příp. i odvlhčování vzduchu. Pro určení energetické náročnosti vlhčení je nejprve nutno zjistit množství páry, která musí být vzduchu dodána a následně určit, jak je vodní pára připravena. Vzduch může být samozřejmě vlhčen i rozstříkáváním vody nebo odpařováním vody z nějakého materiálu, výsledek je však stejný – voda se přemění v páru. Buď rovnou, např. ve vyvíječi páry, nebo odpařením přímo v proudu vzduchu a teplo k odpaření je odebráno vzduchu, což je nutno kompenzovat jeho vyšším předeřevem nebo následným dohřevem. Pokud by vzduch nebyl ohřát ve VZT jednotce, stane se tak nakonec v obsluhované místnosti, kdy se tento výkon odebere otopné soustavě. Způsob, jak se to stane, neovlivní výsledek bilance, pouze zařídění této spotřeby. Vlhčení vodou je dnes ojedinělé a vlhčení parou teplotu vzduchu v zásadě nemění.

TNI 73 0330 nabízí několik možností výpočtu, použijeme fyzikální řešení a vlhkostní bilanci. Pro vzdělávací budovy je směrná hodnota 40 g.h^{-1} vodních zisků jedné osoby, s uvažováním výskytu osob stejně jako pro tepelné zisky, tj. 25% obsazenost, určíme $240.0,25.40 = 3,8 \text{ kg.h}^{-1}$. Vlhkost vnějšího vzduchu je během roku značně proměnlivá, její průměrné hodnoty po měsících jsou uvedeny společně s teplotami. Když se vrátíme k měsíci březnu, zjistíme z tab. C.2., že venkovní vzduch obsahuje $4,7 \text{ g.m}^{-3}$, což odpovídá $3,6 \text{ g.kg}^{-1}$ měrné vlhkosti. Vnitřní vlhkost vyjádříme

$$x_i = x_e + \frac{M}{V\rho} = 3,6 + \frac{3840}{7200.1,2} = 4,1 \text{ g.kg}^{-1}$$

Pokud by bylo cílovým stavem udržování teploty $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a vlhkosti 40 %, znamenalo by to měrnou vlhkost $5,8 \text{ g.kg}^{-1}$. Vnitřní zisky tedy nejsou dostatečné, je třeba přiváděný vzduch zvlhčovat o hodnotu $5,8 - 4,1 = 1,7 \text{ g.kg}^{-1}$. Vzhledem k velkému průtoku to bude velké množství páry

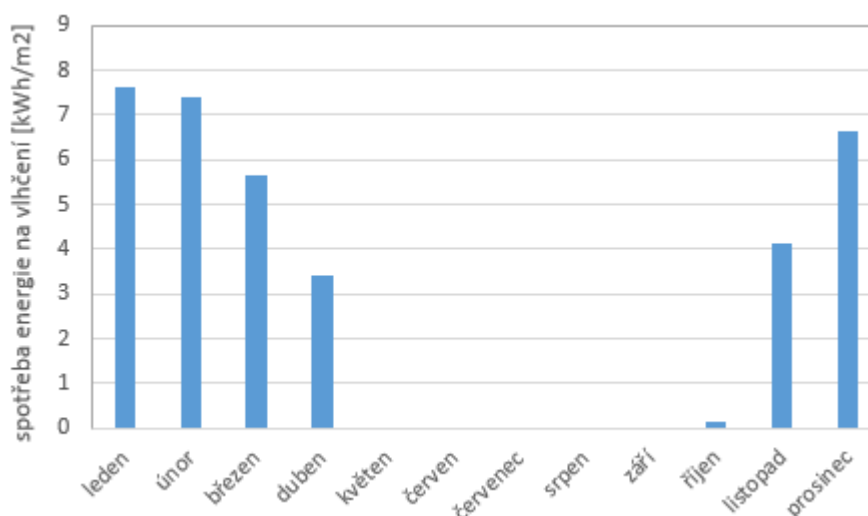
$$M = V\rho\Delta x = 7200.1,2.1,7 = 14,7 \text{ kg.h}^{-1}$$

Již dříve jsme uvažovali s počtem 22 pracovních dní a 11 h je hodnota předepsaná, čili za měsíc březen je třeba vyrobit vodní páry $14,7.22.11 = 3,6 \text{ t}$. Spotřebu energie na vlhčení, kdy předpokládáme umístění elektrodového parního vyvíječe ve strojně vzduchotechniky, s min. rozvody, kde by docházelo k tepelným ztrátám při distribuci

$$Q = \frac{M.1}{\eta} = \frac{2400}{3600.0,86} 3554 = 2821 \text{ kWh} = 5,6 \text{ kWh.m}^{-2}$$

Jak se spotřeba liší v dalších měsících, je patrné z grafu na obrázku 4.7. V letních měsících, kdy je venku vzduch již dostatečně vlhký, potřeba vlhčení nevzniká. Vzhledem k tomu, že zdrojem je elektrický vyvíječ, je hodnota primární energie velmi vysoká, ročně činí 112 kWh.m^{-2} .

Méně používanou úpravou vlhkosti je řízené odvlhčování, kdy na chladiči v důsledku jeho nízké povrchové teploty kondenzuje vzdušná vlhkost. Ochlazení vzduchu je však nutné kompenzovat následným dohřevem vzduchu. Tato úprava může být realizována kombinací vodního ohříváče a chladiče, tj. s dodávkou tepla a chladu, které jsou vyráběny nebo tepelným čerpadlem, kde tyto výměníky jsou realizovány výparníkem a kondenzátorem jednoho kompresorového okruhu, což je výrazně energeticky úspornější. Jsou to však specifické případy, typicky bazény, příp. prostory s vysokými nároky na prostředí, jako je výroba citlivé elektroniky nebo farmakologie či zdravotnictví. Přestože jsou tyto spotřeby relativně vysoké, předpisy určující ENB se této kapitole nijak podrobně nevěnují.



Obr. 5.7 Spotřeba energie na vlhčení pro jednotlivé měsíce

5.2.4 Další spotřeby

Pro celkový obrázek energetických toků v řešeném sále bude účelné alespoň zjednodušeně určit další spotřeby. Pro osvětlení je k dispozici TNI 73 0327:2011, která uvádí několik metod výpočtu spotřeby energie na osvětlení a k tomu směrné hodnoty v závislosti na kvalitativní třídě osvětlení, účelu budovy/místnosti a způsobu ovládání. Pro vzdělávací budovy, střední třídu a ruční ovládání výkonu vzhledem k dostupnosti denního světla je směrná hodnota $40,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. V případě automatického udržování konstantní osvětlenosti klesne na $31,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. TNI 73 0330 ovšem uvádí orientační hodnoty značně nižší o hodnotě $21,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. V hodnotě primární energie to znamená $21,7\cdot3,2 = 69,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

U potřebné energie na přípravu teplé vody poskytuje pomocné údaje TNI 73 0331, kde se tab. A.51 uvádí spotřeba teplé vody $3,2 \text{ l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ pro vzdělávací budovy, což pro sál představuje $1,6 \text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$. Měrné hodnoty jsou platné pro větší celky, např. včetně chodeb na úklid, kuchyněk, hygienického zázemí apod. Uvážíme-li při návštěvnosti sálu $4\text{x} 100$ osob = 400 osob během dne, každá 1x umytí rukou, dojdeme k množství $400\cdot2 = 800 \text{ l}$, takže hodnotu $1,6 \text{ m}^3$ můžeme považovat za nadhodnocenou, upravíme na $0,9 \text{ m}^3$ (přirážka na mokry úklid). Příprava teplé vody je proslulá vysokými ztrátami v rozvodech kvůli nutné cirkulaci, příp. i zásobnících, jsou-li významného objemu. Pro naši orientační představu postačí, započteme-li k potřebě tepla ztráty v rozvodech na hodnotě 30 % a uvážíme zdroj tepla stejný jako pro vytápění, tedy s účinností 0,89 a vyčíslíme

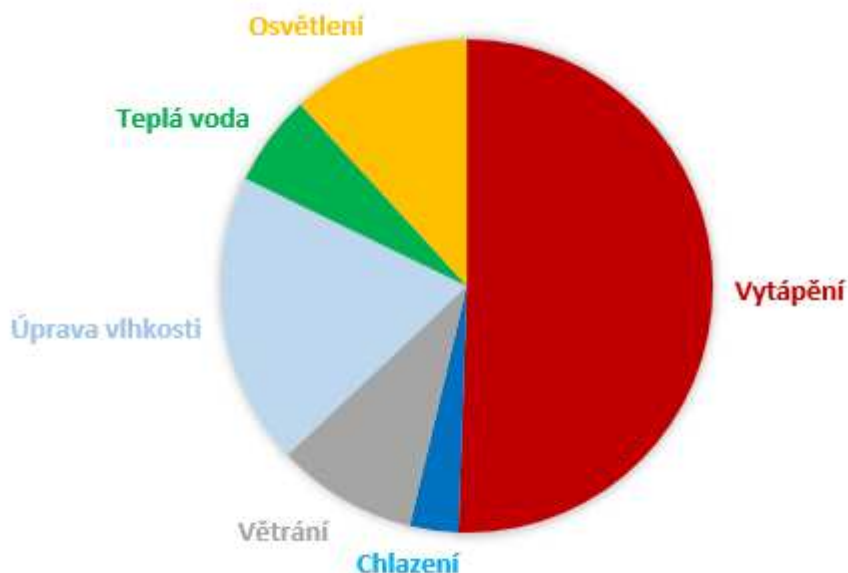
$$Q = \frac{1,3 \cdot V \cdot d \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 0,9 \cdot 257,1 \cdot 163 \cdot (50 - 10)}{0,89} = 15,7 \text{ MWh} = 31,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$$

Přepočteno na hodnotu primární energie, získáme $31,4 \cdot 1,1 = 34,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.

5.2.5 Celková bilance

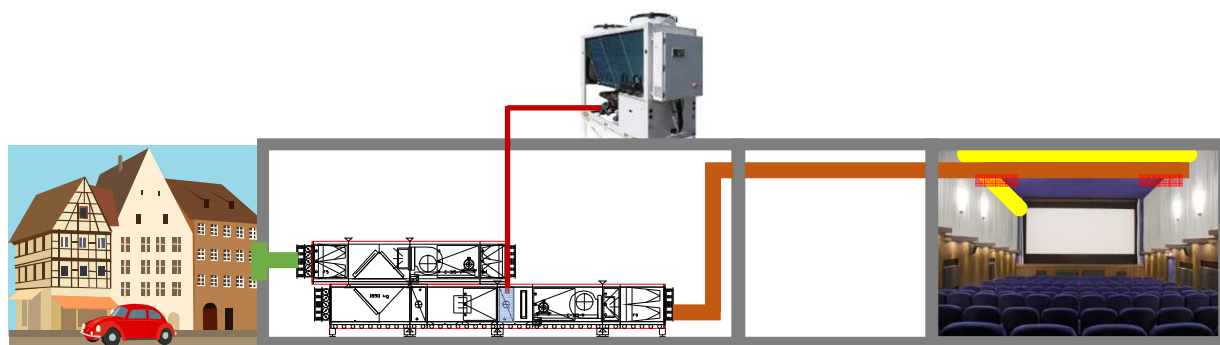
V hodnotách celkové primární podíl jednotlivých složek zobrazuje koláčový graf na obrázku 5.8. Více než poloviční podíl má vytápění, zejména z titulu velkého počtu přeměn energie, kde každý další vložený prvek či okruh snižuje celkovou účinnost systému. Také je nutné zmínit, že velký počet osob v zóně vyvolává vysoké nároky na větrání, které je spojeno s potřebou tepla na ohřev vzduchu a to i při využití tepla z odpadního vzduchu. Velké VZT

zařízení je tak patrné i ze spotřeby na větrání. S tím souvisí také energie na vlhčení; použitím výměníku na zpětný zisk tepla, který současně převádí i vodní páru by bylo možné tuto spotřebu min. o 1/3 snížit. Chlazení má spotřebu naopak velmi nízkou díky vysoké energetické účinnosti a vcelku malé potřebě během roku. Celková primární energie tak má hodnotu 583 kWh.m^{-2} a z 96 % neobnovitelná.



Obr. 5.8 Rozdělení spotřeby energie

Vzhledem ke koncepci chlazení by bylo možné nahradit konvenční zdroj tepla tepelným čerpadlem vzduch/vzduch, které by zajistilo teplovzdušné vytápění prostoru. Dnešní splitové systémy jsou schopny garantovat topný výkon i při teplotách do $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, tj. dostatečně pro naše klimatické podmínky. Systém pak vypadá poměrně jednoduše, obrázek 5.9.



Obr. 5.9 Přímé chlazení vzduchu v klimatizační jednotce

Z předchozího víme, že VZT jednotka musí ročně dodat 203 kWh.m^{-2} . Tepelné čerpadlo požadujeme ve třídě A+, tedy s topným faktorem nejhůře 4,0. Spotřeba elektřiny tedy bude

$$Q = \frac{Q_H}{SCOP} = \frac{203}{4} = 50,7 \text{ kWh.m}^{-2}$$

U tepelného čerpadla platí, že součástí dodané energie je i energie dodaná z vnějšího prostředí. Tzn., dodaná energie činí stále 203 kWh, z toho elektřina 51 kWh a zbytek, 152 kWh je energie odebraná venkovnímu vzduchu. Přepočteno na primární energii to ovšem znamená zvýšení podílu obnovitelné energie v celkové bilanci ze 4 na 24 %. Přestože celková spotřeba klesla, skutečnost, že pro pohon tepelného čerpadla je nutná elektřina místo ekologicky přijatelnějšího zemního plynu, tepelná čerpadla značně znevýhodňuje. Celková primární energie klesla mírně tím, že ubylo vložených okruhů ve způsobu výroby tepla v řetězu od zemního plynu až do teplého vzduchu přiváděného z distribučních elementů.

5.2.6 Referenční budova

Nyní vyvstává otázka, zda je vypočtená hodnota nízká či vysoká. Jako porovnávací etalon slouží referenční budova, jejíž vlastnosti jsou stanoveny na nákladově optimální úrovni vzhledem k energetické náročnosti vyhláškou. Tyto vlastnosti se projeví nastavením hodnot účinností systémů a faktory přepočtu na primární energii. Referenční budova má předepsány hodnoty součinitele prostupů tepla, jejichž aplikace by vedla ke změně měrné ztráty prostupem H . Tím se nebudeme v této kapitole zabývat, zde zkoumáme jen variantní technické řešení systémů pro výrobu a distribuci energie.

Pro vytápění má referenční budova účinnost zdroje 0,8; distribuce 0,85 a sdílení 0,80. Z toho plyne spotřeba energie

$$Q = \frac{Q_H}{\eta_{sd} \cdot \eta_{em} \cdot \eta_{dis}} = \frac{150}{0,80 \cdot 0,85 \cdot 0,80} = 275 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

Celková primární energie bude $1,1 \cdot 275 = 303 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$, obnovitelná složka je nulová, proto je neobnovitelná rovněž $303 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Pomocná energie čerpadel není předepsána, tudíž je shodná s hodnocenou budovou a má hodnotu 24 kWh. Dodaná energie má tedy hodnotu v celkové primární energii $24 \cdot 3,2 / 500 + 303 = 303,2 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Vytápění tedy splní požadavek na $295 / 303 = 0,98$. Navržená budova je o 2 % úspornější, než budova referenční. Takové hodnocení je ovšem za hranicí přesnosti metody.

Pro režim chlazení je referenční budova vybavena stíněním s 80% účinností, tj. se stínícím součinitelem 0,2. To samozřejmě zredukuje zisky, ale stavebním řešením a vybavením se nyní nezabýváme, pouze technickými systémy. V systému chlazení je pro referenční budovu předepsán chladicí faktor, který má funkci sezónního faktoru hodnotu 2,7. Spotřeba energie na chlazení tak bude pro referenční budovu mít hodnotu $24 / 2,7 = 8,9 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$, přepočteno na celkovou primární energii $8,9 \cdot 3,2 = 28,4 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Neobnovitelná část tvoří $8,9 \cdot 3,0 = 26,7 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.

U větrání je předepsán měrný příkon ventilátoru $1750 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ a účinnost ZZT 60 %. Příkon ventilátoru je za provozu hodnotou proměnnou, jak jsme rozebrali výše. U referenční budovy takové podrobnosti nejsou definovány; pokud tedy bude řešení shodné s posuzovanou budovou, mohla by být spotřeba určena pouze podílem SFP hodnoceného a referenčního ventilátoru, tedy $1750 / 2000 = 0,88$. Tj. za předpokladu, že v referenční bude osazen ventilátor požadovaného měrného příkonu, bude jeho spotřeba při shodném provozu s uvažovaným o 12 % nižší. Že pro uvažovanou skladbu jednotky je to hodnota technicky velmi obtížně dosažitelná, ponechme stranou.

V otázce vlhčení vzduchu je předepsaná účinnost zdroje vlhčení 70 %, což je hodnota nižší než v hodnocené budově, takže $112 \cdot 0,86 / 0,7 = 137,6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ primární energie.

U ohřevu teplé vody je opět předepsána nižší účinnost zdroje, 85 % na místo 89 % pro uvažovanou plynovou kotelnu. Tím spotřeby referenční budovy budou mírně vyšší.

U osvětlení je předepsáno referenční budově dosažení maximálního příkonu $0,1 \text{ W}$ na m^2 osvětlované plochy při intenzitě osvětlení 1 lx . Vzhledem k tomu, že přednáškový sál musí mít osvětlení pro čtení a psaní, tj. 400 lx pro dospělé osoby a směrná hodnota měrného příkonu vztaženého k podlaze je 10 W.m^{-2} pro vybranou hodnotu spotřeby, můžeme dopočítat $10/400 = 0,025 \text{ W.m}^{-2}$. Tato úvaha je ovšem značně zjednodušená. Hodnotu pro referenční budovu, vzhledem k tomu, že je určena výběrem z tabulky doporučených hodnot, ponecháme beze změny.

Celková dodaná primární energie tak činí 94% hodnoty referenční budovy, tedy z tohoto hlediska bude klasifikována třídou C.

5.2.7 Budova s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB)

Od roku 2020 budou povoleny k výstavbě pouze budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Definice tohoto globálního evropského cíle byla EU ponechána na národní úrovni a v ČR ji určuje Vyhláška 78/2013 Sb. Budova získá spotřebu téměř nulovou tím, že spotřebuje méně neobnovitelné primární energie než budova referenční a toto snížení se odvíjí od typu budovy. Vzdělávací budovy patří do kategorie ostatní, kde se vyžaduje snížení o 10% . Nejde tedy v pravém slova smyslu o snížení spotřeby, ale o lokální výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Kromě toho jsou předepsány přísnější hodnoty součinitele prostupu tepla, podobně jako pro pasivní domy. Tímto kritériem se však nebudeme zabývat.

Spotřeba je z hlediska energonositele přibližně z poloviny složená z tepla (zemní plyn) a z poloviny z elektřiny. Dosáhnout většího podílu obnovitelné energie můžeme buď vlastní výrobou elektřiny fotovoltaikou nebo použitím obnovitelného paliva na bázi dřeva.

Použitím kotle na pelety sice zvýšíme celkovou primární energii v důsledku vyššího koeficientu přeměny a menší účinnosti výroby, neobnovitelná složka však klesne z 295 kWh.m^{-2} na 57 kWh.m^{-2} . Při ponechání ostatních systémů beze změny, snížíme neobnovitelnou část primární energie z 570 kWh.m^{-2} na 332 kWh.m^{-2} a v celkové bilanci tak 47% spotřeby energie je kryto z obnovitelných zdrojů. Snížíme-li požadovanou neobnovitelnou energii o 10% , abychom splnili kritérium nZEBu, dostaneme hodnotu 546 kWh.m^{-2} , což hodnotou 332 kWh.m^{-2} s velkou rezervou splníme.

Vnímavý čtenář však cítí, že toto opatření není paušálně uplatnitelné. Náhrada zemního plynu dřevem jako ekologickým topivem by v plošném měřítku spíše uškodila, nehledě na podmínky jeho distribuce a skladování. Paušálně použitelným opatřením je výroba elektřiny v malém měřítku pro vlastní spotřebu, nebo solární ohřev teplé vody, pokud je tato spotřeba významná. To se týká zejména obytných staveb, ve vzdělávacích objektech či administrativě je nutné hledat úspory jinde.

Tab. 5.1 Celková bilance spotřeb hodnocené, referenční a upravené budovy (kWh.m^{-2})

kWh.m^{-2}	Hodnocená		Referenční		nZEB	
	Prim CE	Prim NE	Prim CE	Prim NE	Prim CE	Prim NE
Vytápění	295,0	294,9	302,7	302,6	341,9	57,0
Chlazení	18,6	17,4	28,4	26,7	18,6	17,4
Větrání	54,0	53,8	47,5	47,3	54,0	53,8
Úprava vlhkosti	112,0	105,0	137,6	129,0	112,0	105,0
Teplá voda	34,5	34,5	36,2	36,1	34,5	34,5
Osvětlení	69,0	65,1	69,0	65,1	69,0	65,1
	583	571	621	607	630	333

Vyzkoušíme tedy ještě vhodnější alternativu, tj. PV výrobu elektřiny pro vlastní spotřebu. TNI poskytuje snadný postup výpočtu vyrobené energie na základě dopadajícího slunečního záření, plochy kolektorů a jejich typu. Z předchozího víme, že měsíční spotřeba elektřiny pro ventilátory je $12,1/12 = 1,1$ MWh, při uvažování nočního útlumového provozu 700 kWh/měsíc. Významná je energie na vlhčení, která se měsíčně pohybuje od 0 do 3,8 MWh. Účinnost fotovoltaického systému je dle ČSN EN 15316-4-6 definována vztahem

$$\eta = \frac{K \cdot f}{I_{\text{ref}}}$$

Kde K udává špičkový výkon ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ při referenční hodnotě intenzity dopadajícího slunečního záření pro různé typy PV článků a součinitel f udává, jak jsou zabudovány do stavby, což ovlivňuje jejich větrání a tím účinnost (při vysokých teplotách klesá). Běžný polykrystalický panel má špičkový výkon $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, při částečném větrání (uložení na střeše ve sklonu je $f = 0,75$, z čehož plyne účinnost

$$\eta = \frac{K \cdot f}{I_{\text{ref}}} = \frac{150 \cdot 0,75}{1000} = 0,113$$

Klimatické hodnoty stanovuje TNI 73 0331, kdy po jednotlivých měsících určíme hodnotu dopadajícího záření na svislou jižní plochu, pro měsíc březen dosadíme

$$P = \eta \cdot I \cdot A = 0,113 \cdot 74,4 \cdot 60 = 840,7 \text{ kWh}$$

Při instalaci 60 m^2 kolektorové plochy na jižní svislou stěnu získáme množství vyrobené energie od 232 kWh v lednu až 651 kWh v měsíci srpnu. Pro celoročně vyváženou bilanci je svislá orientace výhodná.

Potřebná energie pro pohon ventilátorů činí za rok 8,4 MWh, vyrobená energie za celý rok činí 9,1 MWh. Přebytek energie, zejména v létě, by mohl být využit pro systém chlazení. Celkovou bilanci sestavíme do tabulky. Vidíme, že výroba v žádném měsíci spotřebu nepřekročí, tj. vyrobenou elektřinu využijeme plně v hodnocené budově.

Tab. 5.2 Celková bilance spotřeb a výroby elektřiny

	Slun. energie	Vyrobena energie	Příkon ventilátorů	Příkon chlazení	Celkem	Pokrytí spotřeby výrobou
	kWh.m ⁻²	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Leden	34,2	231,9	700		700	33
Únor	51,1	346,5	700		700	49
Březen	74,4	504,4	700		700	72
Duben	85,7	581,0	700		700	83
Květen	87	589,9	700	138	838	70
Červen	75,6	512,6	700	496	1196	43
Červenec	78,1	529,5	700	712	1412	38
Srpen	96	650,9	700	755	1455	45
Září	77,8	527,5	700		700	75
Říjen	74,4	504,4	700		700	72
Listopad	45,4	307,8	700		700	44
Prosinec	29	196,6	700		700	28
	809	5483	8400	2101	10501	52

Existují modelové příklady energetické bilance budov, kdy je nulové, či téměř nulové spotřeby dosaženo nadprodukcí energie, ovšem v době, kdy není průběžně spotřebovávána. Využití solárních přebytků z léta v zimě je možné pouze za předpokladu akumulace, a ta ve velkém měřítku není technicky uspokojivě vyřešena ani u skladování tepla, natož elektrické energie.

Vyrobené množství nyní započteme do dodané energie s patřičnými faktory energie primární. Pro potřeby průkazu se tato čísla objeví i v bilanci energonositelů a v dodané energii, nás však zajímá, zda tímto opatřením splníme požadavek na budovu s téměř nulovou spotřebou.

Tab. 5.3 Množství dodané energie hodnocené budovy

kWh.m ⁻²	prim CE	prim NE
zemní plyn	330	329
elektřina	254	241
celkem	583	571

Vyrobená elektrická energie má v celkové primární energii hodnotu $-3,25,5 = -17,5$ MWh, převedeno na jednotku podlahové plochy $-17,5/500 = 35,1$ kWh.m⁻², z čehož neobnovitelná složka činí $-16,4/500 = 32,9$ kWh.m⁻². Když tuto vyrobenou energii odečteme od dodané energie, dostaneme snížené energetické nároky. Neobnovitelná primární dodaná energie referenční budovy činí pro nZEB 546 kWh.m⁻² (snížení o 10 % oproti referenční budově), což budova s navrženým PV systémem s mírnou rezervou splní. Vztaženo k hodnotě referenční budovy zjistíme, že posuzovaná budova dosahuje v energetických parametrech 88 % referenčních hodnot, tj. budova dle Přílohy č. 2 k vyhlášce č. 78/2013 Sb. spadá do energetické třídy C, která je v rozsahu 0,75 až 1,0. Třída A vyžaduje poloviční množství energie než referenční budova, třída B 75 %. Dosažení kategorie téměř nulové spotřeby nevyžaduje tedy splnění podmínek třídy A „mimořádně úsporná“ ani B „velmi úsporná“. Stačí hodnocení C „úsporná“.

