

Investice do úspor energií v budovách versus budoucnost malých systémů centralizovaného zásobování teplem

František Macholda

Karel Srdečný

Jan Pokorný

EkoWATT 2014

ISBN: 978-80-87333-09-9

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2014 – Program Efekt



Shrnutí

Systémy centralizovaného zásobování teplem (CZT) vznikly v době, kdy měly budovy zásobované teplem mnohem vyšší potřebu tepla, než je