Tab. 5.4 Množství dodané energie hodnocené budovy

kWh.m ⁻²	prim CE	prim NE
zemní plyn	330	329
elektřina	254	241
Vyrobená PV	-35	-33
elektřina s PV	219	208
celkem s PV	548	538
Referenční ZP+ELE	621	607
podíl	0,88	0,89

V případě peletové kotelny, kde se šetří větší množství neobnovitelné energie, je hodnocení B, protože $333/607 = 0,54$; což spadá do rozsahu 0,5 až 0,75. Ještě dalším menším opatřením, např. menším systémem fotovoltaiky, bychom dosáhli z hlediska podílu

obnovitelných zdrojů kategorie A „mimořádně úsporná“. Množství dodané energie však zůstává ve všech případech beze změny, mění se jen její forma.

Vzhledem k tomu, že jsme v kapitole o větrání, na závěr se ještě vrátíme k větracímu systému jako potenciálu pro energetické úspory. Účinnost zpětného získávání tepla závisí na typu výměníku a pro jeden spojitý prostor (jakým je náš sál), můžeme použít výměník rotační, jehož účinnost bude 85 %. Tím se výrazně sníží měrná ztráta větráním H

$$H = (1 - \eta)V\rho c = 0,15 \cdot 2,1 \cdot 2,1010 = 364 \text{ W/K}$$

Tím se zásadně změní celá tepelná bilance a potřeba tepla klesne z původní hodnoty $150 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ na $103 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, což je přibližně o třetinu méně. O tuto třetinu klesne u hodnocené budovy primární energie na vytápění, přičemž hodnota u referenční budovy se nemění. Touto změnou bude mít hodnocená budova $498 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ neobnovitelné primární energie, což je méně než 0,9 násobek referenční budovy $0,9 \cdot 670 = 546 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, čímž je splněna podmínka nZEBu. Rotační výměník není samozřejmě použitelný vždy, ale při vysokých nárocích na větrání (tj. budovách s vysokou obsazeností lidmi) je tato cesta zvyšování energetické účinnosti účelná.

Samozřejmě není přiměřené takto vybavit všechny budovy, jistě i nadále budou budovy s větráním přirozeným a pak vyvstává otázka, jak se toto ve výpočtu projeví. V dobách 2. pol. 20. století, kdy budovy byly značně netěsné a mohly tak být větrány infiltrací, která je samovolným procesem, probíhalo toto větrání bez zásahu uživatele nepřetržitě, tedy 24 h. V dnešní době těsných plášťů budov je dosažení výměny vzduchu nad 0,1 realizovatelné jen otevíráním oken nebo jiných prvků, čili uživatelským zásahem, tedy pouze v provozní době.

Pozorný čtenář si jistě všiml některých ne zcela uspokojivě vyřešených jevů, jako je skutečnost, že průtok větracího vzduchu podle doporučených osob ne vždy koresponduje s návrhovým průtokem, že pro tepelné bilance je průtok 100 % a pro energie ventilátorů je redukován. Také vnitřní zisky se během roku nemění, přičemž jsou z části tvořeny umělým osvětlením, které se ovšem během roku podle dostupnosti slunečního záření mění. Také zpětné získávání tepla v letním období navyšuje tepelné zisky, přičemž by bylo vhodné pro větrání použít obtok ZZT a tím navýšit ztrátu větráním. Během roku je tak nejen účelné měnit směšovací poměr, ale i využití obtoku ZZT. Běžně se však výpočty realizují v komerčních programech a jejich tvůrci tyto a jiné problémy nějak museli rozetnout. Uživatel pak může obvlivnit jen málo parametrů v chování jednotlivých systémů. Pro zjednodušení obsluhy jsou také programy nabitě pomocnými hodnotami, které mají uživatelům napovědět, jaké jsou přiměřené vstupní hodnoty. Nicméně smyslem průkazu je posouzení navržených systémů vůči současnému technicky standardnímu řešení. Proto by měly být přednostně dosazovány hodnoty popisující skutečné chování navržených soustav, nikoliv průměrné nebo obvyklé. K tomu jsou však nutné podklady ze všech profesí TZB a porozumění funkcím jednotlivých zařízení a jejich prvků.

5.3 Tipy na úsporná opatření při větrání a klimatizaci budov

- Přesný výpočet tlakových ztrát a tím přesný výběr ventilátoru v pracovním bodě nejvyšší účinnosti.
- Řízení průtoku vzduchu na konstantní nebo proměnnou hodnotu v závislosti na tlakových poměrech v síti a VZT jednotce.
- Ventilátory s plynulou regulací otáček, nejlépe s EC motory.
- Nucené větrání vždy s rekuperací tepla s výměníkem s nejvyšší účinností dle typu provozu.

- VZT jednotky takové velikosti, aby byla průtočná rychlost do $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, prvky s malou tlakovou ztrátou, včasná výměna filtrů.
- Vysoká těsnost VZT rozvodů a kvalitní tepelné izolace.
- Chlazení vysoké účinnosti, přímé chlazení nebo chlazení kondenzátoru vodou ochlazovanou v chladicí věži.
- V případě použití zemních tepelných čerpadel využití primárního okruhu na chlazení místo strojně chlazené vody.
- Individuální regulace místností – z hlediska teploty vždy, z hlediska průtoků vzduchu u větších zařízení; vhodné také zónování po skupinách místností stejného provozu.
- Spotřeba energie ventilátorů se během roku příliš nemění, moderní EC ventilátory mají stejnosměrné motory 48 nebo 24 V, tedy napětí, které je vhodné pro připojení k fotovoltaickému systému; částečné krytí spotřeby je tak možné z obnovitelných zdrojů. Svislá poloha panelů je vhodná pro snížení výroby v létě a zvýšení v zimě.

Literatura

- [1] Nařízení komise EU č. 1253/2014 ze dne 7.7.2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek.
- [2] Úřední věstník Evropské unie ze 25.11.2014, L 337/24.
- [3] Ziehl-abegg, Centrifugal fans for air handling units, Eition 2011.
- [4] TNI 73 0327:2011 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení

6 Ing. Jakub Vrána, Ph.D.: Energetická náročnost přípravy teplé vody a využití šedé vody

6.1 Energetická náročnost přípravy teplé vody

6.1.1 Úvod

Při energetickém hodnocení budov je nutné stanovení potřeby tepla pro přípravu a rozvod teplé vody. Podle potřeby tepla pro přípravu teplé vody a ztrát tepla při její přípravě a rozvodu se stanovuje také energetický požadavek na zdroj tepla.

Pro výpočty potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu a rozvod platí ČSN EN 15316-3-1, 2, 3. Typické hodnoty pro výpočet energetické náročnosti přípravy teplé vody jsou uvedeny v TNI 73 0331. V této kapitole je popsán způsob výpočtu potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu podle obou výše uvedených předpisů.

6.1.2 Příprava teplé vody

Teplá voda, dříve nazývaná také teplou užitkovou vodou, je ohřátá pitná voda vhodná pro trvalé používání člověkem a domácími zvířaty, určená k mytí, koupání, praní a úklidu. Při poruše dodávky studené vody se může použít pro vaření a hygienické účely.

Teplota teplé vody má být v rozmezí 45 °C až 60 °C. Doporučené rozmezí teplot teplé vody je 50 °C až 55 °C.

6.1.2.1 Ohříváče vody

Ohříváč vody je zařízení sloužící k ohřevu vody, tedy k přípravě teplé vody z vody studené. Ohříváče vody můžeme rozdělit podle způsobu ohřevu vody, podle druhu energie potřebné k ohřevu a podle umístění v domě.

Podle způsobu ohřevu dělíme ohříváče vody na:

- a) zásobníkové tvořené nádobou s teplosměnnou plochou, ve které se ohřeje zásoba vody o určitém objemu,
- b) průtokové, jež ohřívají vodu při průtoku ohříváčem,
- c) smíšené, tvořené průtokovým ohříváčem (např. deskovým výměníkem) a zásobníkem teplé vody.

Podle druhu energie potřebné k ohřevu vody můžeme ohříváče rozdělit na:

- a) přímotopné elektrické, v nichž se voda ohřívá přímo teplem z elektrické energie (např. elektrický zásobníkový ohříváč),
- b) přímotopné plynové, ve kterých se voda ohřívá přímo teplem ze spalování plynu (např. plynový průtokový ohříváč),
- c) přímotopné na tuhá paliva pro ohřev vody přímo teplem ze spalování tuhých paliv (např. koupelnová kamna),
- d) nepřímotopné, v nichž je voda ohřívána prostupem tepla z otopné vody nebo páry topnou vložkou uvnitř ohříváče,
- e) kombinované s možností ohřevu vody teplem z elektrické energie nebo prostupem tepla z otopné vody.

Podle umístění v domě můžeme ohříváče vody rozdělit na:

- a) místní (lokální) sloužící k ohřevu vody pro jedno odběrné místo (výtokovou armaturu),

- b) skupinové (nazývané často též místní), které ohřívají vodu pro více odběrných míst nacházejících se obvykle v jedné funkční jednotce (např. v bytě),
- c) ústřední, jež ohřívají vodu pro celý dům nebo více domů.

6.1.2.2 Místní příprava teplé vody

Při místní přípravě teplé vody je u každého odběrného místa (výtokové armatury) umístěn ohřívač vody. Místní příprava teplé vody se používá v bytech nacházejících se v domech bez ústřední přípravy teplé vody a v některých rodinných domech, kde se často kombinuje se skupinovou přípravou teplé vody. Místní ohřívače se instalují u zařizovacích předmětů, které je nemožné nebo z důvodu dlouhého přírodního potrubí neekonomické zásobovat teplou vodou z jiného vzdáleného zdroje.

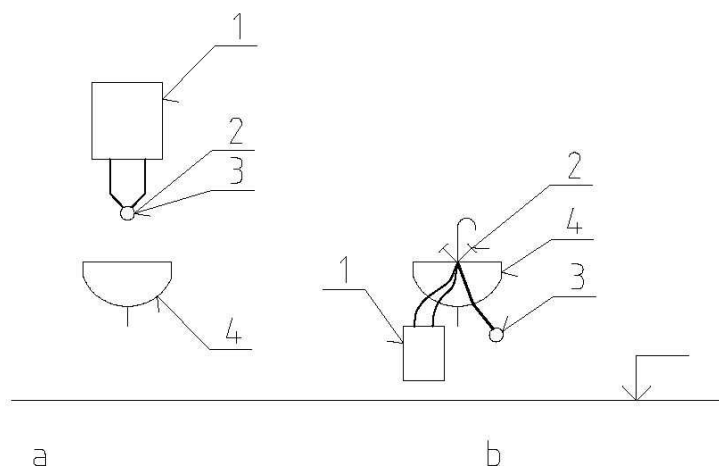
Výhodou místní přípravy teplé vody je nepotřeba rozvodů teplé vody, nejsou zde tedy žádné ztráty tepla při rozvodu vody. Nevýhodou je nutnost umístění ohřívače u každého odběrného místa teplé vody.

Pro místní přípravu teplé vody se používají ohřívače, které podle způsobu napojení na vodovodní potrubí dělíme na beztlaké a tlakové. Beztlaké (otevřené neboli přepadové) ohřívače mají výtok vody neustále otevřen a mohou být instalovány jen se speciální směšovací baterií (obr. 6.1). Voda zvětšující při ohřevu v zásobníkovém ohřívači svůj objem odkapává výtokem směšovací baterie do zařizovacího předmětu. Při otevření ventilu s označením teplá voda na směšovací baterii proudí studená voda do ohřívače a vytlačuje teplou vodu do výtoku. Tlakový ohřívač vody může být kombinován s běžnou směšovací baterií. Tlakové zásobníkové ohřívače vody musí být na vodovodní potrubí vždy připojeny přes zpětný a pojistný ventil s odtokem vyústěným nad kalich se západovou uzávěrkou nebo méně vhodně nad zařizovací předmět. Pojistný ventil umožňuje odtok vody při ohřevu a chrání tak zásobník před překročením maximálního provozního tlaku a poškozením.

Ohřívače pro místní přípravu teplé vody mohou být zásobníkové i průtokové ohřívány přímo elektrickou energií, plynem či tuhými palivy. Průtokové místní ohřívače musejí mít větší výkon než ohřívače zásobníkové a na vyšší teplotu ohřejí vodu, která obvykle proudí jen omezeným průtokem.

Místní ohřívače se vyrábějí jako průtokové či zásobníkové v provedení pod i nad zařizovací předmět (obr. 6.1). Plynové místní ohřívače se vyrábějí jako průtokové v provedení nad zařizovací předmět a dodávají se jako komplet se směšovací baterií.

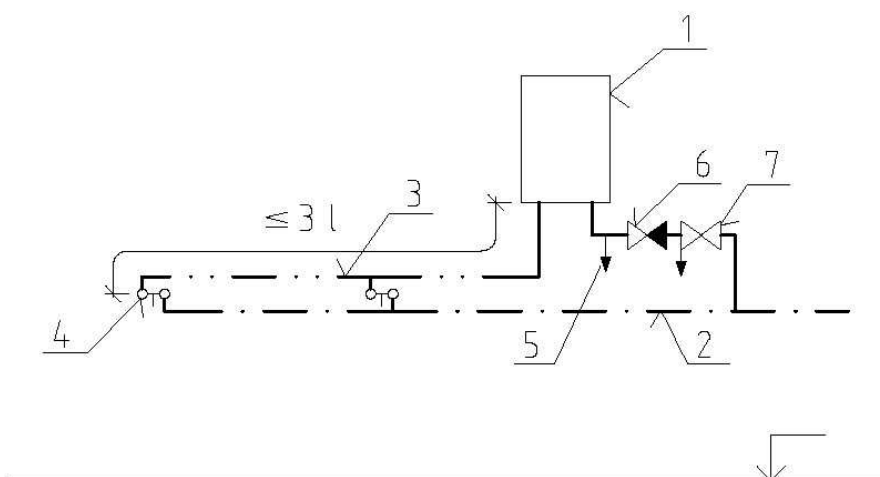
Kromě elektrických a plynových místních ohřívačů vody existují ještě zásobníkové ohřívače vody na tuhá paliva, z nichž se dnes používají koupelňová kamna instalovaná u vany sloužící k ohřevu vody určené pro vanovou koupel, sprchování či praní. Koupelňová kamna se dnes vyrábějí nejen jako beztlaká se speciální směšovací baterií, ale i v tlakovém provedení.



Obr. 6.1 Místní příprava teplé vody (a – ohřívač umístěný nad zařizovacím předmětem, b - ohřívač umístěný pod zařizovacím předmětem, 1 – beztlaký přepadový ohřívač vody, 2 – směšovací baterie pro beztlaký ohřívač vody, 3 – přívod studené vody, 4 – zařizovací předmět (umyvadlo, dřez apod.))

6.1.2.3 Skupinová příprava teplé vody

Skupinovou přípravou teplé vody (u nás nazývanou také místní) se nazývá ohřev vody pro zásobování více odběrných míst jedním ohřívačem. Odběrná místa se obvykle nacházejí v jedné funkční jednotce (např. v bytě, umývárně nebo ve sprchách). Skupinová příprava teplé vody se zřizuje např. v bytech nacházejících se v domech bez ústřední přípravy teplé vody. Aby se u výtokových armatur nemusela odpoustět vychladlá voda, musí být potrubí mezi ohřívačem a odběrnými místy krátké. Objem vody v potrubí mezi ohřívačem a nejvzdálenějším odběrným místem nemá překročit 3 l (obr. 6.2). Pokud je objem vody v potrubí větší, musí být zřízena cirkulace teplé vody nebo přehřívání potrubí elektrickým samoregulačním topným kabelem. Proto se někdy skupinová příprava teplé vody kombinuje s přípravou místní, kdy jsou odběrná místa, např. v koupelně, zásobována teplou vodou z jednoho ohřívače, a voda pro výtok u dřezu ve vzdálené kuchyni se ohřívá ve druhém místním ohřívači.



Obr. 6.2 Skupinová příprava teplé vody a rozvod teplé vody bez cirkulace (1 – ohřívač vody, 2 – potrubí studené vody, 3 – potrubí teplé vody, 4 – odběrné místo (směšovací baterie), 5 – vypouštěcí kohout, 6 – souprava zpětného a pojistného ventilu, 7 – uzávěr vody se zkušební ventil)

Pokud je potrubí teplé vody krátké a bez cirkulace, jsou výhodou skupinové přípravy teplé vody malé ztráty tepla v rozvodu teplé vody. Ve větších domech je nevýhodou skupinové přípravy teplé vody nutnost většího množství ohřivačů.

Pro skupinovou přípravu teplé vody se používají elektrické nebo plynové tlakové průtokové ohřivače a elektrické, plynové, nepřímotopné či kombinované tlakové zásobníkové ohřivače. Kombinované ohřivače umožňují v zimních měsících ohřev pitné vody otopnou vodou z kotle ústředního vytápění a v letních měsících ohřev vody elektrickou energií, takže kotel nemusí být přes léto v provozu. Zatímco plynové ohřivače ohřívají vodu poměrně rychle, je u elektrických zásobníkových ohřivačů doba ohřevu dlouhá a často se k ohřevu využívá levnější tzv. noční proud. Skupinový ohřev vody se může provádět také v kombinovaných kotlích. V některých domech se dnes pro ohřev teplé vody a vytápění bytů používají také tzv. bytové stanice, kde je teplá voda ohřívána otopnou vodou při průtoku v deskovém výměníku. Průtokové ohřivače mají oproti zásobníkovým ohřivačům větší výkon, který však většinou stačí pouze k dostatečnému zásobování jednoho odběrného místa, takže současné použití více odběrných míst zásobovaných z jednoho ohřivače je problematické. Ohřívá se však pouze voda, která se spotřebuje.

Tlakové zásobníkové ohřivače vody musí být na vodovodní potrubí vždy připojeny přes zpětný a pojistný ventil s odtokem vyústěným nad kalich se zápachovou uzávěrkou nebo podlahovou vpust. Pojistný ventil umožňuje odtok vody při ohřevu a chrání tak zásobník před překročením maximálního provozního přetlaku a poškozením.

Ohřivače se umísťují buď přímo v místnosti, kde jsou odběrná místa teplé vody (např. v koupelně) nebo v jiné blízké místnosti (komoře, technické místnosti).

6.1.2.4 Ústřední příprava teplé vody

Ústřední příprava teplé vody se provádí v jednom nebo více ohřivačích pro celý dům umístěných v kotelně, předávací (výměníkové) stanici nebo technické místnosti situované nejčastěji v nejnižším podlaží domu. Na sídlištích byla příprava teplé vody často řešena pro více domů v jednom zdroji (tzv. okrsková příprava teplé vody v blokové kotelně či blokové předávací stanici), kde byly umístěny velkokapacitní ohřivače vody. Protože objem vody v potrubí od ústředního ohřivače k odběrným místům je u ústřední přípravy teplé vody větší než 3 l opatřuje se rozvod teplé vody cirkulací (obr. 6.3) nebo přihříváním elektrickým samoregulačním topným kabelem. U každého odběrného místa musí být zajištěna dodávka teplé vody o teplotě 50 °C až 55 °C (v době odběrové špičky je dovolen krátkodobý pokles až na 45°C).

Pro ústřední přípravu teplé vody se dnes nejčastěji používají tlakové zásobníkové ohřivače vody ohřívané otopnou vodou nebo plynem (méně často elektřinou) nebo průtokové tlakové ohřivače (deskové výměníky) ohřívané otopnou vodou a doplněné obvykle zásobníkem teplé vody pro pokrytí odběrových špiček.

Nevýhodou ústřední přípravy teplé vody jsou ztráty tepla při jejím rozvodu a cirkulaci, které jsou velké v případech, kdy potrubí není dostatečně tepelně izolováno. U některých zásobníkových ohřivačů je nevýhodou tzv. mrtvý prostor ve spodní části ohřivače, kde při ohřevu zůstává studená voda. Z hlediska využití objemu zásobníku je u ústřední přípravy teplé vody výhodný smíšený ohřev vody, kdy je objem zásobníku maximálně využit. U průtokové ústřední přípravy teplé vody nejsou ztráty tepla v zásobníku, nevýhodou však je složitá a mnohdy problematická regulace přívodu tepelné energie (otopné vody) do deskového výměníku (průtokového ohřivače).

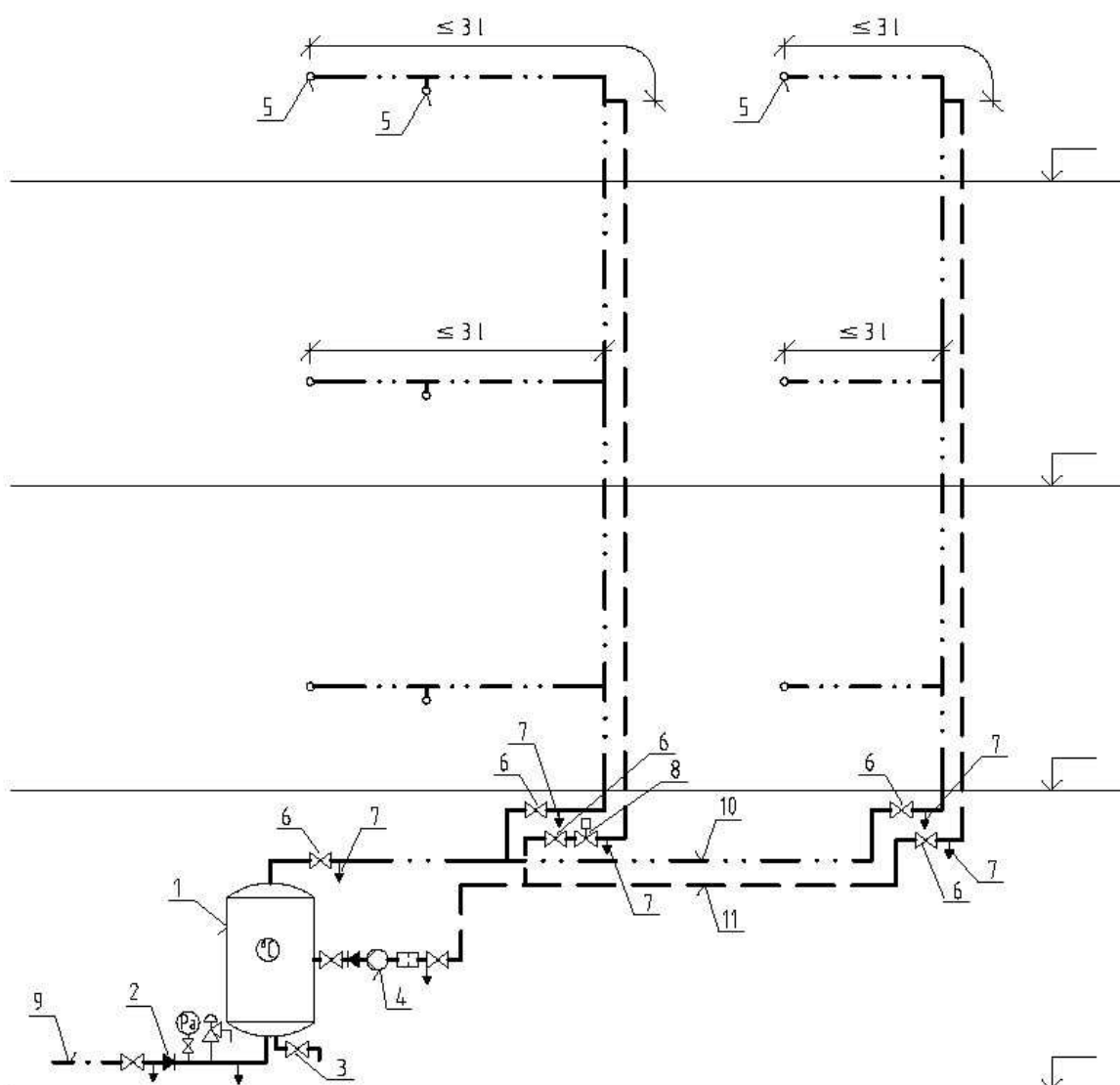
Tlakové zásobníkové i průtokové ohřívače pro ústřední přípravu teplé vody musí být vždy opatřeny zpětným a pojistným ventilem (obr. 6.3) s odtokem obvykle nad podlahovou vpust nebo odvodněnou podlahu. Pojistný ventil instalovaný na přívodu studené vody umožňuje odtok vody při ohřevu a chrání tak zásobník před překročením maximálního provozního přetlaku a poškozením. U plynových nebo elektrických zásobníkových ohřívačů o objemu větším, než 200 l a ohřívačů ohříváných horkou vodou, párou, solární energií, kapalnými nebo tuhými palivy musí být osazen ještě druhý pojistný ventil v horní části ohřívače, popř. na výstupním potrubí teplé vody umožňující odvádění páry při havarijním přehřátí ohřívače. Tento pojistný ventil může nahradit teplotní pojistnou armaturu.

6.1.2.5 Rozvod teplé vody

Rozvod teplé vody musí zajistit, aby u každého odběrného místa byla k dispozici voda o teplotě 50 °C až 55 °C (v odběrové špičce krátkodobě alespoň 45 °C). Proto je třeba u potrubí, jejichž objem je větší, než 3 l, provést opatření, aby nebylo nutno odpouštět vychladlou vodu. Požadovaná teplota vody v potrubí se zajišťuje buď přehříváním potrubí samoregulačním elektrickým topným kabelem vedeným podél trubek pod tepelnou izolací, nebo častěji cirkulací teplé vody. Omezení objemu vody v potrubí na max. 3 l platí jen pro části rozvodu bez cirkulace nebo přehřívání.

Cirkulace teplé vody je stálý oběh vody v potrubí, který je zajištěn cirkulačním potrubím s cirkulačním čerpadlem. Samotížná cirkulace bez čerpadla se dnes nenavrhuje, protože v tepelně izolovaných trubkách se nepodaří získat dostatečný rozdíl teplot vody v rozvodném a cirkulačním potrubí. Cirkulační potrubí je pod nejvyšší odbočkou pro podlažní rozvodné potrubí napojeno na stoupací potrubí a vede se podél stoupacího a ležatého potrubí teplé vody zpět do ústředního ohřívače vody (obr. 6.3). Cirkulační čerpadlo zajišťuje, že se voda z nejvyšších částí stoupacích potrubí vrací zpět do ohřívače. Cirkulační průtok musí být nejméně takový, aby jím byly pokryty tepelné ztráty v rozvodném potrubí a teplota vody na konci rozvodu neklesla pod výše uvedenou mez. Důležité je, aby voda cirkulovala ve všech částech rozvodu (blízkých i vzdálených stoupacích potrubích). Proto je nutná regulace pomocí ručních nebo termostatických regulačních armatur umístěvaných na paty cirkulačních stoupaček. Těmito armaturami se zvýší tlakové ztráty při proudění vody v okruzích (stoupačkách), které jsou blíže k ohřívači tak, aby se rovnaly tlakové ztrátě při cirkulačním průtoku nejdelším okruhem (nejvzdálenější stoupačkou). V poslední době se jako nejvýhodnější ukazují termostatické regulační ventily, které uzavírají průtok při zvyšování teploty vody ve ventilu. Tyto ventily uzavírají průtok v okruzích (stoupačkách), kde voda cirkuluje dostatečně a jsou otevřeny tam, kde voda cirkuluje méně, takže dočasným uzavřením cirkulace v kratších okruzích je voda nucena cirkulovat i v okruzích delších.

Rozvodná potrubí teplé vody opatřená cirkulací a cirkulační potrubí musí být tepelně izolována. U nás je předepsáno izolovat také potrubí teplé vody bez cirkulace (vyhláška č. 193/2007 Sb.). V evropských a zahraničních předpisech, např. v TNI CEN/TR 16355 se však tepelná izolace potrubí teplé vody bez cirkulace z hygienických důvodů nedoporučuje, protože pomalé chladnutí, kdy má voda po delší dobu teplotu 25 °C až 50 °C, umožňuje množení bakterií rodu Legionella. Potrubí bez cirkulace vedené pod omítkou se v tomto případě opatřuje jen nezbytně nutnou pružnou izolací, která má umožnit jeho dilataci.



Obr. 6.3 Ústřední příprava teplé vody a rozvod teplé vody s cirkulací (1 – ohřívač vody, 2 – uzávěr, zpětný ventil, tlakoměr, pojistný ventil a vypouštěcí kohout na přívodu studené vody do ohřívače, 3 – uzávěr pro odkalování, 4 – cirkulační čerpadlo s uzávěry, filtrem a zpětným ventilem, 5 – odběrné místo (výtoková armatura), 6 – uzávěr, 7 – vypouštěcí kohout, 8 – regulační ventil, 9 – potrubí studené vody, 10 – potrubí teplé vody, 11 – potrubí cirkulace teplé vody)

6.1.3 Potřeba teplé vody

Potřebu teplé vody lze stanovit podle ČSN EN 15316-3-1 i podle TNI 73 0331. V obou předpisech jsou také uvedeny hodnoty měrné denní potřeby teplé vody (tabulka 6.2). Pro porovnání jsou uvedeny hodnoty průměrné denní spotřeby vody naměřené v jednom brněnském bytovém domě o 150 bytech vybavených záchodem, vanou, umyvadlem, dřezem a většinou i automatickou pračkou (tabulka 6.1). Teplá voda měla v době měření u výtokové armatury teplotu průměrně 50° C. Studená voda měla u výtokové armatury teplotu průměrně 19° C.

Tab. 6.1 Průměrná denní spotřeba vody v bytovém domě zjištěná měřeními a její rozdělení (zaokrouhleno).

Voda	Průměrná denní spotřeba vody (l.(obyvatele a den) ⁻¹)	Rozdělení denní spotřeby vody (%)
Teplá i studená celkem	85	100
Studená	55	65
Teplá	30	35

Přepočtem ze směrných čísel roční potřeby vody uvedených v novele vyhlášky č. 428/2001 Sb. vychází denní potřeba teplé vody v bytech 34 l na obyvatele a den. Specifická denní potřeba studené i teplé vody celkem se v této vyhlášce v bytech předpokládá 96 l na obyvatele a den za předpokladu užívání bytů 365 dní v roce.

Z porovnání je patrné, že normové hodnoty potřeby teplé vody podle TNI 73 0331 uvedené v tabulce 6.2, odpovídají její skutečné spotřebě.

6.1.3.1 Stanovení potřeby teplé vody podle její měrné denní potřeby

Metoda stanovení potřeby teplé vody podle její měrné denní potřeby je uvedena v ČSN EN 15316-3-1.

Při výpočtu potřeby teplé vody podle počtu osob, zaměstnanců, lůžek apod. se použijí hodnoty měrné denní potřeby teplé vody uvedené v tabulce 6.2. V podmínkách České republiky je vhodnější používat hodnoty podle TNI 73 0331 (viz tabulku 6.2). Denní potřeba teplé vody $V_{W,day}$ (m³.den⁻¹) se při tomto způsobu výpočtu stanoví podle vztahu uvedeného v ČSN EN 15316-3-1:

$$V_{W,day} = \frac{V_{W,f,day} \cdot f}{1000} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}) \quad (6.1)$$

Kde je

$V_{W,f,day}$ měrná denní potřeba teplé vody (na měrnou jednotku a den)
(l.(mj.den)⁻¹), viz tabulka 5.2,
 f počet měrných jednotek.

V rodinných domech se podle ČSN EN 15316-3-1 může měrná denní potřeba teplé vody $V_{W,f,day}$ (l.(m⁻².den⁻¹)) stanovit také v závislosti na podlahové ploše f (m²) podle vztahu:

$$V_{W,f,day} = \frac{39,5 \cdot \ln(f) - 90,2}{f} \quad (6.2)$$

který platí, pokud $f > 27 \text{ m}^2$;

nebo $V_{W,f,day} = 1,49 \text{ l} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1})$, pokud $14 \text{ m}^2 \leq f \leq 27 \text{ m}^2$.

Při tomto způsobu výpočtu je měrnou jednotkou ve vztahu (6.1) podlahová plocha domu.

Při výpočtu potřeby teplé vody podle plochy se použijí hodnoty měrné denní potřeby teplé vody uvedené v tabulce 6.3 (podle TNI 73 0331). Denní potřeba teplé vody $V_{W,day}$ ($m^3 \cdot den^{-1}$) se při tomto způsobu výpočtu stanoví podle vztahu:

$$V_{W,day} = V_{W,A,day} \cdot A_f \quad (6.3)$$

Kde je

$V_{W,A,day}$ měrná denní potřeba teplé vody (na m^2 vztažné plochy a den) ($l \cdot (m^2 \cdot den)^{-1}$), viz tabulka 6.3,

A_f velikost vztažné plochy (m^2).

Tab. 6.2 Měrné denní potřeby teplé vody podle obsazenosti zóny (budovy)

Druh budovy nebo její ucelené části (zóny)	Měrná denní potřeba teplé vody na měrnou jednotku a den $V_{W,f,day}$ ($l \cdot (m^2 \cdot den)^{-1}$)		Měrná jednotka	Počet provozních dnů v roce podle TNI 73 0331
	Podle ČSN EN 15316-3-1	Podle TNI 73 0331		
Rodinný dům	36 až 67	35 až 55	obyvatel	365
Bytový dům	--	30 až 45	obyvatel	365
Administrativní budova	--	4 až 8	osoba	257
Vzdělávací zařízení	--	10	osoba	257 (200)
Budovy pro obchod	--	19	zaměstnanec	325
Výrobní provozy, dílny (šatny)	--	29	zaměstnanec	--
Kolej, domov mládeže	--	67	místo	--
Ubytovací zařízení (hotel)	28	29	lůžko	365
Jednohvězdičkový hotel	56 až 70 ¹⁾	--	lůžko	365
Dvuhvězdičkový hotel	76 až 90 ¹⁾	--	lůžko	365
Tříhvězdičkový hotel	97 až 111 ¹⁾	86	lůžko	365
Čtyřhvězdičkový hotel	118 až 132 ¹⁾	133	lůžko	365
Samoobslužná restaurace	4 až 8	--	jídlo	--
Restaurace	10 až 21	--	jídlo	--
Restaurace, stravování	--	29	místo	317
Nemocnice	56 až 88 ¹⁾	152	lůžko	365
Sportovní zařízení (sprchy)	--	29	osoba	325
Sportovní zařízení (sprchy)	101	101	sprcha	325

Menší hodnota nezahrnuje potřebu vody pro prádelnu a větší hodnota zahrnuje potřebu vody v budově včetně prádelny.
V ČSN EN 15316-3-1 se předpokládá teplota teplé vody 60° C a teplota studené vody 13,5° C. V TNI 73 0331 se předpokládá průměrná teplota studené vody 10° C.

Tab. 6.3 Měrné denní potřeby teplé vody podle plochy zóny (budovy), dle TNI 73 0331

Druh budovy nebo její ucelené části (zóny)	Měrná denní potřeba teplé vody na vztažnou plochu a den $V_{W,A,day}$ ($l \cdot (m^{-2} \cdot den^{-1})$)	Vztažná plocha	Obsazenost (m^2 vztažné plochy na osobu)
Administrativní budova	0,3 až 0,6	Kancelářská plocha	10 až 14
Vzdělávací zařízení	3,2	Plocha vyučovacích prostor	10 až 14
Budovy pro obchod	0,2	Prodejní plocha	3
Výrobní provozy, dílny (šatny)	1,4	Výrobní plocha	--
Kolej, domov mládeže	4,4	Plocha pokojů	--
Hotel (ubytovna)	3,6	Plocha pokojů	9
Tříhvězdičkový hotel	8,6	Plocha pokojů	--
Čtyřhvězdičkový hotel	11,0	Plocha pokojů	--
Restaurace, stravování	23,8	Plocha veřejných prostor	2
Nemocnice	10,1	Plocha pokojů	15

6.1.4 Potřeba energie pro přípravu teplé vody

Potřebu energie (tepla) pro přípravu teplé vody je možné stanovit podrobně podle ČSN EN 15316-3 nebo zjednodušeně podle TNI 73 0331.

6.1.4.1 Stanovení potřeby teplé vody podle její měrné denní potřeby

Podle ČSN EN 15316-3 se potřeba tepla (energie) pro přípravu teplé vody stanoví součtem potřeby tepla pro ohřev vody a ztrát tepla v zásobníku, rozvodu a v přívodním a zpětném potrubí otopné vody k ohřívači.

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody $Q_{W,gen,out}$ ($MJ \cdot den^{-1}$) se stanoví podle vztahu:

$$Q_{W,gen,out} = Q_W + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,p,ls} \quad (6.4)$$

Kde je

- Q_W potřeba tepla pro přípravu teplé vody (ČSN EN 15316-3-1) ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$),
 $Q_{W,dis,ls}$ ztráta tepla v rozvodu teplé vody (ČSN EN 15316-3-2) ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$),
 $Q_{W,st,ls}$ ztráta tepla v zásobníku teplé vody (ČSN EN 15316-3-3) ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$),
 $Q_{W,p,ls}$ ztráta tepla v přívodním a zpětném potrubí otopné vody k ohřívači vody (v potrubním okruhu zdroje tepla) (ČSN EN 15316-3-3) ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$).

6.1.4.1.1 Potřeba tepla pro přípravu teplé vody

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody Q_W ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$) se stanoví ze vztahu:

$$Q_W = 4,182 \cdot V_{W,day} \cdot (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) \quad (6.5)$$

Kde je

- $V_{W,day}$ denní potřeba (objem) teplé vody ($\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$),
 $\theta_{W,del}$ výstupní teplota teplé vody ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) ($^\circ\text{C}$),
 $\theta_{W,0}$ vstupní teplota studené vody přiváděné do ohřívače ($13,5 \text{ }^\circ\text{C}$) ($^\circ\text{C}$).

6.1.4.1.2 Ztráty tepla v rozvodu teplé vody

Celkové ztráty tepla v rozvodu teplé vody $Q_{W,dis,ls}$ ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$) se stanoví ze vztahu:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum Q_{W,dis,ls,ind} + Q_{W,dis,ls,col} \quad (6.6)$$

Kde je

- $\sum Q_{W,dis,ls,ind}$ součet ztrát tepla jednotlivých přívodních potrubí, která nejsou opatřena cirkulačním potrubím ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$),
 $Q_{W,dis,ls,col}$ ztráta tepla přívodního potrubí s cirkulačním potrubím ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$).

Ztráta tepla přívodního potrubí, které není opatřeno cirkulačním potrubím $Q_{W,dis,ls,ind}$ ($\text{MJ} \cdot \text{den}^{-1}$), se vypočítá podle vztahu:

$$Q_{W,dis,ls,ind} = \frac{\rho_W \cdot c_W}{1000} \cdot V_{W,dis} \cdot (\theta_{W,dis,nom} - \theta_{amb}) \cdot n_{tap} \quad (6.7)$$

Kde je

- ρ_W měrná hmotnost vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 c_W měrná tepelná kapacita vody ($\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$),
 $V_{W,dis}$ je objem vody v potrubí (m^3),
 θ_{amb} průměrná teplota okolí potrubí ($^\circ\text{C}$),
 $\theta_{W,dis,nom}$ teplota teplé vody přiváděné do potrubí ($^\circ\text{C}$),
 n_{tap} počet odběrů teplé vody za den.

Veličinou, kterou lze většinou stanovit jen odhadem, je „počet odběrů teplé vody za den“. Pokud nejsou k dispozici přesnější údaje, je u trvale užívaných bytů možné uvažovat s orientačními hodnotami uvedenými v tabulce 6.4 zpracované podle DS 439.

Tab. 6.4 Orientační počet odběrů teplé vody na osobu za den v trvale užívaných bytech

Zařizovací předmět	Průměrný počet odběrů teplé vody na osobu v průběhu dne
Vana	2
Sprcha	2
Umyvadlo	4
Dřez	2

Ztráty tepla přívodního potrubí s cirkulačním potrubím $Q_{W,dis,ls,col}$ (MJ.den⁻¹) se stanoví ze vztahu:

$$Q_{W,dis,ls,col} = Q_{W,dis,ls,col,on} + Q_{W,dis,ls,col,off} \quad (5.8)$$

Kde je

$Q_{W,dis,ls,col,on}$ ztráta tepla potrubí při cirkulaci teplé vody (MJ.den⁻¹),

$Q_{W,dis,ls,col,off}$ ztráta tepla potrubí po dobu bez cirkulace (MJ.den⁻¹).

Ztráta tepla potrubí při cirkulaci teplé vody $Q_{W,dis,ls,col,on}$ (MJ.den⁻¹) se stanoví ze vztahu:

$$Q_{W,dis,ls,col,on} = \sum_i \frac{3,6}{1000} \cdot U_{W,i} \cdot L_{W,i} \cdot (\theta_{W,dis,avg,i} - \theta_{amb,i}) \cdot t_W \quad (5.9)$$

Kde je

$U_{W,i}$ lineární součinitel prostupu tepla úseku potrubí (viz požadavky v tabulce 6.5) (W.(m.K)⁻¹),

$L_{W,i}$ délka úseku potrubí včetně délkových přírážek (tabulka 6.6) (m),

$\theta_{W,dis,avg,i}$ průměrná teplota teplé vody v úseku potrubí (°C),

$\theta_{amb,i}$ průměrná teplota v okolí úseku potrubí (°C),

t_W doba provozu cirkulačního čerpadla (denní doba využití) (h.den⁻¹).

Tab. 6.5 Maximální hodnoty lineárních součinitelů prostupu tepla U_W u vnitřních rozvodů podle vyhlášky č. 193/2007 Sb. (platí pro nové nebo rekonstruované rozvody teplé vody)

DN potrubí	10 až 15	20 až 32	40 až 65	80 až 125	150 až 200
U_W (W/(m.K) ⁻¹)	0,15	0,18	0,27	0,34	0,40

Tab. 6.6 Délkové přírážky na armatury, spoje a uložení potrubí podle ČSN 75 5455

Prvek		Délková přírážka
Přírubový spoj	neizolovaný	1,0 m tepelně izolovaného potrubí
	izolovaný	0,5 m tepelně izolovaného potrubí
Armatura	neizolovaná	1,6 m tepelně izolovaného potrubí
	izolovaná	0,8 m tepelně izolovaného potrubí
Uložení potrubí	10 až 20 % délky tepelně izolovaného potrubí (podle kvality provedení)	

Ztráta tepla potrubí po dobu bez cirkulace $Q_{W,dis,ls,col,off}$ (MJ.den⁻¹) se stanoví podle vztahu:

$$Q_{W,dis,ls,col,off} = \sum_i \frac{\rho_W \cdot c_W}{1000} \cdot V_{W,dis,i} \cdot (\theta_{W,dis,avg,i} - \theta_{amb,i}) \cdot n_{nom} \quad (6.10)$$

Kde je

ρ_W	měrná hmotnost vody (kg.m ⁻³),
c_W	měrná tepelná kapacita vody (kJ.(kg.K) ⁻¹),
$V_{W,dis,i}$	objem vody v úseku potrubí (m ³),
$\theta_{amb,i}$	průměrná teplota v okolí úseku potrubí (°C),
$\theta_{W,dis,avg,i}$	teplota teplé vody přiváděné do úseku potrubí (°C),
n_{norm}	počet provozních cyklů cirkulačního čerpadla v průběhu dne.

6.1.4.1.3 Ztráty tepla zásobníkového ohřivače teplé vody

Ztráta tepla nepřímo ohřivaného zásobníkového ohřivače teplé vody $Q_{W,st,ls}$ (MJ.den⁻¹) se stanoví podle ztráty tepla $Q_{W,st,sby}$ zjištěné z dokumentace výrobce podle vztahu:

$$Q_{W,st,sby} = \frac{(\theta_{W,st,avg} - \theta_{amb,avg})}{\Delta\theta_{W,st,sby}} \cdot Q_{W,st,sby} \quad (6.11)$$

Kde je

$\theta_{W,st,avg}$	průměrná teplota vody v zásobníku teplé vody (°C),
$\theta_{amb,avg}$	průměrná teplota v okolí zásobníku teplé vody (°C),
$\Delta\theta_{W,st,sby}$	průměrný rozdíl mezi teplotou vody v zásobníku a jeho okolí při měření ztráty tepla při zkouškách (podle ČSN EN 12897 $\Delta\theta_{W,st,sby} = 45$ °C) (°C),
$Q_{W,st,sby}$	ztráta tepla v pohotovostním stavu změřená např. podle ČSN EN 12897 (MJ.den ⁻¹).

6.1.4.1.4 Ztráty tepla přívodního a zpětného potrubí otopné vody v ohřivači vody

Výpočet ztráty tepla přívodního a zpětného potrubí otopné vody k ohřivači vody je stejný jako výpočet ztráty tepla potrubí teplé vody s cirkulačním potrubím. Ztráta tepla přívodního a zpětného potrubí otopné vody k ohřivači vody $Q_{W,p,ls}$ (MJ.den⁻¹) se stanoví podle vztahu (6.8).

6.1.5 Stanovení potřeby energie pro přípravu teplé vody podle TNI 73 0331

V TNI 73 0331 je uveden zjednodušený postup stanovení potřeby energie (tepla) pro přípravu teplé vody. Podle TNI 73 0331 se budova, jejíž jednotlivé části mají různé režimy užívání a různou skladbu technických systémů (např. různé způsoby přípravy teplé vody), dělí na zóny, jimiž jsou jednotlivé ucelené části budovy. Zónou se potom rozumí celá budova nebo její ucelená část s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí, režimem užívání a skladbou technických systémů.

Protože se v TNI 73 0331 místo joulů (J) používají kilowatthodiny (kWh), je vhodné znát převod mezi těmito jednotkami: 1 kWh = 3 600 000 J.

Potřebu energie (tepla) pro přípravu teplé vody v příslušné zóně za den $Q_{W,nd,z,d}$ (kWh.den⁻¹) lze zjednodušeně stanovit:

a) na základě obsazenosti zóny

$$Q_{W,nd,z,d} = 0,001 \cdot f_z \cdot V_{W,f,day} \cdot \rho_W \cdot c_W \cdot (\theta_{W,h} - \theta_{W,c}) \quad (6.12)$$

b) nebo podle plochy zóny

$$Q_{W,nd,z,d} = 0,001 \cdot A_f \cdot V_{W,f,day} \cdot \rho_W \cdot c_W \cdot (\theta_{W,h} - \theta_{W,c}) \quad (6.13)$$

Kde je

$V_{W,f,day}$ měrná denní potřeba teplé vody podle obsazenosti zóny (tabulka 6.2) (m³.(mj.den)⁻¹),

f_z počet měrných jednotek v zóně (druhy měrných jednotek viz v tabulce 6.2) (m³.(m⁻².den⁻¹),

$V_{W,A,day}$ měrná denní potřeba teplé vody podle plochy zóny (tabulka 6.3)

A_f vztažná plocha zóny (druhy vztažných ploch viz v tabulce 6.3) (m²)

ρ_W měrná hmotnost vody, $\rho_W = 992 \text{ kg.m}^{-3}$ (kg.m⁻³),

c_W měrná tepelná kapacita vody, $c_W = 1,163 \text{ Wh.(kg.K)}^{-1}$ (Wh.(kg.K)⁻¹),

$\theta_{W,h}$ průměrná roční teplota teplé vody v místě přípravy (obvykle $\theta_{W,h} = 50$ až $55 \text{ }^\circ\text{C}$) (°C),

$\theta_{W,c}$ průměrná roční teplota přiváděné studené vody ($\theta_{W,c} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$) (°C),

Potřeba energie (tepla) pro přípravu teplé vody $Q_{W,gen,out}$ (kWh.den⁻¹) včetně ztrát tepla se stanoví podle vztahu:

$$Q_{W,gen,out} = Q_{W,nd,z,d} + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} \quad (6.14)$$

Kde je

$Q_{W,nd,z,d}$ potřeba tepla pro přípravu teplé vody (kWh.den⁻¹),

$Q_{W,dis,ls}$ ztráta tepla v rozvodu teplé vody (kWh.den⁻¹),

$Q_{W,st,ls}$ ztráta tepla v zásobníku teplé vody (kWh.den⁻¹).

Jednotkové ztráty tepla v rozvodu a zásobníku teplé vody jsou v TNI 73 0331 uvedeny v tabulkách, jejichž výtah zde představují tabulky 6.7 a 6.8.

Ztráty tepla v rozvodu teplé vody $Q_{W,dis,ls}$ (kWh.den⁻¹) se stanoví podle vztahu:

$$Q_{W,dis,ls} = 0,001 \cdot \sum_{i=1}^m Q_{W,dis,ls,l,i} \cdot l_i \quad (6.15)$$

Kde je

$Q_{W,dis,ls,l}$ délková denní ztráta tepla v rozvodu teplé vody (tabulka 6.7) (Wh.(m.den)⁻¹),

l délka úseku potrubí o příslušné jmenovité světlosti s cirkulací nebo bez cirkulace (m)

m počet úseků potrubí o příslušné jmenovité světlosti s cirkulací nebo bez cirkulace.

Ztráty tepla zásobníku teplé vody $Q_{W,st,ls}$ (kWh.den⁻¹) se stanoví podle vztahu:

$$Q_{W,st,ls} = 0,001 \cdot Q_{W,st,ls,V} \cdot V \quad (6.16)$$

Kde je

$Q_{W,st,ls,V}$ denní ztráta tepla zásobníku teplé vody vztažená na jeden litr objemu (tabulka 6.8) (Wh.(m.den)⁻¹),

V objem zásobníku teplé vody (l).

Tab. 6.7 Délková denní ztráta tepla v rozvodu teplé vody $Q_{W,dis,ls,l}$

Tloušťka tepelné izolace (mm)	Cirkulace	Jmenovitá světlost potrubí DN					
		15	20	25	32	40	50
		Denní ztráta tepla v rozvodech teplé vody $Q_{W,dis,ls,l}$ (Wh.(m.den) ⁻¹)					
13	Stálá	144,7	154,8	164,3	173,3	178,2	185,7
	Bez cirkulace (2 odběry za den)	10,3	22,9	38,4	53,8	67,1	87,3
	Bez cirkulace (4 odběry za den)	20,6	45,9	76,7	107,6	134,3	174,7
20	Stálá	132,2	142,4	152,3	162,0	167,3	175,7
	Bez cirkulace (2 odběry za den)	10,2	20,2	29,3	36,7	42,1	49,5
	Bez cirkulace (4 odběry za den)	20,3	40,4	58,5	73,3	84,1	99,0
40	Stálá	109,6	119,0	128,7	138,8	144,5	154,1
	Bez cirkulace (2 odběry za den)	9,1	14,9	19,0	22,1	24,2	27,0
	Bez cirkulace (4 odběry za den)	18,2	29,8	38,0	44,3	48,4	53,9

Tab. 6.8 Denní ztráta tepla zásobníku teplé vody $Q_{W, st, ls, v}$ vztažená na jeden litr objemu

Druh zásobníku (teplá voda o teplotě 60 °C)	Objem zásobníku (l)						
	200	400	600	800	1000	1500	3000
	Denní ztráta tepla v zásobníku teplé vody $Q_{W, st, ls, v}$ (Wh.(l.den) ⁻¹)						
Nepřímo ohříváný zásobník vyrobený po roce 1995 umístěný v temperovaném nebo vytápěném prostoru	7,9	5,6	4,7	4,2	3,9	3,4	2,8
Přímo ohříváný elektrický zásobník vyrobený po roce 1995 umístěný v temperovaném nebo vytápěném prostoru	6,4	5,2	4,6	4,3	4,1	3,7	3,1
Ostatní zásobníky s prefabrikovanou tepelnou izolací od výrobce	2,1	3,1	3,8	4,3	4,7	5,1	--
Poznámka - pro malé elektrické ohříváče vody lze použít denní ztrátu tepla uvedenou na štítku spotřebiče.							

6.1.6 Požadavky vyhlášky č. 78/2013 Sb. na přípravu teplé vody

Vyhláška č. 78/2013 Sb. je založena na porovnání hodnocené budovy s budovou referenční a jsou v ní uvedeny referenční hodnoty tepelných ztrát přípravy a rozvodu teplé vody (tabulka 6.9). Referenční budovou se podle této vyhlášky rozumí výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.

Pro porovnání s referenčními hodnotami se použijí hodnoty vypočtené podle ČSN EN 15316-3, nebo se mohou použít hodnoty ztrát tepla uvedené v TNI 73 0331 (viz tabulky 6.7 a 6.8), ze kterých je nutné stanovit měrné tepelné ztráty požadované vyhláškou.

Tab. 6.9 Referenční hodnoty tepelných ztrát při přípravě teplé vody

Měrná tepelná ztráta zásobníku teplé vody vztažená k objemu zásobníku v litrech do	7 Wh.(l.den) ⁻¹
--	----------------------------

celkového objemu zásobníků 400 litrů	
Měrná tepelná ztráta zásobníku teplé vody vztahovaná k objemu zásobníku v litrech nad celkový objem zásobníků 400 litrů	5 Wh.(l.den) ⁻¹
Měrná tepelná ztráta rozvodů teplé vody vztahovaná k délce rozvodů teplé vody	150 Wh.(l.den) ⁻¹

6.1.7 Příklady úsporných opatření při přípravě teplé vody

Úspory tepla při přípravě teplé vody mohou být docíleny zejména omezením ztrát tepla nebo omezením spotřeby teplé vody, a tím omezením potřeby tepla na její ohřev.

6.1.7.1 Úspory tepla při přípravě teplé vody

Základním opatřením pro úspory energie (tepla) je kvalitní tepelná izolace ohřivačů a zásobníků a kvalitní tepelná izolace rozvodů teplé vody s cirkulací. U okrskové přípravy teplé vody (jeden zdroj teplé vody pro více domů) může být úsporným opatřením decentralizace přípravy teplé vody, tedy zrušení okrskového zdroje a umístění ústředních ohřivačů do jednotlivých domů. Sporným řešením z hlediska úspor tepelné energie je přerušování ohřevu vody v noci. Měření prováděná v Bratislavě ukázala, že noční přerušování ohřevu vody může být vhodné snad jen tam, kde je rozsáhlý rozvod teplé vody opatřený nekvalitní tepelnou izolací. Dalším úsporným opatřením může být vypínání cirkulačního čerpadla. Toto opatření je však sporné z hygienického hlediska (množení bakterií rodu Legionella v chladnoucí vodě), a proto smí být cirkulační čerpadlo vypnuto nejdéle 8 h během 24 h.

6.1.7.2 Úspory teplé vody

Úsporami teplé vody se uspoří teplo potřebné pro její přípravu. Úspory teplé vody je možné docílit:

- měření její spotřeby v bytech a jiných provozních jednotkách;
- použitím termostatických směšovací baterie, u kterých není nutné nastavovat teplotu vody při každém odběru;
- omezením průtoku vody na výtoku ze směšovací baterie;
- použitím výtokových armatur s automatickým uzavíráním;
- nezaváděním teplé vody do odběrných míst, kde není její zavádění nutné.

6.2 Využití šedé vody

6.2.1 Úvod

Podle ČSN EN 12056 se šedou vodou nazývají splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč. Splaškové odpadní vody obsahující fekálie a moč se nazývají černou vodou. Tato norma předpokládá možnost rozdělení potrubí pro odvádění šedé a černé vody v rámci vnitřní kanalizace. Také v ČSN EN 806 je počítáno se zřizováním oddílných vodovodů pro pitnou a nepitnou, např. recyklovanou, šedou vodu (viz ČSN EN 806-4). V současné době se připravuje samostatná norma, která by řešila problematiku využití šedé vody.

Pro úpravu za účelem dalšího využití jsou nejvhodnější šedé vody z koupelen. Šedé vody z kuchyní mohou úpravnu vody více zatěžovat, zejména tukem a zbytky potravin. Měly by se

tedy využívat především šedé vody ze sprch, van a zařizovacích předmětů balneoprovozů; umyvadel, popř. praček.

Upravená šedá voda, tzv. bílá voda (provozní voda), se může použít pro splachování záchodů a pisoárů, technologické procesy, které nevyžadují pitnou vodu, zavlažování a zalévání.

6.2.2 Produkce a potřeba šedé vody

Potřeba provozní, tzv. bílé, vody pro splachování záchodů činí podle [1] a měření přibližně:

- v domácnosti 30 až 32 % z celkové potřeby vody;
- v komerčních budovách cca 60 % z celkové potřeby vody (z toho pro pisoáry cca 20 % a pro záchody cca 40 %).

Potřeba provozní vody pro různá použití v různých budovách je uvedena v tabulce 6.10 zpracované s využitím DIN 1989-1 a měření autora.

Tab. 6.10 Potřeba provozní vody pro různá použití v budově

Způsob využití provozní vody	Potřeba provozní vody
Záchody v bytech, rodinných domech a budovách pro ubytování	24 až 30 l.(osoba . den) ⁻¹
Záchody ve škole	cca 6 l.(osoba . den) ⁻¹
Zalévání zahrady	cca 1,0 l.m ⁻² na plochu celé zahrady, i když se zalévá jen část

Denní potřeba provozní vody Q_{24} (l.den⁻¹) se stanoví ze vztahu:

$$Q_{24} = q_{wc} \cdot n + q_{zal} \cdot A_{zal} + Q_{zavl} \quad (6.17)$$

Kde je

q_{wc} potřeba vody pro záchody (splachování) (podle tabulky 6.10) (l.(osoba.den)⁻¹),

q_{zal} potřeba vody pro zalévání (viz tabulka 6.10) (l/(m². den⁻¹)),

n počet osob,

A_{zal} plocha, která se zalévá (m²),

Q_{zavl} potřeba vody pro zavlažování (l.den⁻¹).

V bytových a rodinných domech se osobou rozumí obyvatel. V budovách pro ubytování je měrnou jednotkou lůžko. Počet lůžek potom odpovídá počtu osob.

Nádrž pro šedou vodu se má dimenzovat na denní potřebu provozní vody. Při výpočtu je nutno uvážit, zda se bude zalévat nebo zavlažovat každý den.

Produkce šedé vody (z umyvadel, van, dřezů, praček, a popř. myček nádobí) činí v domácnostech cca 70 % z celkové produkce odpadních vod a v komerčních budovách (z umyvadel) cca 27 % z celkové produkce odpadních vod. Produkce šedé vody pouze z koupelen (umyvadel, van a sprch) činí v domácnostech cca 34 až 43 % z celkové produkce odpadních vod. Podle měření autorů může celková produkce šedé vody v bytech činit např. 55 l.(obyvatel.den)⁻¹ a celková produkce šedé vody v budovách pro ubytování např. 106 l.(lůžko.den)⁻¹, V těchto produkcích jsou zahrnuty produkce šedých vod z koupelen i kuchyní.

Využití šedé vody je optimální, pokud platí vztah:

$$Q_{prod} \geq Q_{24} \quad (6.18)$$

Kde je

Q_{prod} objem vyprodukované šedé vody ($l \cdot den^{-1}$),

Q_{24} denní potřeba provozní vody ($l \cdot den^{-1}$).

Objem vyprodukované šedé vody Q_{prod} (l) se může stanovit podle vztahu:

$$Q_{prod} = \frac{N}{100} \cdot Q_p \quad (6.19)$$

Kde je

N část z celkové denní produkce odpadních vod, kterou tvoří šedá voda (%),

Q_p celková denní produkce odpadních vod (l),

nebo výpočtem z konkrétních údajů o produkci šedé vody (viz příklady produkcí uvedené výše).

6.2.3 Oddělené odvádění šedé a černé vody

V ČSN EN 12056-2 je na oddělení šedé a černé vody pamatováno v systému vnitřní kanalizace č. IV. Tento systém předpokládá použití dvou splaškových odpadních potrubí, kdy jedno odpadní potrubí odvádí černou vodu ze záchodových mís a pisoárů a druhé odpadní potrubí odvádí šedou vodu ze všech ostatních zařizovacích předmětů. V praxi se často odvádí odděleně pouze šedé vody z koupelen, protože jsou nejméně znečištěné, viz odstavec 2, (obr. 6.1). Šedé vody se odvádějí do jímky před úpravnou.

Vnitřní kanalizace pro odvádění šedých vod i přebytečné vody z jímky musí být odvětrána. Rovněž jímky (nádrže) musí být odvětrány. Větrání se provádí hlavním větracím potrubím navazujícím na splaškové odpadní potrubí a větracím potrubím vyvedeným z jímek. Pokud je vnitřní kanalizace větrána alespoň jedním větracím potrubím, může být v odůvodněných případech některé splaškové odpadní potrubí ukončeno přivzdušňovacím ventilem.

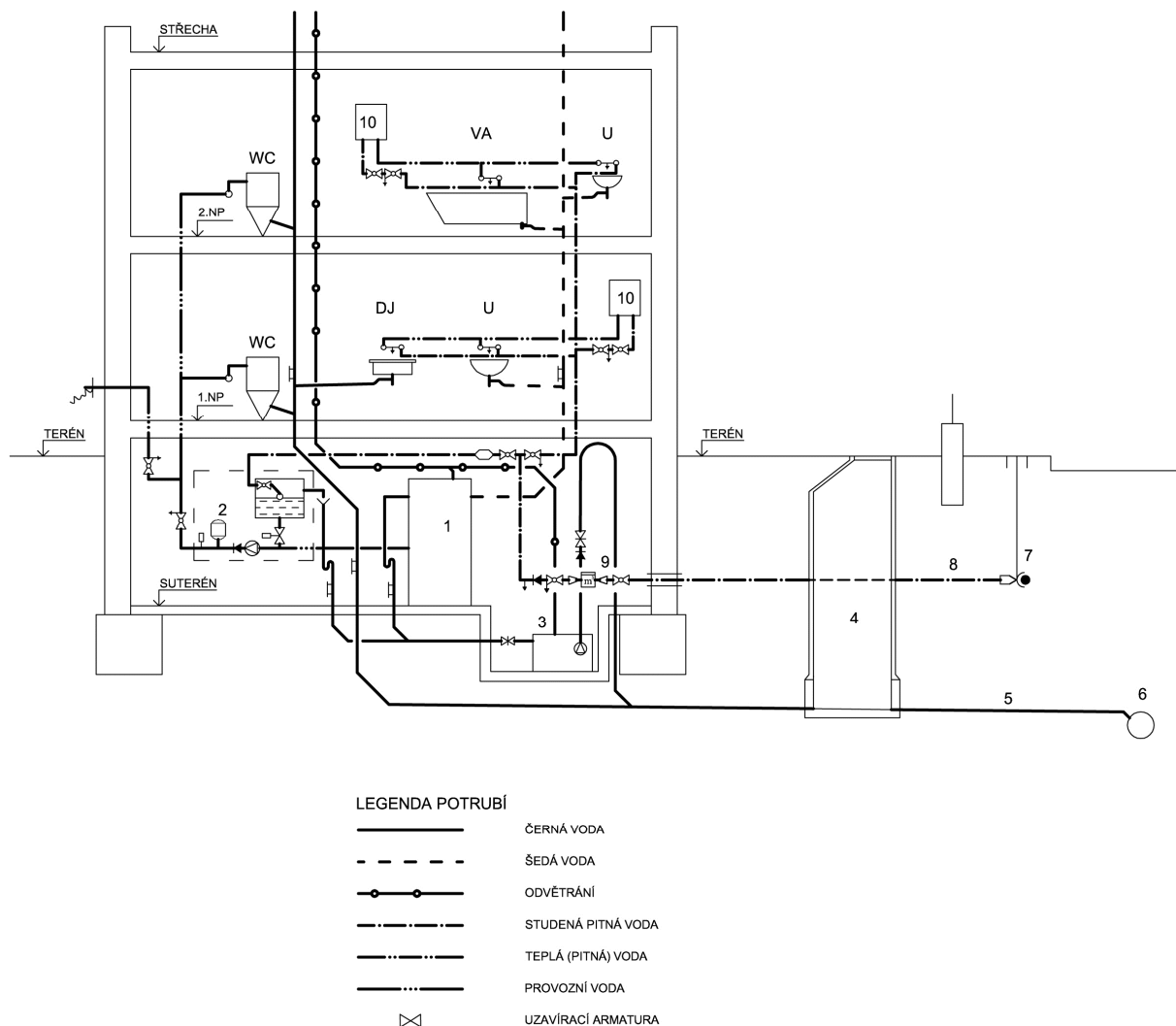
Navrhování, a dimenzování vnitřní kanalizace pro odvádění šedých vod se provádí běžným způsobem podle ČSN EN 12056 a ČSN 75 6760. Všechny přepady a odtoky z jímek musí být zabezpečeny proti vniknutí vzduté vody ze stokové sítě alespoň zpětnou armaturou.

6.2.4 Oddílné vodovody pro pitnou a provozní vodu

Provozní voda, tzv. bílá voda, vznikne úpravou šedé vody a shromažďuje se v jímce za úpravnou. Jedná se o vodu nepitnou. Z jímky je provozní voda do vodovodu provozní vody čerpána pomocí automatické tlakové čerpací stanice. Vodovod provozní vody slouží k rozvodu této vody k výtakovým armaturám a splachovačům a navrhuje se, provádí a zkouší podle ČSN EN 806 a ČSN 73 6660. Důležité je označení potrubí a armatur, zejména výtakových, určených pro provozní (nepitnou) vodu, na což upozorňuje ČSN EN 806-4.

V ČSN EN 806-2 jsou uvedeny zásady pro toto označení a symbol pro nepitnou vodu. Označení potrubí by mělo být provedeno nejlépe jinou barvou materiálu potrubí, popřípadě lepicí páskou nalepenou podélně na trubky. Při volbě materiálu potrubí a armatur se musí pamatovat na možné korozní účinky vody. Vhodná jsou potrubí z plastů.

Potrubí pro rozvod provozní vody má být tepelně izolováno, aby oteplením vody nedošlo ke zhoršení její jakosti. Potrubí pro rozvod provozní vody nesmí být přímo spojováno s potrubím pitné vody (požadavek vyhlášky č. 268/2009 Sb., ČSN EN 1717 a ČSN 73 6660). Vnitřní vodovod musí být oddělný, rozvádějící zvlášť provozní a pitnou vodu (obr. 6.4).



Obr. 6.4 Využití šedé vody z koupelen (1 – Úpravna a akumulční nádrže šedé a provozní vody, 2 – automatická tlaková čerpací stanice s nádržkou pro doplňování pitnou vodou, 3 – čerpací stanice odpadních vod, 4 – hlavní vstupní šachta, 5 – kanalizační přípojka, 6 – stoka pro veřejnou potřebu, 7 – vodovodní řad pitné vody pro veřejnou potřebu, 8 – vodovodní přípojka pitné vody, 9 – vodoměrová sestava, 10 – ohřívač vody)

6.2.5 Doplnění vodovodu provozní vody pitnou vodou

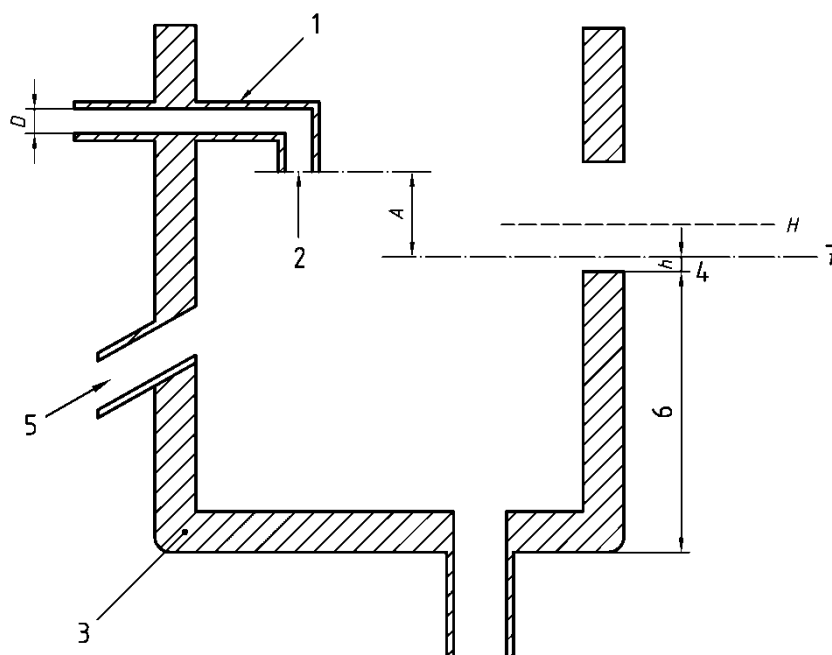
Vodovody provozní vody mají mít možnost doplňování pitnou vodou. Při řešení doplňování vodovodu provozní vody pitnou vodou je třeba vodovod pitné vody chránit proti možnému zpětnému průtoku nepitné (provozní) vody podle ČSN EN 1717. Provozní voda je podle této normy třídou tekutiny 5, která představuje nebezpečí pro lidské zdraví vzhledem

k přítomnosti mikrobiologických látek a virů. Doplnění vodovodu provozní vody je ve smyslu ČSN EN 1717 jiným než domovním použitím.

Ochrana přívodu pitné vody proti zpětnému průtoku se tedy musí provést pomocí některé z těchto ochranných jednotek:

- volného výtoku neomezeného (AA), např. výtoku nad kalichem;
- volného výtoku s nekruhovým přepadem (neomezeného) (AB), obr. 5.5, např. nádrže s plovákovým ventilem;
- volného výtoku s injektorem (AD);
- přerušovače průtoku s trvalým zavzdušněním z ovzduší (DC) umístěného v přívodním potrubí pitné vody, pokud se tento přerušovač nachází více než 150 mm nad nádrží (jímkou), v nádrži není přetlak vody a za přerušovačem se nenachází žádný uzávěr.

Potrubí pro přívod pitné vody nesmí být zaústěno přímo do nádrže (jímky) provozní vody. Potrubí pro rozvod provozní vody nesmí být přímo spojováno s potrubím pitné vody (požadavek vyhlášky č. 268/2009 Sb., ČSN EN 1717 a ČSN 75 5409). Zakázané propojení se prověřuje při zkoušení vnitřního vodovodu podle ČSN 75 5409.



Obr. 6.5 Schéma volného výtoku s nekruhovým přepadem (neomezeného) – skupiny A, druhu B (podle ČSN EN 13077) (A – vzduchová mezera, D - vnitřní průměr přívodního potrubí (světlost), H – nejvyšší hladina, h – svislá vzdálenost mezi přelivnou hranou a kritickou hladinou, 1 – přívodní potrubí, 2 – přítokový otvor, 3 – zásobovaná nádrž, 4 – přelivná hrana, 5 – přelivné potrubí (pokud je požadováno), 6 – $U_w \geq 5 h$, 7 – kritická hladina (výška h nad přelivnou hranou)).

Literatura

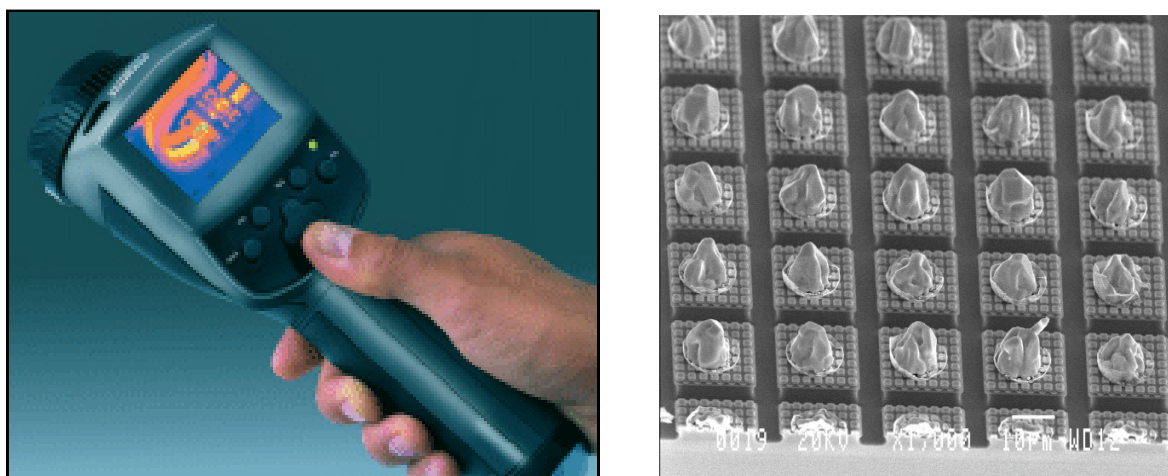
- [5] Wise, A.F.E. - Swaffield, J.A. *Water, Sanitary and Waste Services for Buildings*. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2002. ISBN 0 7506 5255 1. 257 s.

- [6] KAPALO, P. *Energetická hospodárnost budov – energia dodaná teplej vode.* Zborník prednášok 14. medzinárodnej konferencie SANHYGA 2009. Piešťany: SSTP 2009. ISBN 978-80-89216-29-1.
- [7] KOŠIČANOVÁ, D. *Komentár k normám STN EN 15316-3 – Systémy prípravy teplej vody.* Zborník prednášok 13. medzinárodnej konferencie SANHYGA 2008. Piešťany: SSTP 2008. ISBN 978-80-89216-24-6.
- [8] KOŠIČANOVÁ, D.-VRANAYOVÁ, Z. *Príprava a distribúcia teplej vody.* Košice: TU v Košiciach, Stavebná fakulta, 2009. ISBN 978-80-553-0209-6.
- [9] Vyhláška č. 428/2001 Sb., ktorou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění vyhlášky č. 120/2011 Sb.
- [10] Vyhláška č. 193/2007 Sb., ktorou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu.
- [11] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [12] ČSN EN 15316-3-1 (06 0401): 2008 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody).
- [13] ČSN EN 15316-3-2 (06 0401): 2008 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 3-2: Soustavy teplé vody, rozvody.
- [14] ČSN EN 15316-3-3 (06 0401): 2008 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy - Část 3-3: Soustavy teplé vody, příprava.
- [15] ČSN EN 12897 (75 5360): 2007 Zásobování vodou - Nepřímo ohřívané uzavřené zásobníkové ohříváče vody.
- [16] ČSN 75 5455: 2007 Výpočet vnitřních vodovodů.
- [17] TNI 73 0331 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.
- [18] DS 439 Norm for vandinstallationer (dánská norma pro vnitřní vodovody).
- [19] ČSN 75 5409 *Vnitřní vodovody.*
- [20] ČSN EN 806-1 až 5 *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské spotřebě.*
- [21] ČSN 75 5455 *Výpočet vnitřních vodovodů.*
- [22] ČSN EN 1717 (75 5462) *Ochrana proti znečištění pitné vody ve vnitřních vodovodech a všeobecné požadavky na zařízení na ochranu proti znečištění zpětným průtokem.*
- [23] ČSN EN 13077 *Zařízení na ochranu proti znečištění pitné vody zpětným průtokem – Volný výtok s nekruhovým přepadem (neomezený) – Skupina A – Druh B.*
- [24] ČSN EN 12056-1 až 5 *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy.*
- [25] ČSN EN 75 6760 *Vnitřní kanalizace.*
- [26] BS 8525 *Greywater systems - Part 1: Code of practice.*
- [27] DIN 1989-1 *Regenwassernutzungsanlagen. Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung.*
- [28] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.

7 Doc. Ing. Miloš Kalousek, Ph.D.: Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí – vady a poruchy

7.1 Úvod

V rámci relativně nového oboru termo-diagnostiky stavebních konstrukcí, bylo možno v zimním období započít dokumentování typických tepelně technických vad a poruch na obalových konstrukcích. Především se jedná o vady nízké vnitřní povrchové teploty na obalových konstrukcích, podobně jako se uvádí v článku 5.1. v ČSN 73 0540-2:2011 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí - Požadavky. Naopak při snímkování stavebních objektů z venkovní strany se stejná kritická místa projevují vyšší povrchovou teplotou, ovšem bez požadavků na maximální teplotu. Je to celkem logické, zajímá nás pouze vnitřní povrchová teplota (z důvodu pobytu osob), protože je zde důležité zabránit povrchové kondenzaci a růstu plísní. Tyto vady se převážně diagnostikují za pomoci termovizní techniky, která snímá a zobrazuje teplotu povrchu pomocí zvolené barevné stupnice. Přestože výše zmiňovaná norma primárně neumožňuje hodnocení teplot přímým měřením teplot na konstrukci, ale jen výpočtem za normových okrajových podmínek, lze přesto kritérium „Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce“ (teplotní faktor) aplikovat i pro měření termovizí (v právní praxi je obvykle termovize z těchto důvodů nepodporována). Ukázka termovizní kamery a detektoru kamery je na obr. 7.1.



Obr. 7.1 Termokamera a zvětšená matice detektoru QWIO FPA IR

Snímkem z termovizní kamery lze získat přehled plošného rozložení teplot na vnitřním i vnějším povrchu sledované konstrukce. Na základě zjištění teplejších míst na vnějším povrchu (obvykle červená barva) nebo chladnějších míst na vnitřním povrchu sledované konstrukce (modrá barva) můžeme diagnostikovat tepelný most. Je tedy možné ověřit, zda konstrukce včetně detailů byly správně navrženy i provedeny.

Termovizní snímky jsou využívány pro bezkontaktní plošnou termodiagnostiku objektů ve stavebnictví. Pomocí těchto snímků dosáhneme rychlého určení problematických míst v obalových konstrukcích budov. Pokud termovizní snímek odhalí poruchu, lze pomocí dlouhodobějšího měření přesněji určit její příčinu. Na základě podrobnější analýzy je potom možné určit příčinu poruchy a navrhnout způsob odstranění závady, ať již závada vznikla nesprávným návrhem při vypracování projektové dokumentace, nebo nesprávným provedením v období realizace stavby.

V současné době je velmi aktuální otázka spotřeby energie na vytápění budov. Energetická náročnost budovy vyjadřuje základní požadavek na úsporu energie budovy na vytápění jejím stavebním řešením. Při správném tepelně technickém návrhu konstrukce nestačí jen zvyšovat tloušťku tepelné izolace, ale musíme se snažit eliminovat nebo optimalizovat tepelné mosty. Čím vyšší požadavky na tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí klademe, tím vyšší podíl na tepelných ztrátách budovy mají tepelné mosty. Tepelné mosty samy o sobě mohou zvýšit tepelnou ztrátu domu velmi znatelně.

Požadavky, které lze tak prověřit dle ČSN 730540-2:2011 Tepelná ochrana budov

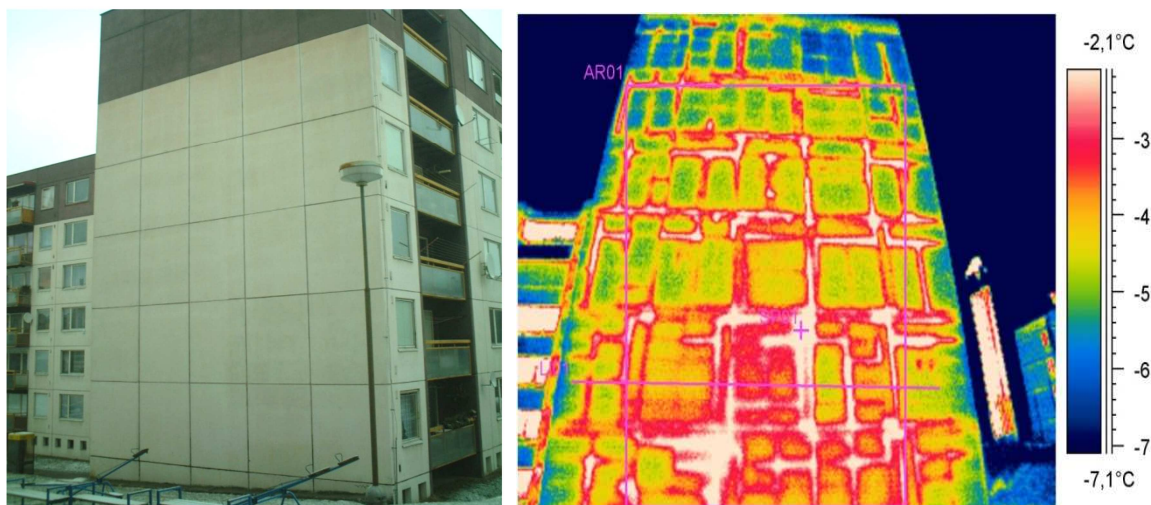
- Nejvyšší povrchová teplota (teplotní faktor)
- Součinitel prostupu tepla (lokální zhoršení – tepelný most, vazba)

Pomocí termovizní diagnostiky lze určit, zda byla splněna podmínka vnitřní povrchové teploty a také v některých případech, zda do konstrukce byla vložena tepelná izolace nebo, v případě oken pokovená vrstva a náplň vzácného plynu.

V této normě jsou stanoveny normové podmínky, za jakých se konstrukce posuzuje. Např. pro Brno je výpočtová teplota vnitřního vzduchu 20 až 21 °C a relativní vlhkost 50 % a pro vnější prostředí – 15°C a 84 %.

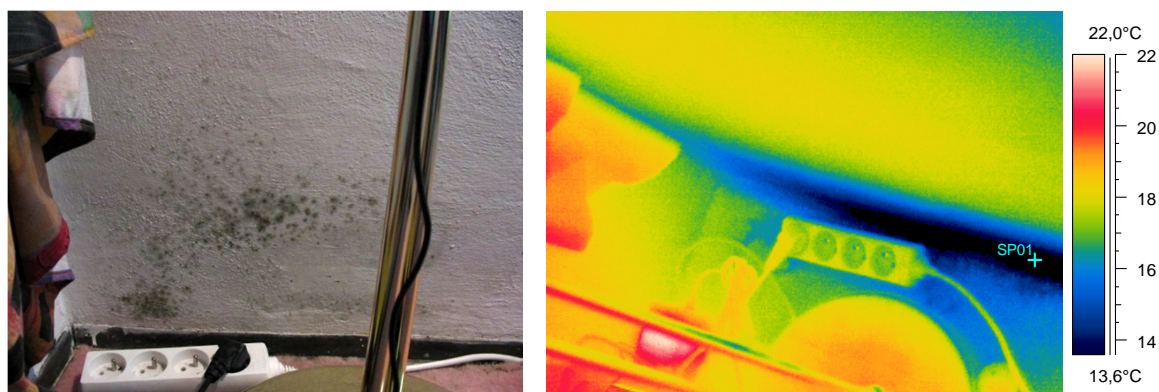
7.2 Nedostatečná tepelná izolace jednovrstvé obvodové stěnové konstrukce

Prvním příkladem chybějící či nedostatečné tepelné izolace v obvodové stěně je typický panelový dům (obr. 7.2), kdy při výrobě panelů docházelo k technologické nekázni a tepelná izolace nebyla přítomna rovnoměrně a v potřebné tloušťce viz obrázek 1 termovizní snímek vady na štítové stěně. Červená až bílá barva znázorňuje vyšší vnější povrchovou teplotu a tím únik tepla a také nepřímo místa, kde na vnitřní straně může dojít ke kondenzaci vodní páry z důvodu nízké povrchové teploty. Vady zde mohou být v podobě absence izolantu nebo se jedná o spoj panelů, nebo je v tomto místě napojena vnitřní příčka apod. Tuto vadu nelze odstraňovat lokálně, ale lze ji odstranit pouze komplexním zateplením stěn.



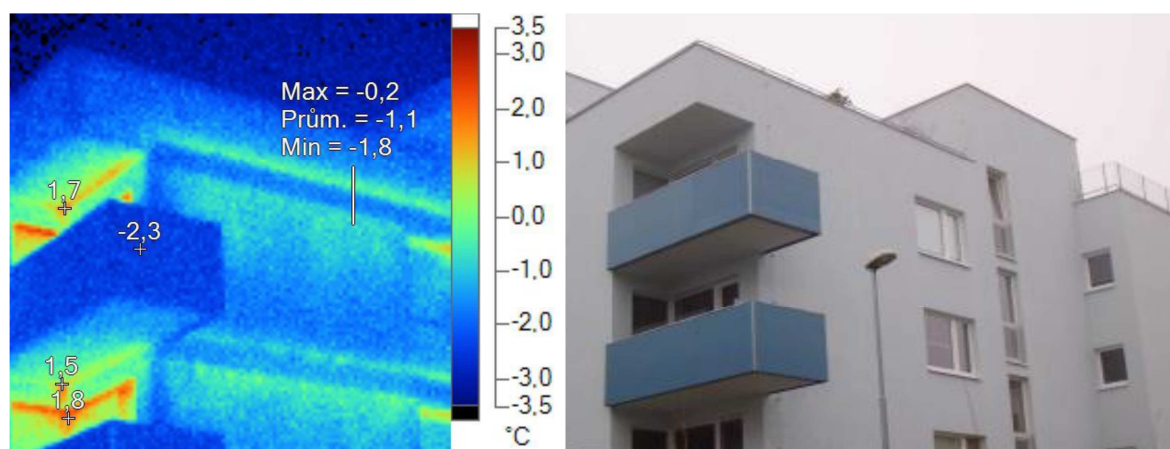
Obr. 7.2 Termovizní snímek vady na štítové stěně – absence izolantu

V interiéru takového panelového domu se v místech absence tepelné izolace vyskytují vlhké oblasti a plísně, jako na obr. 7.3. V místě styku stropního a stěnového panelu se žádná tepelná izolace nemůže nacházet a proto je zde výrazný tepelný most a vnitřní povrchová teplota nesplňuje požadavek normy. Po zateplení celého objektu se odstraní i tento problém a domy s rozumnými uživateli budou bez plísní.



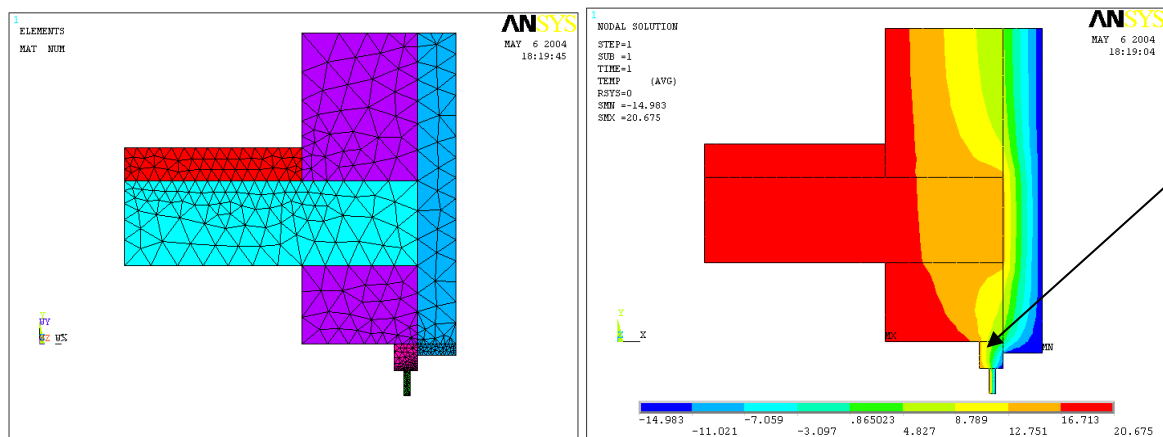
Obr. 7.3 Termografický snímek stěny. Modrá barva znázorňuje nízkou povrchovou teplotu a černá povrchovou kondenzaci (pod $11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) a riziko vzniku plísní. Povrchová teplota je pod teplotou rosného bodu.

Na obr. 7.4 je zase typický bytový dům současnosti, kde jsou viditelné pásy vyšší teploty kolem ŽB věnců, které jsou zatepleny bez přesahu. Jedná se o developerský projekt, kde stačilo jednovrstvé děrované keramické zdivo tl. 400 mm a věnce byly zatepleny pouze na svou výšku 250 mm. Kolem věnců jsou tepelné mosty do vzdálenosti 0,5 až 1,0 m a celkově zhoršují hodnotu součinitele prostupu tepla o 30 až 40 % což nebylo zohledněno při návrhu vytápění ani v průřezu energetické náročnosti budovy. Na vnitřní straně konstrukce ve vodorovných koutech dochází ke snížení povrchové teploty na úroveň požadavku normy a mohou tam i růst plísně. Proto se doporučuje v normě prověřit tyto kritické detaily modelováním dvojrozměrného nebo trojrozměrného teplotního pole.



Obr. 7.4 Termovizní snímek jednovrstvého zdiva – tepelné mosty v místě ztužujících věnců

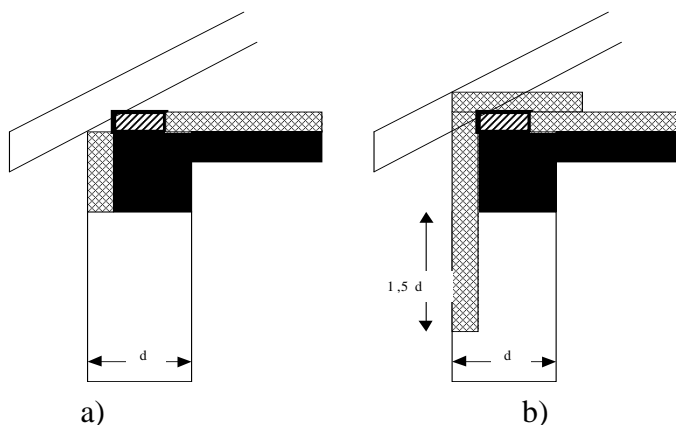
Modelování dvojrozměrného šíření tepla v konstrukci se běžně již několik let praktikuje v akademických, ale i inženýrských sférách a proto není třeba čekat na termodiagnostiku skutečného objektu, ale modelováním teplotního pole je možné předem prověřit navržený detail. Především se dvojrozměrně modelují tepelné mosty a vazby, které mají charakter dvojrozměrného řezu konstrukce, a lze zanedbat třetí rozměr. Na obr. 7.5 je zobrazen řez nadpražím a stopní konstrukcí, která je zateplena tepelnou izolací s přesahem rámu. V levé části obrázku je uveden model s rozdělením na konečné prvky a v pravé části je již výsledný průběh teplot - při normových okrajových podmínkách.



Obr. 7.5 Svislý řez obvodovou konstrukcí – model a teplotní pole

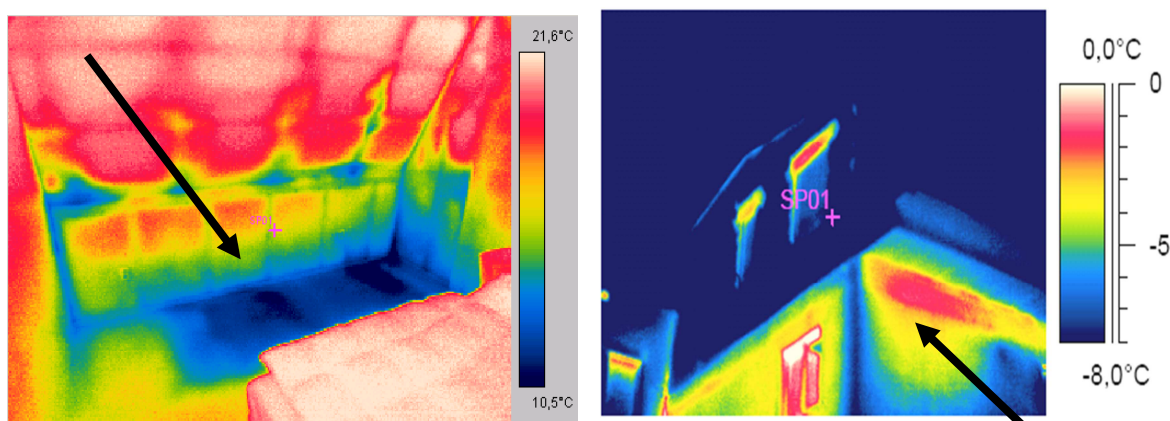
Pokud povrchové teploty nevyhovují požadavkům ČSN 730540-2:2011 je třeba pro splnění požadavků u konkrétního detailu optimalizovat detail, např. přesazením tepelné izolace ze stěny (překlady) přes okenní rám, což se již obvykle navrhuje a provádí, ale ne vždy je pro výpočet a posouzení použito dvojrozměrné teplotní pole, ale pouze empirie nebo zkušenost z praxe viz obr. 7.5, kde je na modelu 2D teplotního pole prověřen návrh přesazení tepelné izolace přes rám okna.

Na dalším obr. 7.6 je znázorněn doporučený přesah tepelné izolace přes stěnovou konstrukci v místě tepelného mostu (železobetonového věnce). Na rozhraní dvou materiálů v ochlazované konstrukci je doporučeno přetažení tepelnou izolací o minimálně 1,5 násobek tloušťky vlastní konstrukce, jinak dochází nárůstu tepelných ztrát přes tepelný most a k velkému lokálnímu poklesu povrchové teploty.



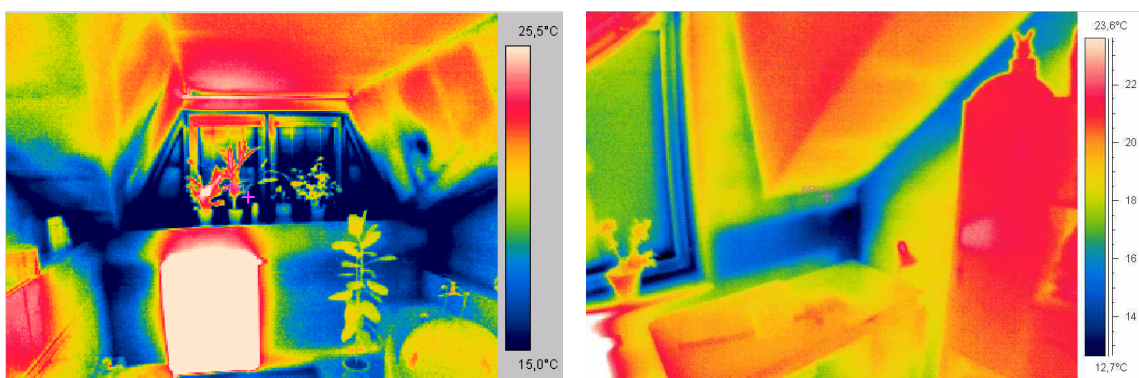
Obr. 7.6 Svislý řez ztužujícího věnce se zateplením a) bez b) s přesahem [1]

V případě podkroví se mnohdy stane z důvodu pracovní nekázně, že některá pole konstrukce mezi nosníky nejsou vyplněna požadovanou tepelnou izolací a vzniká tak velký tepelný most jako na obr. 7.7, kde ve vodorovné přesazené části střešní nástavby byla extrémně prochlazována podlaha tak, že problém odhalil i uživatel. Mimo jiné i z důvodu starého jednovrstvého zdiva pod nástavbou dochází k prochlazení i přes tuto stěnu a proto řešením je celkové zateplení stavby včetně spodní strany vodorovné konstrukce nástavby.



Obr. 7.7 Venkovní termogram půdní nástavby, tepelný most – chybějící tepelná izolace

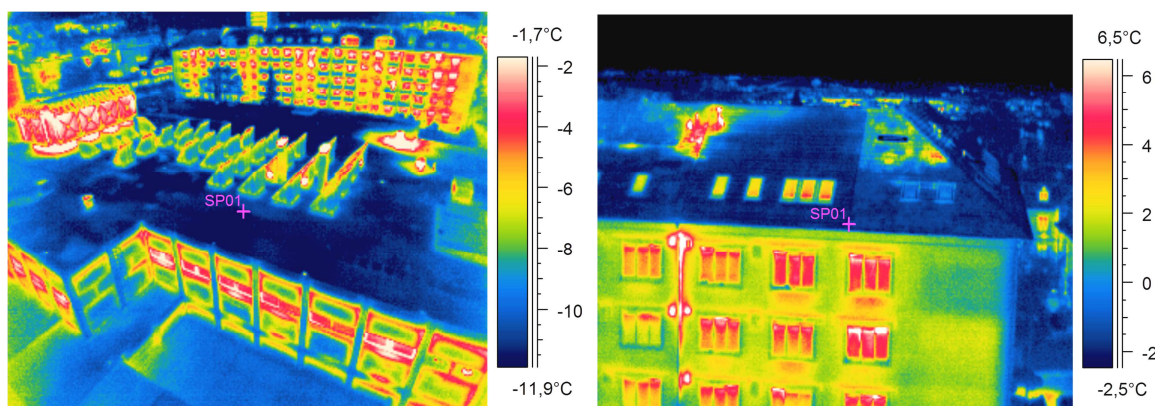
U střešních konstrukcí je mnohdy obtížné vyřešit předběžnost tepelné izolace rovině a dochází zde k oslabení izolace nebo je v některém místě pouze dřevěný trám nebo dokonce kovový prvek, který prostupuje napříč vrstvami. Na obr. 7.8 jsou znázorněna kritická místa střešní konstrukce kolem vikýře a v místě železobetonového ztužujícího věnce. Jsou zde patrná „modrá“ místa, kde je tepelný most. Mnohdy se problém nemusí projevit, protože je zde správně instalováno otopné těleso, které oslabenou konstrukci prohřívá, viz koupelna vlevo.



Obr. 7.8 Termogram koupelnové stěny a střechy, napojení vikýře a stěny a ztužujícího věnce

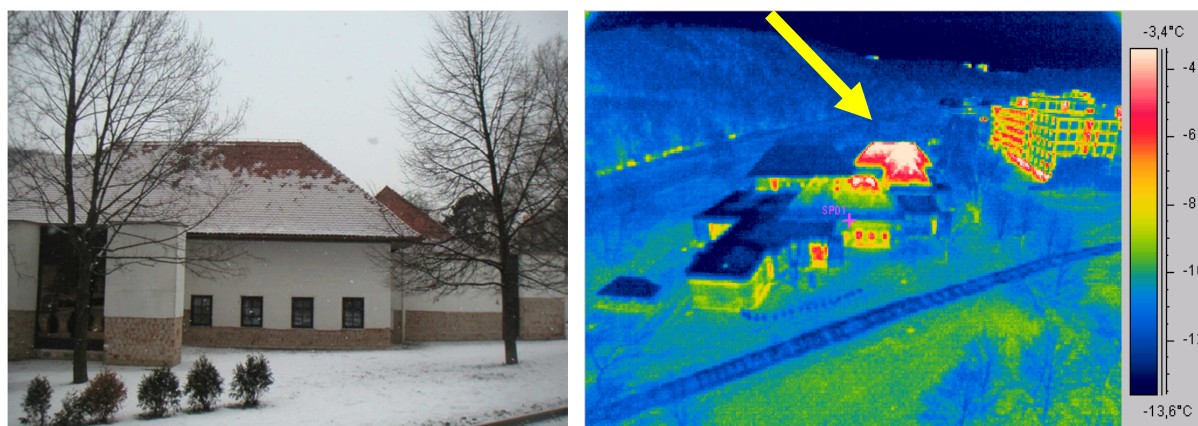
Střešní konstrukce je vždy nejvíce namáhaná konstrukce, především povětrnostními vlivy a proto si zasluhuje velkou pozornost také z hlediska tepelné techniky. Tomu odpovídají i požadavky normy – u střechy je požadována nejvyšší hodnota součinitele prostupu tepla $U =$

0,24 W.m⁻².K⁻¹ ze všech obalových konstrukcí viz obr. 7.9, kde jsou střechy nejvíce tmavé a tudíž více zateplené než ostatní obalové konstrukce.



Obr. 7.9 Plochá a sedlová střecha s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi

Střešní konstrukce by měla obsahovat tepelnou izolaci v nepřerušované kompaktní vrstvě, aby nedocházelo k tepelným mostům a vazbám. Obálka u sedlové střechy s podkrovím by měla být dokonale těsná, aby nedocházelo ke ztrátám průvzdušností jako na obrázku 7.10. Zde je tepelná izolace velmi nedokonalá a je zřejmé, že velké množství tepla uniká přes skladbu střešního pláště již z pouhé fotografie vlevo, kde je většina pokrývky sněhu roztátá.



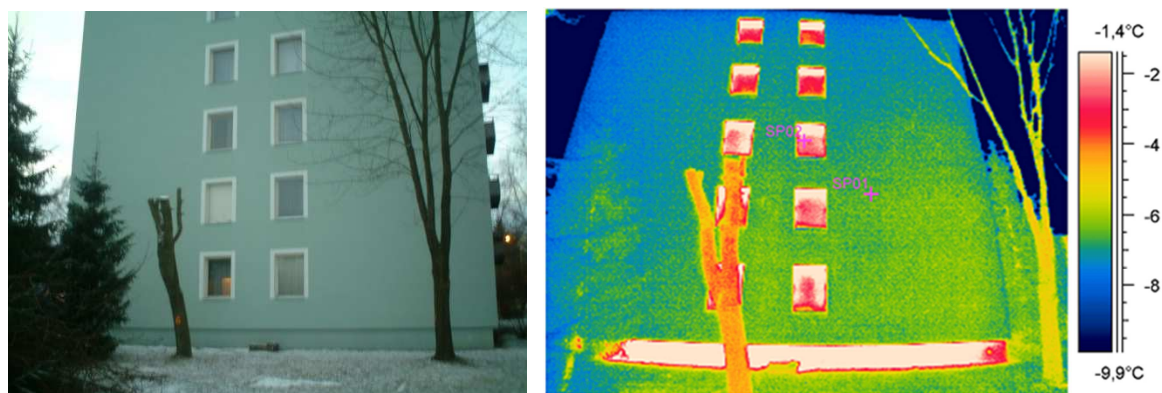
Obr. 7.10 Sedlová střecha - podkroví s nedostatečnými tepelně izolačními vlastnostmi

7.3 Přesah KZS přes nevytápěné podlaží

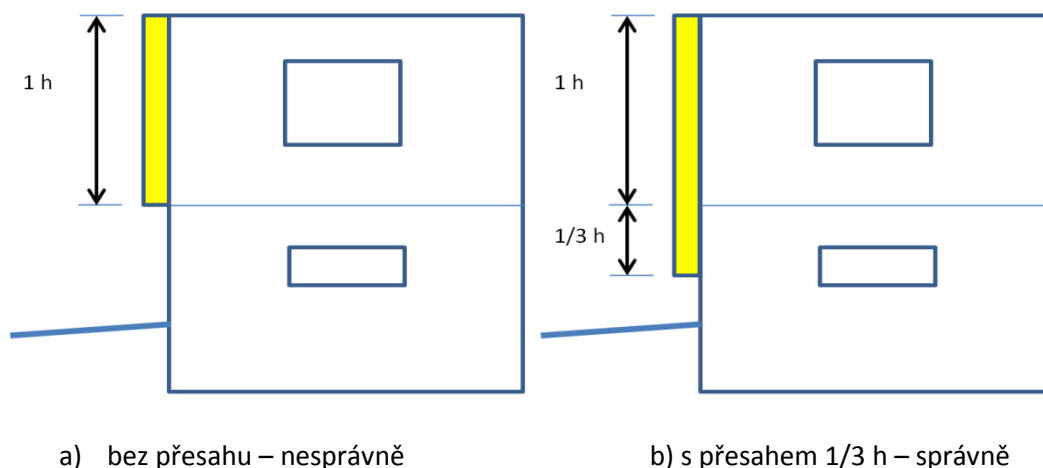
Dalším častým jevem i v současnosti je nedostatečné přesazení tepelné izolace přes rozhraní vytápěného a nevytápěného podlaží na stěně budovy viz obr. 7.11 a 7.12. Je vždy třeba přesadit (přetáhnout) zateplovací systém o 1/3 výšky podlaží (obvykle o 1 m) popřípadě stáhnout zateplovací systém těsně nad terén, když je nevytápěný suterén dostatečně zapuštěn pod terén.

Tato vada se nejčastěji vyskytuje u starších typů zateplení, kdy neexistovaly komplexní zateplovací systémy nebo v současnosti při neodborném návrhu projektanta. U objektu jsou pak vyšší tepelné ztráty a může docházet především v dolních koutech u podlahy v obytných

vytápěných místnostech prvního nadzemního podlaží k povrchové kondenzaci vodní páry a růstu plísní.



Obr. 7.11 Termovizní snímek zateplené stěny – nutný přesah rozhraní podlaží



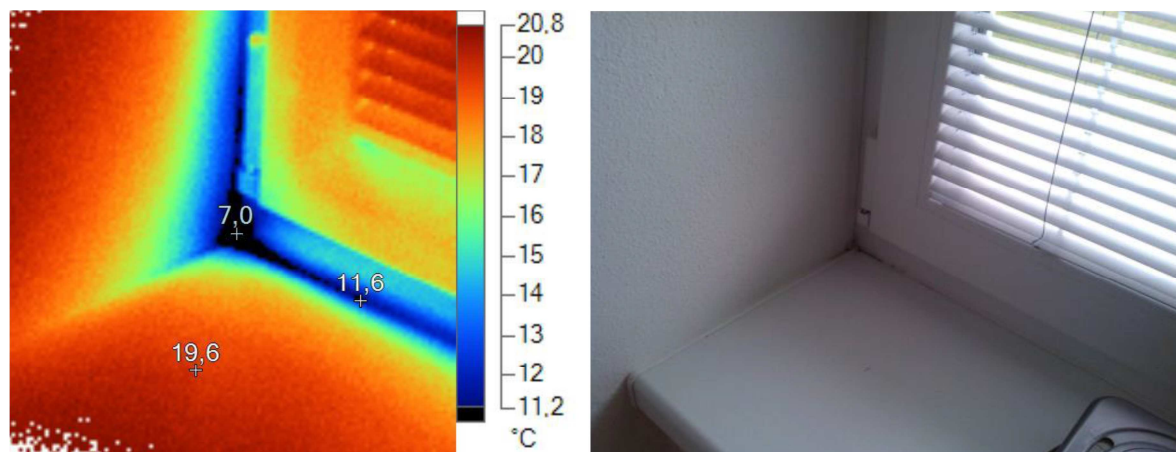
a) bez přesahu – nesprávně

b) s přesahem 1/3 h – správně

Obr. 7.12 Schéma zateplení objektu – doporučený přesah

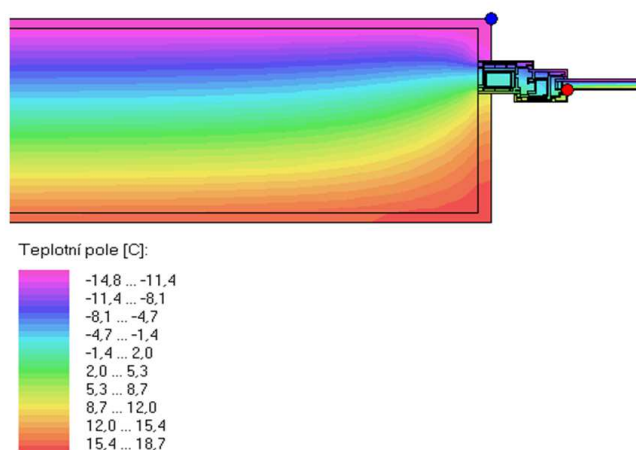
7.4 Ostění výplně otvoru v jednovrstvém zdivu

Jednovrstvé zdivo, např. z keramických tvarovek je tradiční volba nejen pro bytové stavby a má mnoho výhod. Ovšem jedna nevýhoda je vyšší tepelná propustnost náročnějších detailů, jako je také ostění výplně otvoru. V místě osazení několikrát užší výplně (okna, dveře) než je vlastní stěna, dochází k velkým tepelným mostům (vazbám). Tyto mosty (vazby) dokonce patří k nejvýraznějším ze všech popisovaných, protože dochází k často poklesu vnitřní povrchové teploty pod požadovanou normovou hodnotu. Na termosnímku obr. 7.13 je nejnižší vnitřní teplota povrchu „ostění“ v dolním koutu, kde nedochází k cirkulaci vzduchu a obvykle nelze přidat tepelný izolant pod parapetní plech. Modrá až černá barva znázorňuje nižší povrchovou teplotu a tím vyšší únik tepla. Současně vnitřní parapet vytváří nežádoucí vnitřní zateplení parapetu a pod ním je teplota ještě nižší než na okolním „obnaženém“ povrchu.

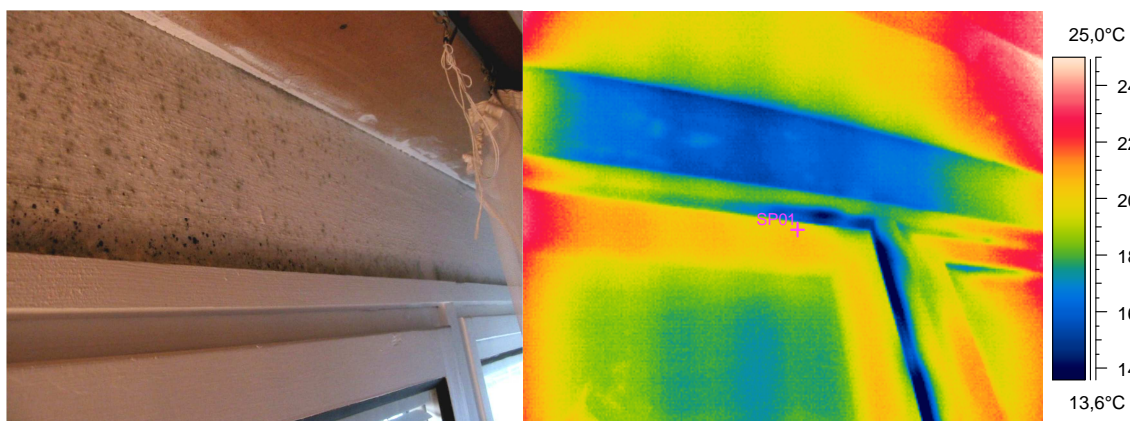


Obr. 7.13 Termovizní snímek ostění okna – vnitřní pohled

Pokud není systémově řešeno ostění, nadpraží a parapet okna v jednovrstvém zdivu, tak je nejnižší vnitřní povrchová teplota pod požadavkem normy viz obr. 7.14 tj. kolem 10 °C. Systémové řešení bez tepelných mostů je založeno např. na vloženém pásku tepelného izolantu (obvykle XPS) do žlábků v cihelné tvarovce kolem okna, které se v praxi málo používá.



Obr. 7.14 Dvourozměrné teplotní pole osazení okna – ostění (10,1 °C)

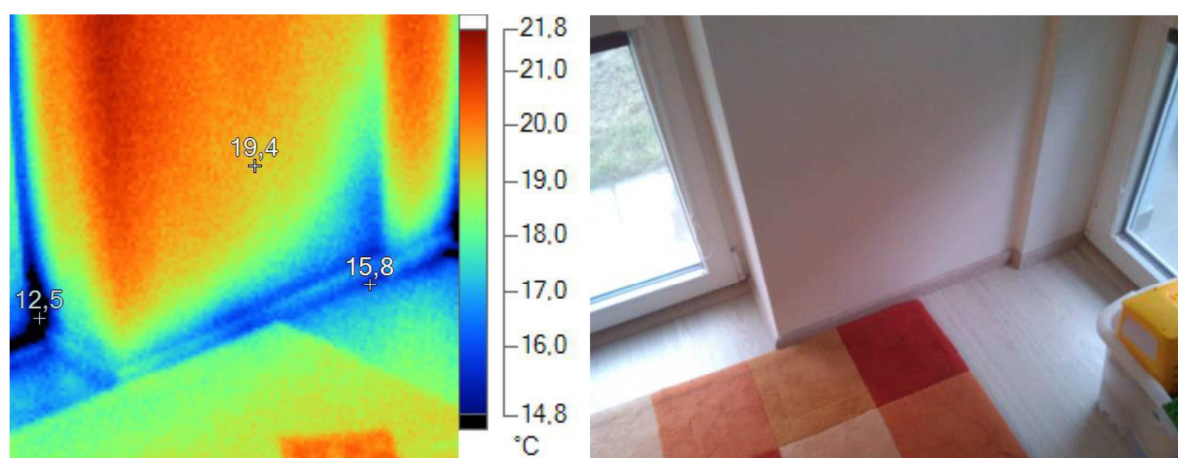


Obr. 7.15 Termogram koutu při venkovní teplotě – 3 °C

Protože se u jednovrstvého zdiva vyskytuje mnohem více problematických detailů (obr. 7.15) než jenom osazení okna, je obecně výhodnější sendvičové zdivo složeno z nosné části a tepelně izolační.

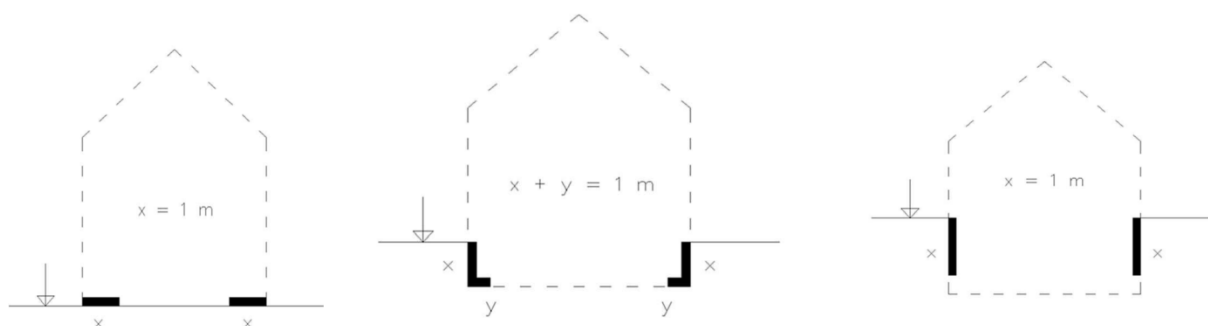
7.5 Nedostatečná tepelná izolace základů a podlahy

Základy jsou skryty pod terénem a při použití tradičního zakládání např. rodinných domů, kdy se lije betonová směs do výkopu nelze provést zateplení základů přiložením deskového izolantu (obr. 7.16). Povrch základů bude rovný pouze v případě použití bednění nebo tzv. ztraceného bednění. Je vůbec potřeba tepelně izolovat základy? Do roku 2000 bylo běžné, zateplovací systém u rekonstrukce i novostavby ukončit nad terénem a u jednovrstvého zdiva nebylo na co navázat.



Obr. 7.16 Nezateplené základy a tepelný most u paty zdiva

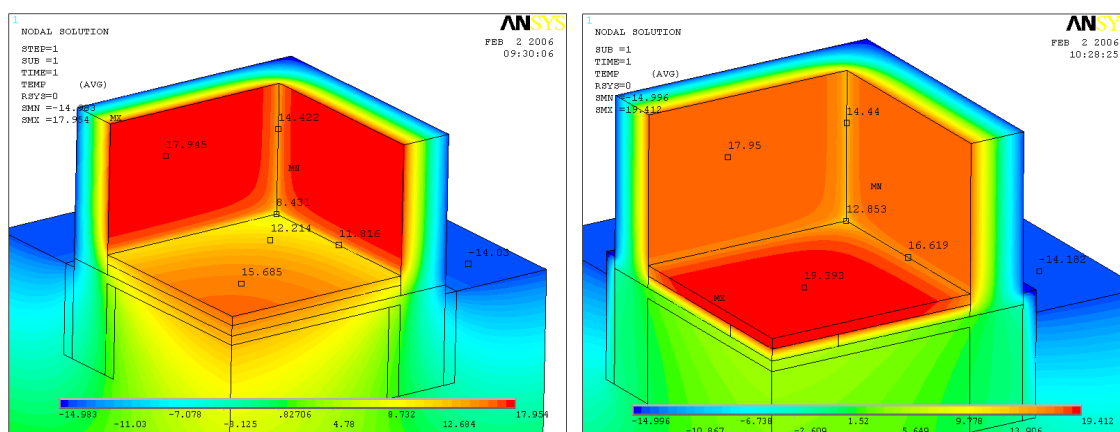
V současné době je několik možností jak přerušit tepelný most v místě kontaktu zdiva a základu. Jeden z nich je vložení pěnového skla, ale v době „vnitřně“ izolovaných děrovaných keramických tvarovek je možností buď s nimi provést celou stěnu, nebo alespoň první řadu. Další možností je založení stavby na XPS nebo na pěnovém skle, kde je téměř zcela zabráněno šíření tepla z objektu do zeminy.



Obr. 7.17 Schéma zateplení základů, podlahy a suterénu

Možnost omezení vlivu tepelných vazeb v napojení obvodové stěny na základy, podlahu na terénu přídatnou tepelnou izolací ukazuje obr. 7.17 dle již neplatné normy ČSN 730540-2:2007 (současně platná verze již schéma neobsahuje). Doporučuje se ochránit rozhraní vytápěného prostoru a zeminy v šířce 1 m zvýšenou tepelnou izolací dle schématu.

Otázkou však zůstává, proč neaplikovat lepší tepelnou izolaci v celé ploše podlahy. Objevují se názory, že zemina dokonale ochrání podlahu proti úniku tepla a není třeba zvyšovat požadavky. Návrhová teplota pod podlahou je 0 až 5 °C. Průměrná teplota venkovního vzduchu v zimním období je ovšem podobná a proto, neměli bychom ochránit podlahu na terénu podobně jako obvodovou stěnu. Pasivní standard a domy s téměř nulovou spotřebou to požadují a zřejmě je to na místě. Na obr. 7.18 je porovnávána podlahu na terénu bez tepelné izolace a s dobrou tepelnou izolací, kde je navíc i zateplen základ. Dostí nízká je i povrchová teplota nezateplené podlahy uprostřed stavby, pouhých 15,7 °C. A naproti tomu, pod touto podlahou je teplota kolem 13 °C, což je nečekaná hodnota a platí pro ustálený stav v topné sezóně. Jedná se o 3D teplotní model čtvrtiny stavby namodelovaný v programu Ansys. Jako příklad reálné konstrukce je podobný kout podlahy v bytovém domě v Brně viz obr. 7.19, kde se rozvinula plíseň.



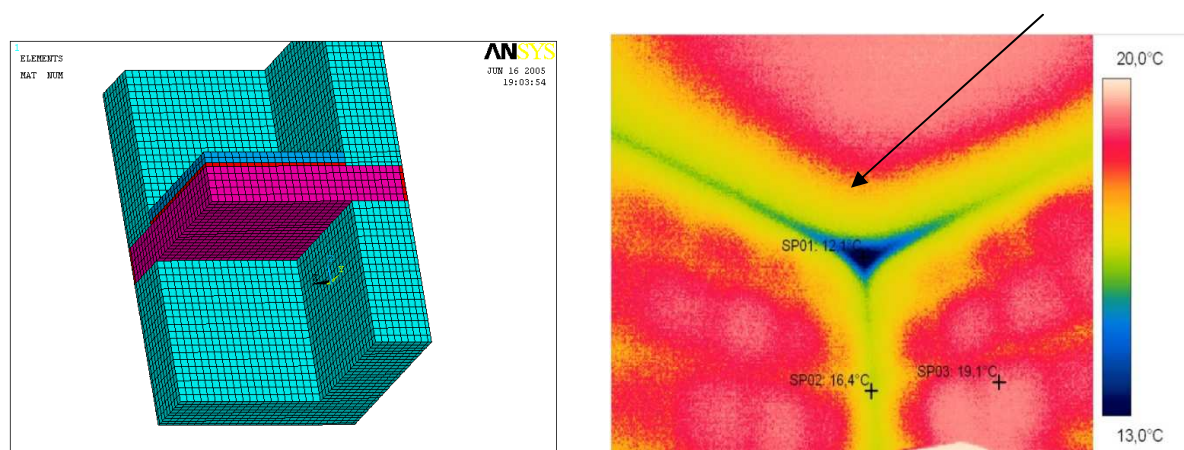
Obr. 7.18 Rozložení teplot nezateplené podlahy $\theta_{si,min} = 8,4$ °C – nevyhovující, zateplené podlahy $\theta_{si,min} = 12,8$ °C – vyhovující



Obr. 7.19 Ukázka projevu plísní v koutě u základů nezatepleného objektu

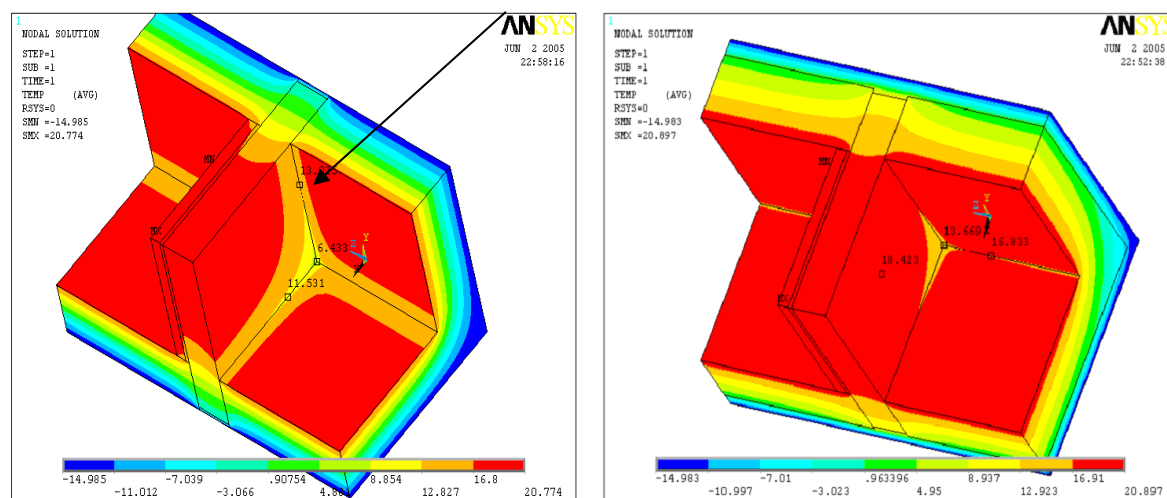
7.6 Přesah zateplovacího systému přes nevytápěné podlaží

Dalším typickým příkladem tepelného mostu je vnitřní kout obr. 7.20, kde dochází ke styku dvou zděných stěn (THERM) a železobetonového stropu. V tomto případě byl věnec zateplen v nedostatečné šířce (bez přetažení přes zděnou konstrukci) a v nedostatečné tloušťce (25 mm). Na termogramu obr. 7.20 je zobrazen nezateplený roh infrakamerou při venkovní teplotě - 3,0 °C. Je patrné, že požadavek normy (11,3 °C) nebude splněn při návrhové teplotě venkovního vzduchu -15 °C, kterou uvádí norma.



Obr. 7.20 Model a termovizní snímek konstrukce – kout 3D

Trojrozměrné teplotní pole tohoto detailu je uvedeno na obr. 7.21, kde vlevo je nezateplený případ a vpravo již zateplený. Přestože ztužující věnec vedle stropní konstrukce byl zateplen 30 mm EPS (pouze na výšku věnce – bez přesahu), nejnižší teplota na vnitřním povrchu (v koutě) byla pouhých 6,4 °C (za normových okrajových podmínek (venkovní teplota -15 °C). Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce byla splněna dle požadavku normy, až po zateplení celé konstrukce tepelnou izolací v tl. 80 mm, ale vzhledem k současným standardům je vhodné alespoň 100 až 120 mm viz obr. 7.21 vpravo.



Obr. 7.21 Teplotní pole nezatepleného a zatepleného koutu

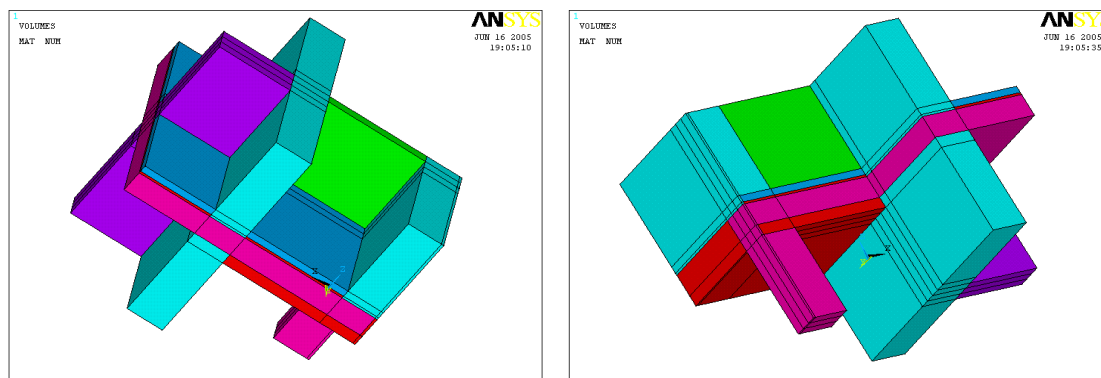
7.7 Prostupující lodžiová železobetonová konstrukce

Pokud má konstrukce charakter trojrozměrné konstrukce, např. železobetonová balkonová deska sloup, je třeba na podrobnější analýzu problému použít trojrozměrné teplotní pole. Modelováním trojrozměrného šíření tepla lze zkoumat celý objekt, ovšem obvykle je postačující modelování pouze její části. Od roku 2002 je provedení výpočtu trojrozměrného šíření tepla u kritického detailu při procesu navrhování v inženýrské praxi doporučeno normou ČSN 73 0540-2:2002.

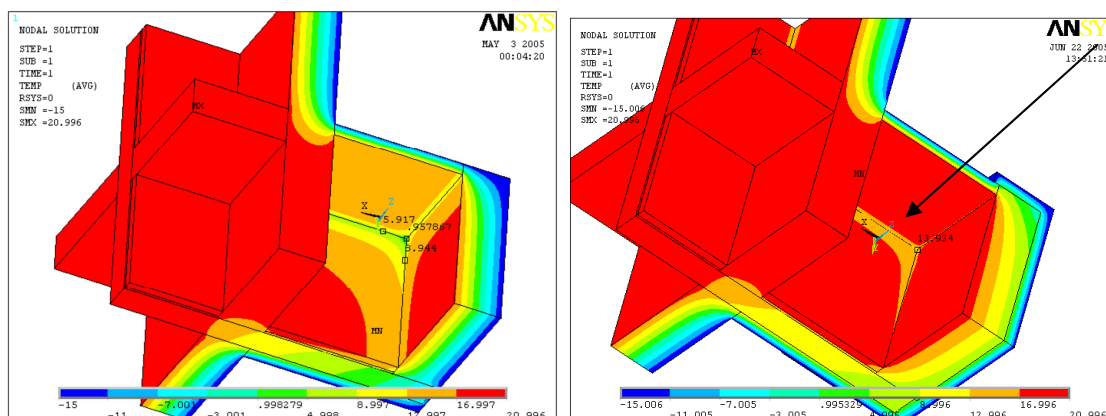


Obr. 7.22 Pohled na francouzské okno a problematický detail

Příkladem trojrozměrného problému kondenzace a růstu plísní je francouzské okno a sloupové podepření stropní filigránové desky bez tepelné izolace čel, kterými teplo prostupuje do exteriéru, viz obr. 7.22. Konstrukci nelze tepelně izolovat pouze ze spodní strany, jak to bylo prvotně učiněno záhy po kolaudaci, ale je třeba obalit sloup, který odvádí teplo z interiéru díky velké vodivosti železobetonové desky. Na vyřešeném modelu teplotního pole, kde byl zateplen celý objekt (včetně přesahu izolantu na rámech okna) obr. 7.23 je zřejmé, že povrchová teplota v okolí okna velmi vzrostla na 13,9 °C a již vyhovuje požadavkům normy (11,3 °C).



Obr. 7.23 Model 3D francouzského okna - vnitřní pohled a venkovní pohled

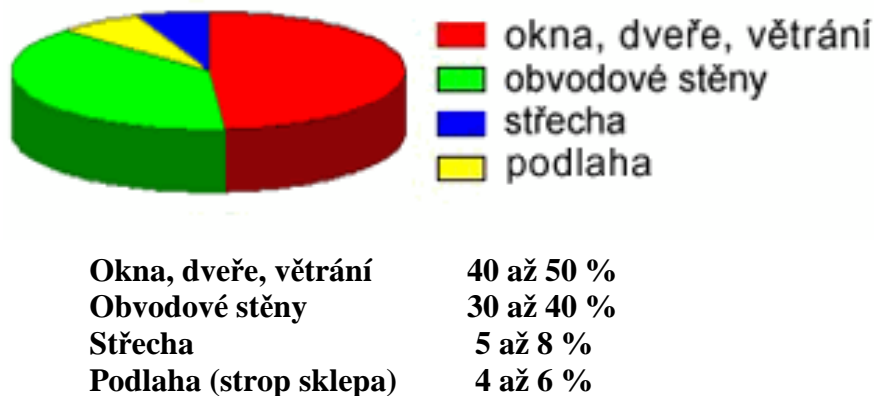


Obr. 7.24 Teplotní pole nezateplené (vlevo) a zateplené 100 mm (vpravo) konstrukce

7.8 Kvalita okenní výplně

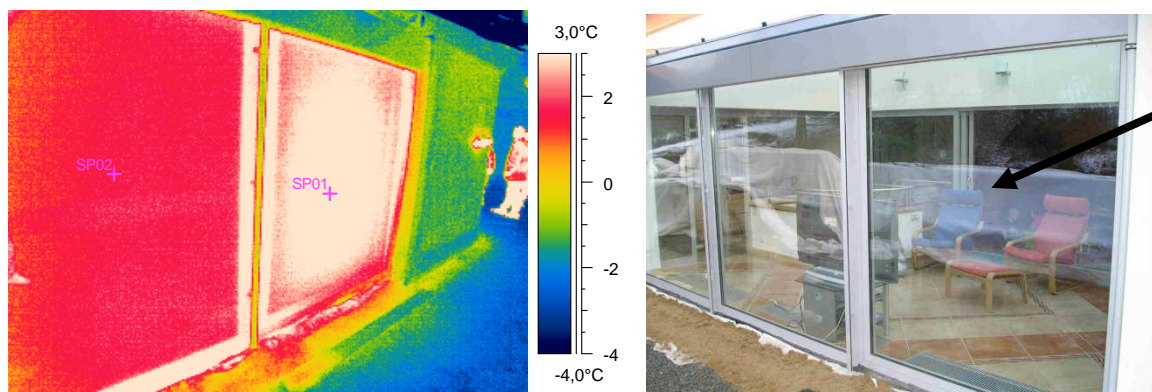
Z hlediska potřeby energie na vytápění budov tvoří okenní výplně, až 40 % viz graf obr. 7.25. Proto je třeba velikost a počet těchto konstrukcí na objektu správně navrhnout mimo jiné také ve vztahu k požadavku na dostatečné denní osvětlení a také k požadavku letní tepelné stability místnosti. Okenní výplň má zpravidla až 5 krát vyšší prostup tepla než stěnové konstrukce a proto je třeba více dbát na tepelně izolační vlastnosti. Na místo izolačního dvojskla s argonovou výplní a pokovením se stává standardem izolační trojsklo.

Od roku 2012 se nejnižší vnitřní povrchová teplota na rámu a zasklení hodnotí pouze informativně, ale z povinných požadavků byla „vyňata“.



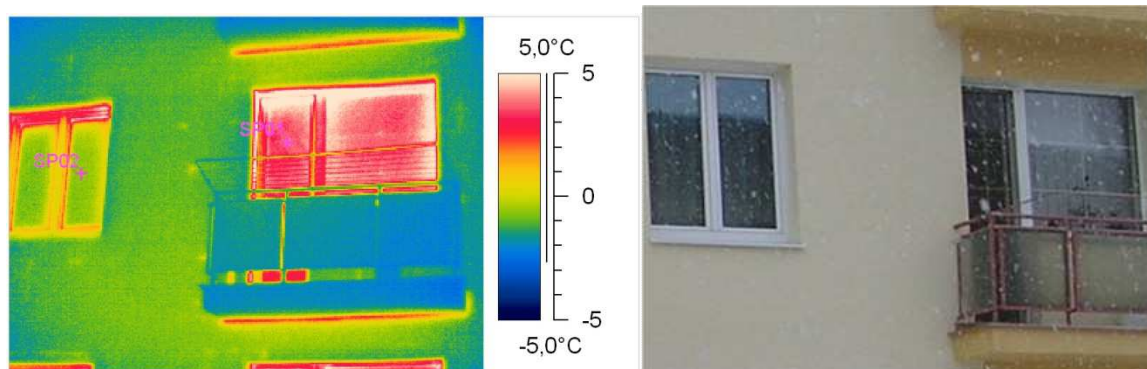
Obr. 7.25 Vícepodlažní dům pro bydlení - rozdělení prostupu tepla obálkou

Na následujícím obr. 7.26 je zřetelný rozdíl vnějších povrchových teplot, za stejných okrajových podmínek, údajně stejného zasklení $U = 1,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Je ovšem zřejmé, že toto zasklení neobsahuje pokovenou vrstvu, tj. bylo to obyčejné dvojsklo, jak se později prokázalo.

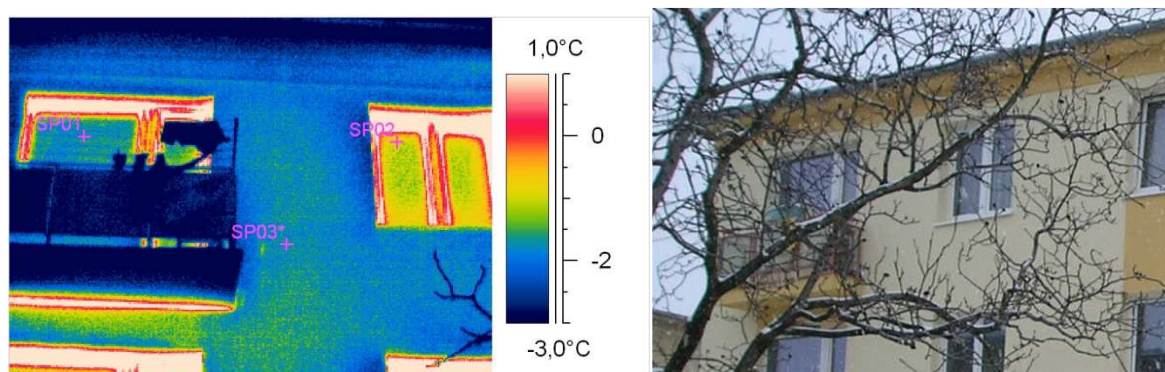


Obr. 7.26 Zasklení okenní výplně vpravo nemá pokovenou vrstvu

Zajímavé je také porovnání tepelně izolačních vlastností různých výplní plastových oken. Balkonová sestava na obr. 7.27 je osazena obyčejným dvojsklem a vedle vlevo okno s izolačním dvojsklem. Na dalším obr. 7.28 je ještě porovnání s izolačním trojsklem vlevo. Jediná část výplně co má stejný parametr je rám okenní výplně (asi $U_f = 1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Obvodové stěny budova jsou zatepleny v tl. 120 mm EPS. Na tom nejhorším zasklení (červená barva) je patrné, že uniká velké množství tepla a tato volba pro novou výplň je absolutně nevhodná.

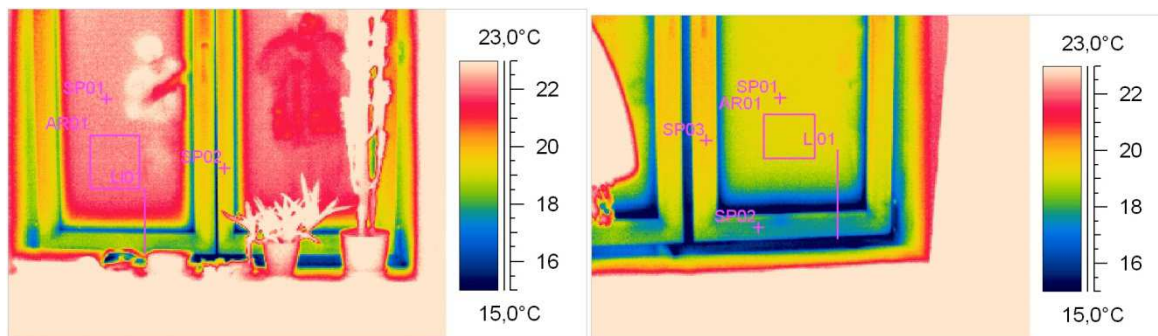


Obr. 7.27 Pohled na zateplenou fasádu objektu, detail okna ($U_g = 0,70$) a balkonu ($U_g = 2,8$) – zimní venkovní měření



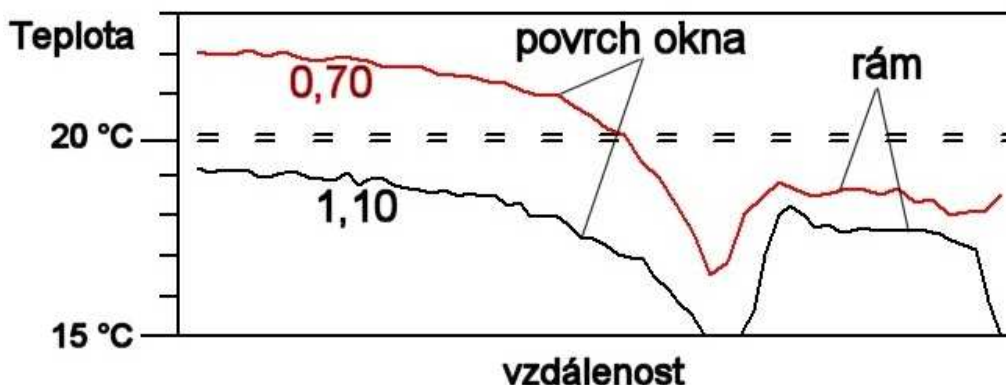
Obr. 7.28 Pohled na zateplenou fasádu objektu, detail okna ($U_g = 1,1$) a balkonu ($U_g = 0,70$) – zimní venkovní měření

Na obr. 7.29 jsou zobrazeny termovizní snímky ze strany interiéru, kde vlevo je izolační trojsklo a vpravo izolační dvojsklo. Je zřejmé, že povrchová teplota uprostřed zasklení se téměř blíží teplotě vzduchu v interiéru a zajišťuje tepelnou pohodu prostředí. Rámy okenních výplní jsou shodné a venkovní teplota při měření také.



Obr. 7.29 Detail okna z interiéru (vlevo $U_g = 0,70$; vpravo $U_g = 1,10$)

Při stejných okrajových podmínkách a stejném způsobu vytápění dochází k vyššímu uživatelskému komfortu a zřejmě i vyššímu „prohřátí“ místnosti a okenní výplně, protože povrchové teploty na obr. 7.30 jsou vyšší. Celý teplotní profil trojskla je posazen výše, ale pro srovnání strmějšího nárůstu povrchové teploty zasklení od rozhraní s rámem (křídlem) je názorné zobrazit pozitivní rozdíl na zasklení až 3 K. Teplotní profil je měřen z termogramů v dolní části u parapetu, kde je vždy nejnižší teplota povrchu a často zde kondenzuje vodní pára, i když okno vyhovuje všem požadavkům a mnohdy relativní vlhkost nepřesahuje návrhovou hodnotu.

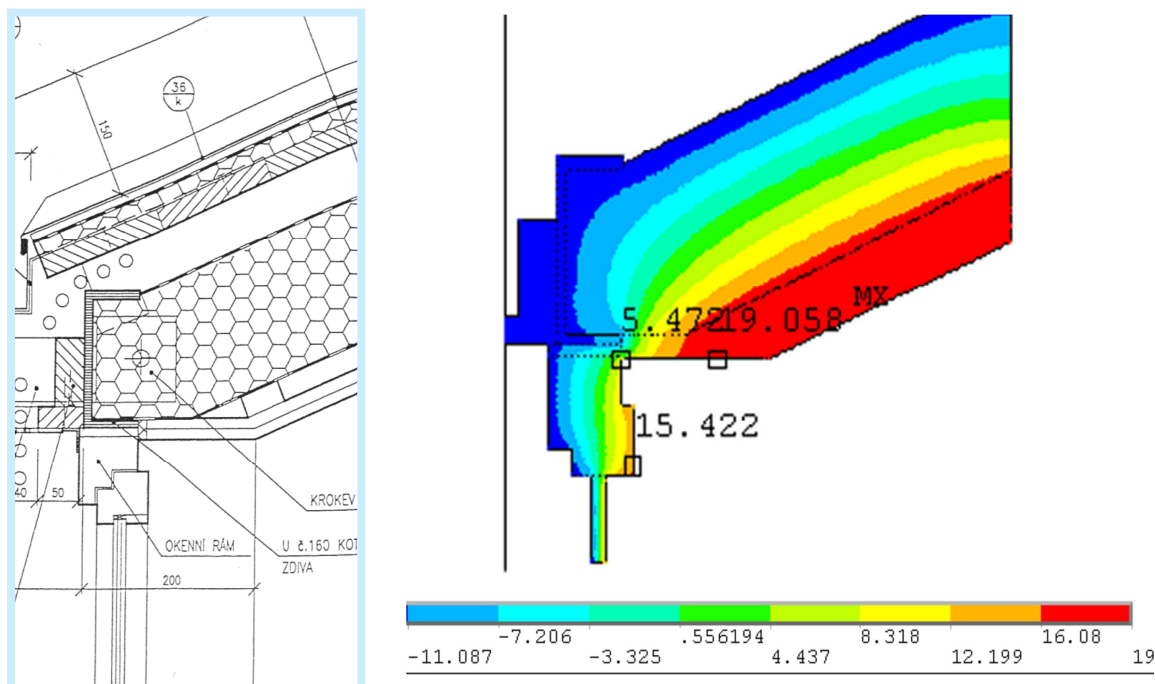


Obr. 7.30 Teplotní profil na rámu a zasklení $U_g = 0,70$ a $U_g = 1,10$

Vnitřní povrchová teplota na konstrukcích je závislá na dostatečné tepelné izolaci v tom daném místě a právě v místě parapetního plechu není možno instalovat tepelnou izolaci a proto zde bývá výraznější tepelná vazba než v nadpraží a ostění. V těch místech lze provést přesazení zateplovacího systému přes rám okna a lze tak zajistit vyhovující vnitřní povrchové teploty.

V některých návrzích obvykle podkrovních konstrukcí se vyskytují naprosto nevhodné detaily jako na obr. 7.31, kde přímo v nadpraží okna byl navržen ocelový nosník tvaru „C“,

který dolní pásnicí izolačně degraduje nadpraží. Ocel se součinitelem tepelné vodivosti $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ vytváří nepříjemný tepelný most v těsné blízkosti dřevěného okenního rámu. Nejnižší teplota vnitřního povrchu je $5,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a hluboce nespĺňuje požadavek normy. Řešením je zaizolování ocelového nosníku z vnější strany a vložení tepelné izolace mezi rám okna a nosník. Další možností je použití dřevěného trámu, ale s přidáním tepelné izolace kolem něj.



Obr. 7.31 Kritický detail (řez) v podkrovním bytě, tepelný most v nadpraží

7.9 Dvojitá skleněná fasáda VUT v Brně – móda nebo efektivnost?

Zajímavým objektem z hlediska řešení tepelně izolačních vlastností obalových konstrukcí je budova Fakulty informačních technologií, Vysokého učení technického v Brně. Je zde uplatněno klasické zateplení fasády z minerální vlny v tloušťce 100 mm a před to ještě vybudována vzduchová mezera v rámci dvojitě skleněné fasády. Takto vytvořená částečně větraná vzduchová mezera se nazývá nárazníková zóna, které má za úkol odstínit nežádoucí vliv vnějšího klimatu.

Zde se jedná především o zbránění přehřívání vnitřních prostor odvětráním vzduchové mezery především komínových efektem v letním období, ale také o částečné využití sluneční energie v zimním období v podobě uzavřeného skleníku. Největší přínos je zde ovšem v oblasti akustiky, kde je druhou skleněnou vrstvou fasády odstíněna frekventovaná ulice před budovou což u budovy s účelem výuky studentů stěžejní.



Obr. 7.32 Dvojitá skleněná fasáda

Dvojitá fasáda má pozitivní vliv na celkovou energetickou bilanci objektu v letním i zimním období. Rychlosti proudění vzduchu uvnitř fasády v letním období jsou dostatečné na odvětrání meziprostoru fasády, kde je teplota vzduchu vyšší oproti okolnímu prostředí průměrně o 8 °C. V zimním období je teplota vzduchu v meziprostoru fasády vyšší až 7 °C což výrazně snižuje tepelné ztráty objektu.

V obou obdobích má druhý plášť fasády pozitivní vliv také na kvalitu vnitřního prostředí budovy. V zimním období zajistí vyšší povrchovou teplotu na vnitřním zasklení a v letním období zase odstíní velké množství solárních zisků.

Další objekty, kde byl obdobně využit meziprostor dvojitě skleněné fasády:



Obr. 7.33 Pohled na dvojitou fasádu Moravské zemské knihovny v Brně



Obr. 7.34 Pohled na dvojitou fasádu budovy AB Reding v Bratislavě

Literatura

- [1] VAVERKA, J., CHYBÍK, J., MRLÍK, F. Stavební fyzika 2 Tepelná technika, Vutium, Brno 2000.
- [2] Manuál ANSYS
- [3] ČSN 730540 Tepelná ochrana budov: Část 1 termíny a definice. Veličiny pro navrhování, Praha, 2004.
- [4] ČSN 730540 Tepelná ochrana budov: Část 2 Funkční požadavky, Praham 2011.
- [5] ČSN 730540 Tepelná ochrana budov: Část 3 Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování, Praha, 2005.
- [6] ČSN 730540 Tepelná ochrana budov: Část 4 Výpočtové metody pro navrhování a ověřování, Praha, 2004.
- [7] ČSN 060210 Výpočet tepelných ztrát při ústředním vytápění, Praha.
- [8] ČSN 734301 Obytné budovy, Praha.
- [9] Vyhláška č. 78 o energetické náročnosti budov, Praha, 2013.
- [10] Zákon č. 406 o hospodaření energií, Praha, 2000.
- [11] Kuneš, J., Modelování tepelných procesů, TKI STNL, Praha, 1989.
- [12] Rédr, M., Příhoda, M., Základy tepelné techniky, STNL, Praha, 1991.
- [13] Kalousek, M., Bahula J., Tepelná technika budov, Návody pro cvičení, CERM, 1999, ISBN 80-214-1150-3.
- [14] Osobní archiv fotografií a termogramů autora doc. Ing. Miloše Kalouska, Ph.D.
- [15] Kalousek, M., Habilitační práce, Využití experimentálních a simulačních metod v tepelné ochraně budov, VUT v Brně, 2005

8 Ing. Hana Kuklíková: Praktické aspekty energetického hodnocení budov

8.1 Úvod

Energetické hodnocení budov - novostaveb a rekonstrukcí bylo do praxe zavedeno v souladu se zákonem o hospodaření energií 406/2000 Sb. vč. novel a následně v roce 2007 vyhláškou 148/2007 Sb. „O energetické náročnosti budov“. Energetická náročnost se posuzovala podle celkové dodané energie v GJ potřebné na užívání budovy, resp. měrné potřeby na podlahovou plochu: vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení při jejím standardizovaném užívání bilančním hodnocením. Výstupem byl průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) s protokolem a grafickým výstupem.

Výraznou odlišností od současně platné vyhlášky 78/2013 Sb. byla rozdílná kritéria (limity) pro hodnocení budov dle jejich využití (tab. 8.1). Tato kritéria - limity se pak lišily v rozmezí až o cca 250 %. Nejprísnejší požadavky byly na bytové domy, nejmírnější pak na zdravotnická zařízení. Hranice mezi jednotlivým zařazením budovy byly pevně dané, což hodnocení některých budov značně ovlivňovalo, a to i nepříznivě (typickým příkladem bylo hodnocení přízemních novostaveb s malou celkovou podlahovou plochou). Potřeba energií dle jednotlivých „energonositelů“ byla dána pouze účinností daného zdroje bez vlivu energetických faktorů zavedených až ve vyhlášce 78/2013 Sb. Takže obecně i s elektrickým přímotopným vytápěním (elektrokotel, el. panely apod.) bylo hodnocení vyhovující, resp. i výhodnější než s klasickým plynovým kotlem, což bylo dáno pouze vlivem účinnosti (u elektrokotlů vyšší než u klasického plynového kotle).

Tab. 8.1 Třídy energetické náročnosti dle vyhlášky 148/2007 Sb.

Druh budovy	A	B	C	D	E	F	G
Rodinný dům	< 51	51 - 97	98 - 142	143 - 191	192 - 240	241 - 286	> 286
Bytový dům	< 43	43 - 82	83 - 120	121 - 162	163 - 205	206 - 245	> 245
Hotel a restaurace	< 102	102 - 200	201 - 294	295 - 389	390 - 488	489 - 590	> 590
Administrativní	< 62	62 - 123	124 - 179	180 - 236	237 - 293	294 - 345	> 345
Nemocnice	< 109	109 - 210	211 - 310	311 - 415	416 - 520	521 - 625	> 625
Vzdělávací zařízení	< 47	47 - 89	90 - 130	131 - 174	175 - 220	221 - 265	> 265
Sportovní zařízení	< 53	53 - 102	103 - 145	146 - 194	195 - 245	246 - 297	> 297
Obchodní	< 67	67 - 121	122 - 183	184 - 241	242 - 300	301 - 362	> 362

Dle novely zákona č. 177/2006 Sb. byla povinnost doložit PENB ke každé novostavbě, dále ke změnám dokončených budov s celkovou podlahovou plochou nad 1000 m², a to od 1.1.2009.

8.2 Základní požadavky vyhlášky č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

Změna zákona O hospodaření energií č. 318/2012 Sb. rozšířila případy, kdy je nutno dokládat průkazy energetické náročnosti. Povinnosti jsou uvedeny v §7 Snižování energetické náročnosti a v §7a Průkaz energetické náročnosti zákona 406/2000 Sb. v platném znění.

Zároveň byla vyhláška 148/2007 Sb. O energetické náročnosti budov nahrazena vyhláškou 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov.

Vyhláška doznala zásadních změn v hodnocení budov. Jednak zrušením zařazení budov dle tabulky podle využití budovy (tab. 8.1) a zavedením hodnocení dle „referenční“ budovy. Další výraznou změnou bylo stanovení požadavků na energetickou náročnost, které musí být splněny u novostaveb a změn dokončených budov a postupné zpřísňování těchto požadavků v časových horizontech až k návrhu budov s téměř nulovou spotřebou energie v závislosti na velikosti energeticky vztažené plochy. Nejprve pro „veřejné budovy“, následně i pro ostatní budovy (k 1.1.2020 pak pro všechny novostavby). Rovněž bylo zavedeno hodnocení dílčích ukazatelů energetické náročnosti na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti, přípravu TV a osvětlení. Podstatnou měrou se pak na výsledném energetickém hodnocení budovy podílí zavedení faktorů „primárních energií“, které ovlivňují hodnocenou měrnou spotřebu energií (celkovou, neobnovitelnou), které závisí zjednodušeně řečeno na zdrojích primární energie, které budova využívá pro pokrytí jednotlivých spotřeb. Např. u „neobnovitelné primární energie“ se prakticky jedná o přepočtení na produkci CO₂. Tyto faktory pak výrazným způsobem ovlivňují zejména u novostaveb energetickou náročnost, resp. zpětně typ navrhovaného zdroje.

Pojem referenční budova je definován ve Vyhlášce 78/2013 Sb. v § 2 Základní pojmy takto:

„Referenční budovou je výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy“. Tyto referenční hodnoty jsou uvedeny v Příloze 1 vyhlášky.

Dalšími pojmy, které hodnotí energetickou náročnost budovy, jsou uvedeny ve Vyhlášce 78/2013 Sb. v § 3 Ukazatele energetické náročnosti budovy a jejich stanovení.

(1) Ukazatele energetické náročnosti budovy jsou

- a) celková primární energie za rok,
- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- c) celková dodaná energie za rok,
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla,
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- g) účinnost technických systémů.

Požadavky na energetickou náročnost se pak liší podle toho, zda se jedná o novou budovu nebo změnu dokončené budovy a jsou uvedeny ve Vyhlášce 78/2013 Sb. v § 6 Požadavky na energetickou náročnost budovy stanovené na nákladově optimální úrovni:

„(1) Požadavky na energetickou náročnost nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v § 3 odst. 1 písm. b),

c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu.“

Musí být tedy splněny tyto ukazatele energetické náročnosti, a to současně:

- neobnovitelná primární energie za rok,
- celková dodaná energie za rok,
- průměrný součinitel prostupu tepla.

Při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud splníme jednu z následujících možností:

„a) hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedených v § 3 odst. 1 písm. b) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu“.

Musí být tedy splněny tyto ukazatele energetické náročnosti:

- b) neobnovitelná primární energie za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla

nebo

„b) hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedených v § 3 odst. 1 písm. c) a e) nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu“.

Musí být tedy splněny tyto ukazatele energetické náročnosti

- c) celková dodaná energie za rok,
- e) průměrný součinitel prostupu tepla

nebo

„c) hodnota ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pro všechny měněné stavební prvky obálky budovy uvedeného v § 3 odst. 1 písm. f) není vyšší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti uvedená v tabulce č. 2 přílohy č. 1 k této vyhlášce a současně hodnota ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pro všechny měněné technické systémy uvedeného v § 3 odst. 1 písm. g) není nižší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti uvedená v tabulce č. 3 přílohy č. 1 k vyhlášce 78/2013 Sb“.

Musí být tedy splněny tyto ukazatele energetické náročnosti

- f) všechny upravované konstrukce musí splnit $U_{rec,20}$ – doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla,
- g) všechny měněné technické systémy musí mít min rovnu nebo vyšší účinnost než referenční hodnoty dle vyhlášky 78/2013.

U „rekonstrukcí“ je tedy možno navrhnout různou kombinaci opatření a zvolit takový systém hodnocení, aby byl splněn požadavek Vyhlášky.

Vyhláška 78/2013 Sb. v příloze 1 uvádí požadavky na hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy (tab. 8.2). Tato hodnota je rozdílná pro novostavby a pro změny dokončených budov. Pro změny dokončených budov je tato hodnota shodná s hodnotou vypočtenou dle ČSN 730540 Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky.

Pro novostavby je pak pro hodnocení obálky budovy o 20 % přísnější, resp. hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy nesmí překročit 0,8 násobek.

V této souvislosti je třeba zmínit, §6 odst. 3 vyhlášky 78/2013 Sb., ve kterém je uvedeno: Přístavba a nástavba navyšující původní energeticky vztahnou plochu budovy o více než 25 % se považuje pro stanovení referenčních hodnot ukazatelů energetické náročnosti za „novou budovu“. V praxi to znamená, že mohou nastat případy, kdy i při větší změně dokončené budovy platí přísnější kritérium pro součinitel prostupu tepla obálkou budovy.

Tab. 8.2 Požadavek na hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční hodnota		
			Dokončená budova a její změna	Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	f_R	-	1	0,8	0,7

8.3 Vliv typu zdroje na hodnocení budovy

Typ zdroje, resp. použité vstupní primární energie v budově pro technické systémy (pro zajištění provozu spojených s užíváním budovy) mají zásadní vliv na hodnotu neobnovitelné primární energie, která je určována přepočtem ze spotřeby energií (dle energonositelů) násobených faktory neobnovitelné primární energie. Hodnocení této energie zohledňuje vliv provozu budovy na životní prostředí – zejména z pohledu produkce CO₂.

Faktory obecně určují účinnost „daného typu“ energie – paliva od místa těžby přes přepravu až po spotřebu (účinnost využití) v samotném objektu.

Pozn.: u elektřiny např. bude vypočtená spotřeby neobnovitelné primární energie násobena hodnotou 3,0. Vypočtená hodnota se pak použije pro výpočet měrné spotřeby dané energie na EVP (energeticky vztahnou výpočtovou plochu) – takže je zřejmé, že bude výrazně vyšší než např. u zemního plynu (faktor 1,1) nebo biomasy (0,1/0,2).

Tab. 8.3 Faktory primární energie hodnocené budovy – příloha č. 3 k vyhlášce č. 78/2013 Sb.

Ergonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé uhlí	1,1	1,1
Hnědé uhlí	1,1	1,1

Propan-butan/LPG	1,2	1,2
Topný olej	1,2	1,2
Elektřina	3,2	3,0
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1,0	0,0
Elektřina - dodávka mimo budovu	-3,2	-3,0
Teplo - dodávka mimo budovu	-1,1	-1,0
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,1
Soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 50% a nejvýše 80% podílem obnovitelných zdrojů	1,1	0,3
Soustava zásobování tepelnou energií s 50% a nižším podílem obnovitelných zdrojů	1,1	1,0
Ostatní neuvedené energonositele	1,2	1,2

Z tohoto přehledu je patrné, že u novostaveb, kde je nutno splnit hodnotu ukazatele „neobnovitelné primární energie“, je výběr zdroje zásadní pro vyhovující hodnocení.

Obecně lze říci, že pokud je splněn požadavek na kvalitu obálky budovy, tedy průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy $U_{em,N}$ např. v kategorii „C“, může se pak hodnocení neobnovitelné dodané energie dle zdroje pohybovat od kategorie „A“ až např. do „E“.

Tedy v lokalitách bez plynofikace nelze volit přímotopné elektrické zdroje (kotel, el. přímotopy, akumulární el. topidla), ale „elektrické“ zdroje využívající energii okolního prostředí - tedy tepelná čerpadla, resp. volit zdroje na spalování biomasy (dřevo, pelety apod.) nebo v kombinaci např. se solárními panely.

Hodnoty neobnovitelné primární energie pro referenční budovu se navíc dle vyhlášky 78/2013 Sb. od 1.1.2015 snižují a to pro dokončenou budovu a její změnu o 3 % u všech typů budov, u novostaveb pro rodinné a bytové domy se hodnota snižuje o 10 % a pro ostatní budovy o 8 %.

8.4 Hodnocení novostavby rodinného domu

V následujícím textu jsou uvedeny výsledky energetického hodnocení novostavby rodinného domu (RD) v závislosti na druhu vstupní energie a dále je porovnán vliv zasklení izolačním dvojsklem a trojsklem. Toto hodnocení je dále provedeno pro dům přízemní a dům dvoupodlažní, přičemž oba domy mají shodnou energeticky vztažnou plochu, shodné otvorové výplně a orientaci ke světovým stranám. Obálka budovy je navržena tak, aby průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em} byl v kategorii „C“ a byl tedy splněn jeden ze tří požadavků pro hodnocení energetické náročnosti budov dle vyhlášky 78/2013 Sb.

Cílem výpočtů pro právě takto zvolené domy bylo:

- porovnat vliv volby zdroje na celkovou dodanou energii a neobnovitelnou primární energii,

- porovnat vliv zasklení otvorových výplní na celkovou dodanou energii a neobnovitelnou primární energii.

8.4.1 RD 1 - přízemní novostavba, okna s izolačními dvojskly

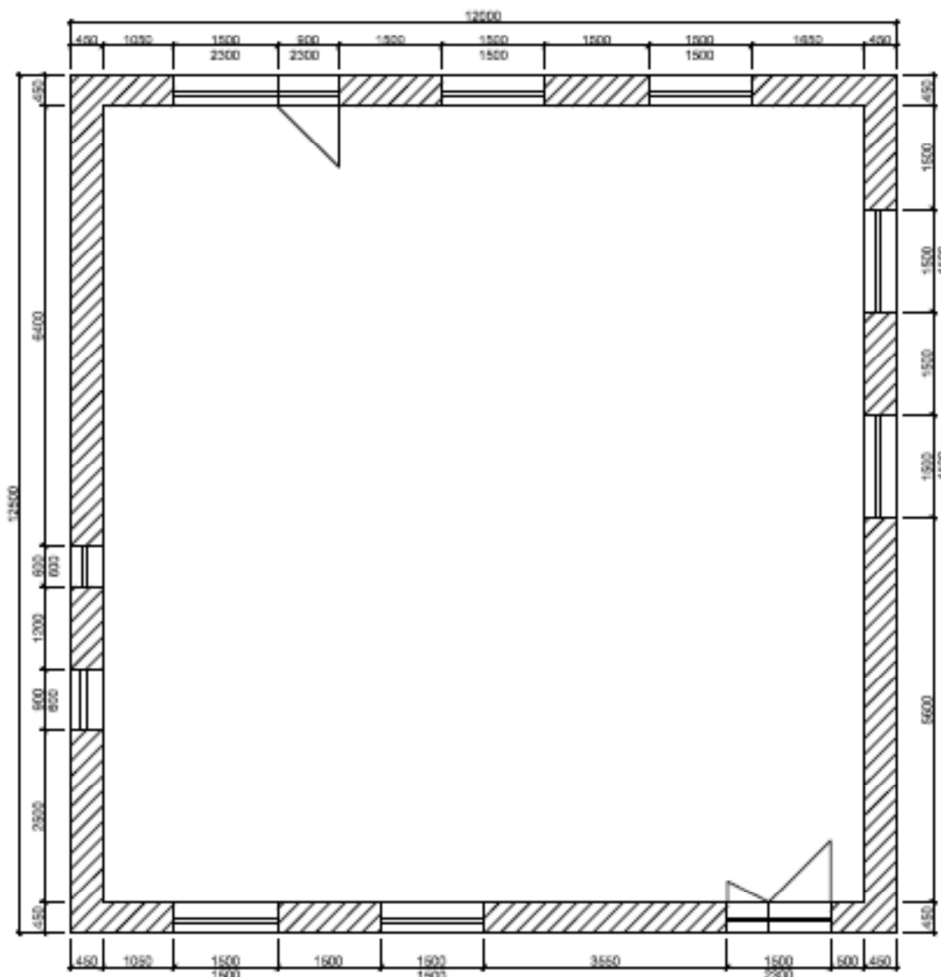
První hodnocení je provedeno pro přízemní novostavbu rodinného domu (tab. 8.4) s následujícími parametry:

Tab. 8.4 Základní parametry rodinného domu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Zastavěná plocha	150,0	m ²
Energeticky vztažná plocha	150,0	m ²
Vnější obestavěný objem V	487,5	m ³
Vnitřní objem	334,8	m ³
Plocha ochlazované obálky A	459,3	m ²
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,94	m ² /m ³
Zasklení izolačním dvojsklem U_w	1,2	W.m ⁻² .K ⁻¹
Propustnost slunečního záření g	0,75	-

RD 1: PŘÍZEMNÍ
PŮDORYS 1.NP

POZN.: PODLAHA 1.NP NA ZEMINĚ
STŘECHA PLOCHÁ 1 PLÁŠTOVÁ



Obr. 8.1 Půdorys rodinného domu jednopodlažního

Tab. 8.5 Hodnocení obálky budovy dle vyhlášky 78/2013 Sb.

Průměrný součinitel prostupe tepla obálkou budovy U_{em}	($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení dle §6 1) e)
Referenční budova	0,281	--	--	
Hodnocená budova	0,272	0,968	C	Vyhovuje

Pro takto definovaný rodinný dům je provedeno hodnocení dalších dvou ukazatelů energetické náročnosti, které je nutno u novostaveb splnit, a to celkové dodané energie a neobnovitelné primární energie podle typu zdroje pro vytápění a přípravu teplé vody (TV). Hodnocení je uvedeno v tabulce 8.6.

Tab. 8.6 Energetické hodnocení dle zdrojů tepla

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Celková dodaná energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby	
							dle §6 odst.1	Celkové sp lnění všech tří ukazatelů
	Měrná spotřeba			Měrná spotřeba				
	(kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)	--	--	(kWh.m ² .rok ⁻¹)	--	--		
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	190,0	0,812	C	166,5	0,809	C	vyhovuje	vyhovuje
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	165,2	0,706	B	143,9	0,700	B	vyhovuje	vyhovuje
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívání zásobník TV	452,6	1,934	E	150,9	0,734	B	nevyhovuje	nevyhovuje
Obdobné hodnocení je pro elektrické přímotopy, el. podlahové vytápění ap od.								
Tepebné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV (COP 3,1), elektrická bivalence 20 %	240,6	0,978	C	150,5	0,695	B	vyhovuje	vyhovuje
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektrickou	120,1	0,488	A	186,6	0,891	C	vyhovuje	vyhovuje

Obdobné hodnocení je pro CZT s podílem >80 % OZE (kotle na pelety částečně horší - viz faktory prim. energie)

Z hodnocení vyplývá, že ve všech případech jsou splněny ukazatele energetické náročnosti pro celkovou dodanou energii a průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy. Výsledné hodnocení celkové dodané energie je v kategorii B nebo C a zcela koresponduje s účinnostmi zdrojů.

Ukazatel neobnovitelné primární energie je nevyhovující v případě vytápění, kde zdrojem bude elektrokotel, případně el. přímotopy nebo odporové topné kabely a teplá voda bude připravována elektroohřevem.

Vliv volby zdroje (při stejné kvalitě obálky budovy a stejném užívání) na neobnovitelnou primární energii u výše posuzovaných typů zdrojů má za výsledek hodnocení od A – mimořádně úsporná až po E – nehospodárná.

Hodnocení energetické náročnosti „nové“ budovy by bylo celkově nevyhovující a bylo by nutné zvolit jiný zdroj nebo kombinaci zdrojů. V praxi to znamená, že v lokalitách, kde není přípojka plynu, je nutno pro novostavby navrhovat místní obnovitelné zdroje nebo tepelná čerpadla. To samozřejmě vede ke zvýšení investičních nákladů. Jistým kompromisním řešením může být kombinace vytápění elektřinou a krbem či krbovou vložkou, v případě teplovodní otopné soustavy pak doplněnou teplovodním výměníkem.

8.4.2 RD 1 - přízemní novostavba, okna s izolačními trojskly

Druhé hodnocení je provedeno pro přízemní novostavbu rodinného domu (obr. 8.1) s následujícími parametry:

Tab. 8.7 Základní parametry rodinného domu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Zastavěná plocha	150,0	m ²
Energeticky vztažná plocha	150,0	m ²
Vnější obestavěný objem V	487,5	m ³
Vnitřní objem	334,8	m ³
Plocha ochlazované obálky A	459,3	m ²
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,94	m ² /m ³
Zasklení izolačním dvojsklem U_w	0,85	W.m ⁻² .K ⁻¹
Propustnost slunečního záření g	0,50	-

Tab. 8.8 Hodnocení obálky budovy dle vyhlášky 78/2013 Sb.

Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em}	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení dle §6 1) e)
Referenční budova	0,281	--	--	
Hodnocená budova	0,254	0,905	C	Vyhovuje

Rovněž ve druhém případě je provedeno hodnocení celkové dodané energie a neobnovitelné primární energie pro různé zdroje jako v předchozím případě.

Tab. 8.9 Energetické hodnocení dle zdrojů

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Celková dodaná energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby dle §6 odst.1
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	194,5	0,831	C	170,5	0,829	C	vyhovuje
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	169,1	0,722	B	147,3	0,716	B	vyhovuje
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívavý zásobník TV Obdobné hodnocení je pro elektrické přímotopy, el. podlahové vytápění apod.	463,6	1,981	E	154,5	0,751	C	nevyhovuje
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20 %	245,5	0,998	C	153,8	0,710	B	vyhovuje
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevno), mimo otop. období ohřev TV elektrinou	121,6	0,494	A	190,9	0,881	C	vyhovuje
Obdobné hodnocení je pro CZT s podílem >80 % OZE (kotle na pelety částečně horší - viz faktory prim. energie)							

Výsledné hodnocení energetické náročnosti je shodné jako u prvního rodinného domu s izolačními dvojskly, lepší zasklení nemá na konečné hodnocení významný vliv.

V následující tabulce 8.10 je znázorněn vliv zasklení na celkovou dodanou energii.

Tab. 8.10 Vliv kvality zasklení na měrnou celkovou dodanou energii

Typ zdroje	Celková dodaná energie		Rozdíl	
	Měrná hodnota		kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
	Dvojsklo, g = 0,75	Trojsklo, g = 0,50		
	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹		kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	166,5	170,5	4,0	2,40
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	143,9	147,3	3,4	2,36
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívání zásobník TV	150,9	154,5	3,6	2,39
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	150,5	153,8	3,3	2,19
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektřinou	186,6	190,9	4,3	2,30

Ze srovnání je patrné navýšení spotřeby celkové dodané energie pro dané 2 typy zasklení v neprospěch kvalitních trojskel o cca 2,4 %. Rozdíl plyne ze snížení využití vnějších tepelných zisků z oslunění, které je dáno hodnotou parametru g .

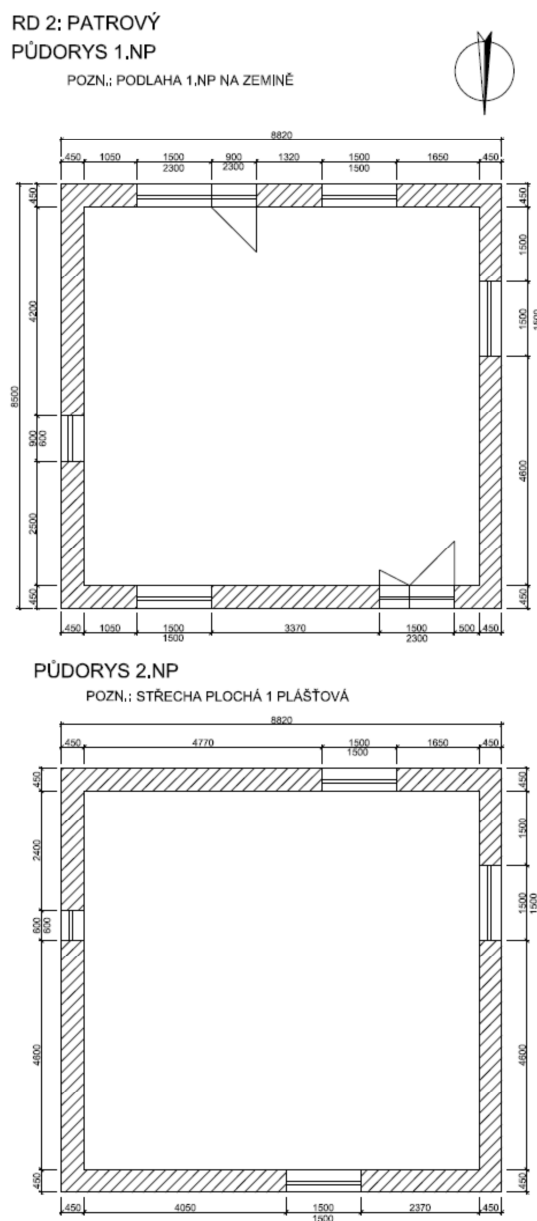
U pasivních domů pak je toto procento ještě výraznější, kvalitní zasklení s pokovením sice sníží letní přehřívání, ale zároveň výrazně sníží vnější tepelné zisky zasklenými plochami (zejména v přechodných obdobích vytápění).

8.4.3 RD2 – dvoupodlažní novostavba, okna s izolačními dvojskly

Obdobné výpočty jsou provedeny pro novostavbu dvoupodlažního rodinného domu se stejnou energeticky vztažnou plochou a stejnou plochou otvorových výplní se shodnou orientací jako u přízemního rodinného domu.

Tab. 8.11 Základní parametry rodinného domu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Zastavěná plocha	75,0	m ²
Energeticky vztázná plocha	150,0	m ²
Vnější obestavěný objem V	457,5	m ³
Vnitřní objem	334,8	m ³
Plocha ochlazované obálky A	361,3	m ²
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,79	m ² /m ³
Zasklení izolačním dvojsklem U_w	1,2	W.m ⁻² .K ⁻¹
Propustnost slunečního záření g	0,75	-



Obr. 8.2 Půdorys rodinného domu dvoupodlažního

Tab. 8.12 Hodnocení obálky budovy dle vyhlášky 78/2013 Sb.

Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em}	$W.m^{-2}.K^{-1}$	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení dle §6 1) e)
Referenční budova	0,309	--	--	
Hodnocená budova	0,303	0,982	C	Vyhovuje

Tab. 8.13 Energetické hodnocení dle zdrojů

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie	Poměr k referenční budově		Celková dodaná energie	Hodnocení	Poměr k referenční budově		Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby dle §6 odst.1
		Měrná spotřeba (kWh.m ² .rok ⁻¹)	Měrná spotřeba (kWh.m ² .rok ⁻¹)			Měrná spotřeba (kWh.m ² .rok ⁻¹)	Měrná spotřeba (kWh.m ² .rok ⁻¹)		
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	170,4	--	0,821	149,1	C	--	0,819	C	vyhovuje
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	150,8	--	0,727	131,2	B	--	0,721	B	vyhovuje
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívání zásobník TV	405,4	--	1,953	135,1	E	--	0,420	B	nevyhovuje
Obdobné hodnocení je pro elektrické přímotopy, el. podlahové vytápění apod.									
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	225,6	--	1,026	140,3	D	--	0,726	B	vyhovuje
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektrinou	113,0	--	0,515	168,2	B	--	0,871	C	vyhovuje

Obdobné hodnocení je pro CZT s podílem >80 % OZE (kotle na pelety částečně horší - viz faktory prim. energie)

8.4.4 RD2 – dvoupodlažní novostavba, okna s izolačními trojskly

Tab. 8.14 Základní parametry rodinného domu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Zastavěná plocha	75,0	m ²
Energeticky vztažná plocha	150,0	m ²
Vnější obestavěný objem V	457,5	m ³
Vnitřní objem	334,8	m ³
Plocha ochlazované obálky A	361,3	m ²
Objemový faktor tvaru budovy A/V	0,79	m ² /m ³
Zasklení izolačním dvojsklem U_w	0,85	W.m ⁻² .K ⁻¹
Propustnost slunečního záření g	0,50	-

Tab. 8.15 Hodnocení obálky budovy dle vyhlášky 78/2013 Sb.

Průměrný součinitel prostupe tepla obálkou budovy U_{em}	W.m ⁻² .K ⁻¹	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení dle §6 1) e)
Referenční budova	0,309	--	--	
Hodnocená budova	0,280	0,909	C	Vyhovuje

Tab. 8.16 Energetické hodnocení dle zdrojů

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Celková dodaná energie	Poměr k referenční budově	Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby	
							dle §6 odst.1	
	Měrná spotřeba			Měrná spotřeba			Celkové splnění všech tří ukazatelů	
	(kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)	--	--	(kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)	--	--		
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	174,3	0,84	C	152,5	0,837	C	vyhovuje	
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	154,2	0,743	B	134,2	0,737	B	vyhovuje	
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívání zásobník TV	409,5	1,973	E	136,5	0,750	B	nevyhovuje	
Obdobné hodnocení je pro elektrické p fímotopy, el. podlahové vytápění apod.								
Tepelné čerpadlo AW pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	229,9	1,045	D	143,3	0,742	B	nevyhovuje	
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektrickou	114,4	0,521	B	171,9	0,89	C	vyhovuje	
Obdobné hodnocení je pro CZT s podílem >80% OZE (kotle na pelety částečně horší - viz faktory prim. energie)								

V obou případech není splněn požadavek na energetickou náročnost u zdroje využívajícího el. energii. V případě zasklení oken trojskly není tento požadavek splněn ani v případě, že zdrojem bude tepelné čerpadlo vzduch voda. Hodnota neobnovitelné primární energie je v kategorii E – nehospodárná, resp. D – méně úsporná.

V následující tabulce je znázorněn vliv zasklení na celkovou dodanou energii.

Tab. 8.17 Vliv kvality zasklení na měrnou celkovou dodanou energii

Typ zdroje	Celková dodaná energie Měrná hodnota		Rozdíl	
	Dvojsklo, g = 0,75	Trojsklo, g = 0,50	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	149,1	152,2	3,1	2,08
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	131,2	134,2	3,0	2,29
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívaný zásobník TV	135,1	136,5	1,4	1,04
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	140,3	143,2	2,9	2,07
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektrinou	168,2	171,9	3,7	2,20

Ze srovnání je patrné navýšení spotřeby dodané energie pro dané 2 typy zasklení v neprospěch kvalitních trojskel o cca 2,3 %, tato závislost je obdobná jako u přízemního rodinného domu RD1.

8.4.5 Vliv tvaru budovy na spotřeby energií a hodnocení

V následující tabulce je provedeno porovnání neobnovitelné primární a celkové dodané energie pro rodinné domy o shodné energetické vztažné ploše, přičemž RD 1 je přízemní (A/V = 0,94) a RD 2 dvoupodlažní (A/V = 0,79) tak, jak bylo uvedeno v předchozím textu.

Tab. 8.18 Porovnání neobnovitelné primární energie, okna s izolačními dvojskly

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie měrná spotřeba		Rozdíl	
	RD1	RD2	RD1-RD2	RD1-RD2
	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	190,0	170,4	19,6	10,3
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	165,2	150,8	14,4	8,7
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívaný zásobník TV	452,6	405,4	47,2	10,4
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	247	225,6	21,4	8,7
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. Období ohřev TV elektřinou	120,1	113,0	7,1	5,9

Tab. 8.19 Porovnání celkové dodané energie, okna s izolačními dvojskly

Typ zdroje	Celková dodaná energie měrná spotřeba		Rozdíl	
	RD1	RD2	RD1-RD2	RD1-RD2
	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	166,5	149,1	17,4	10,5
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	143,9	131,2	12,7	8,8
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívaný zásobník TV	150,9	135,1	15,8	10,5
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	155,6	140,3	15,3	9,8
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. Období ohřev TV elektrinou	186,6	168,2	18,4	9,9

Tab. 8.20 Porovnání neobnovitelné primární energie, okna s izolačními trojskly

Typ zdroje	Neobnovitelná primární energie měrná spotřeba		Rozdíl	
	RD1	RD2	RD1-RD2	RD1-RD2
	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	194,5	174,3	20,2	10,4
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	169,1	154,2	14,9	8,8
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívavý zásobník TV	463,6	409,5	54,1	11,7
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	245,5	229,9	15,6	6,4
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. Období ohřev TV elektrinou	121,6	114,4	7,2	5,9

Tab. 8.21 Porovnání celkové dodané energie, okna s izolačními trojskly

Typ zdroje	Celková dodaná energie měrná spotřeba		Rozdíl	
	RD1	RD2	RD1-RD2	RD1-RD2
	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	kWh.m ⁻² .rok ⁻¹	%
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	170,5	152,5	18,0	10,6
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	147,3	134,2	13,1	8,9
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívavý zásobník TV	154,5	136,5	18,0	11,7
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	153,8	143,3	10,5	6,8

Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. Období ohřev TV elektřinou	190,9	171,9	19,0	10,0
--	-------	-------	------	------

Z provedených výpočtů, které jsou uspořádány pro přehlednost do tabulek lze pro novostavby vyvodit následující závěry:

- Konstrukce obálky budovy musí být navrhovány maximálně na úrovni doporučených hodnot dle ČSN 730540-2: Tepelná ochrana budov: část 2 – Požadavky (říjen 2011). Vyhláška 78/2013 Sb. odstranila zavedením hodnocení proti referenční budově problém s hodnocením přízemních staveb s velkou podlahovou plochou, které podle dříve platné vyhlášky 148/2007 Sb. s pevně danými hranicemi zařídění často nevycházely jako vyhovující a ani výrazným zlepšením parametrů obálky budovy nebylo možné tohoto hodnocení docílit.
- Pro vytápění a ohřev TV nelze navrhovat u novostaveb zdroje využívající jako energonositele pouze „přímo spotřebovanou“ el. energii, ale pouze zdroje s výrazným využitím energie okolí jako jsou instalace tepelných čerpadel. Zavedením faktorů neobnovitelné primární energie a ukazatele neobnovitelné primární energie, který je nutno u novostaveb splnit vždy, je otázkou volby zdroje dle primárního paliva a účinnosti zdroje tak, aby byl splněn jak ukazatel celkové dodané energie (závislost na účinnosti zdroje), tak neobnovitelné primární energie.
- Volba kvalitnějšího zasklení má na jednu stranu vliv na snížení hodnoty součinitele prostupu tepla obálkou budovy U_{em} , ale zároveň může vést k tomu, že nebude splněn požadavek na neobnovitelnou primární energii. Vzhledem k tomu, že dle vyhlášky 78/2013 Sb. se pro chlazení u rodinných a bytových domů neurčuje klasifikační třída pro dílčí dodanou energii, má kvalita zasklení vliv pouze na hodnocení obálky budovy.

Pozn.: další dílčí úpravy s vlivem na spotřebu celkové a neobnovitelné primární energie jsou možné v rámci zadání, resp. úpravy profilu užívání - např. jiná vnitřní teplota, jiná denní doba plného vytápění a útlumu, jiná spotřeba nebo měrná spotřeba teplé vody apod.

8.5 Porovnání s hodnocením dle předchozí vyhlášky 148/2007 Sb.

Je třeba si uvědomit, že průkazy zpracované podle vyhlášky 148/2007 Sb. mají platnost 10 let, tedy některé až do konce roku 2022 a zároveň samozřejmě platí průkazy zpracované dle nové vyhlášky 78/2013 Sb. Obě tato hodnocení vycházejí z rozdílných předpokladů a je tedy nutné uvádět, na základě kterého předpisu je budova hodnocena.

Následující tabulka uvádí porovnání klasifikace hodnocených rodinných domů podle vyhlášky 148/2007 Sb. a 78/2013 Sb. Z výsledků v tabulce 8.22 a 8.23 je zřejmé, že hodnocení identické novostavby rodinného domu se téměř ve všech případech liší, je-li dům hodnocen podle vyhlášky 148/2007 Sb. nebo podle vyhl. 78/2013 Sb.

8.5.1 Rodinný dům přízemní s parametry dle tabulky 8.7

Tab. 8.22 Hodnocení RD1 podle vyhlášky 148/2007 Sb. a 78/2013 Sb.

Typ zdroje	Vyhláška 78/2013 Sb.					Vyhláška 148/2007 Sb.	
	Neobnovitelná primární energie	Hodnocení	Celková dodaná energie	Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby dle §6 odst. 1	Měrná spotřeba energie	Hodnocení
	(kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)		Měrná spotřeba (kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)		Celkové splnění všech tří ukazatelů	Limit pro „C“ 98- 142 kWh/m ² /rok	
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	194,5	C	170,5	C	vyhovuje	167,2	nevyhovující
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	169,1	B	147,3	B	vyhovuje	141,9	vyhovující
Elektrokotel pro ÚT, el. ohřívavý zásobník TV	463,6	E	154,5	C	nevyhovuje	146,5	nevyhovující
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	245,5	C	153,8	B	vyhovuje	63,3	úsporná
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevko), mimo otop. období ohřev TV elektrinou	121,6	A	190,9	C	vyhovuje	176,2	nevyhovující

8.5.2 Rodinný dům patrový s parametry dle tabulky 8.14

Tab. 8.23 Hodnocení RD2 podle vyhlášky 148/2007 Sb. a 78/2013 Sb.

Typ zdroje	Vyhláška 78/2013 Sb.				Vyhláška 148/2007 Sb.		
	Neobnovitelná primární energie	Hodnocení	Celková dodaná energie	Hodnocení	Slovní hodnocení pro novostavby dle §6 odst.1	Měrná spotřeba energie	Hodnocení
	(kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)	--	Měrná spotřeba (kWh.m ⁻² .rok ⁻¹)	--	Celkové splnění všech tří ukazatelů	Limit pro „C“ 98- 142 kWh/m ² /rok	
Plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	174,3	C	152,5	C	vyhovuje	159,3	nevyhovující
Kondenzační plynový kotel pro ÚT, zásobník TV u kotle	154,2	B	134,2	B	vyhovuje	138,8	vyhovující
Elektrokotel pro ÚT, el. ohříváný zásobník TV	409,5	E	136,5	B	nevyhovuje	140,9	vyhovující
Tepelné čerpadlo A/W pro ÚT a ohřev TV, elektrická bivalence 20%	229,9	D	143,3	B	nevyhovuje	62,8	úsporná
Kotel na biomasu pro ÚT a ohřev TV (kusové dřevo), mimo otop. období ohřev TV elektrinou	114,4	B	171,9	C	vyhovuje	169,2	nevyhovující

9 English Abstract

This book deals with the energetic assessing of buildings. The publication deals with problems of comprehensive form. The book is aimed at professionals and researchers in the field energetic assessing of buildings. In the book are chapters focusing theoretically and practically. Individual chapters focus on heating, ventilation, cooling, lighting, domestic hot water and building physics. There are also passages of legislation and practical examples of energy assessment. The authors of the book are dedicated to professional and energetic assessment of buildings. In the book are the results of research that have not been published anywhere.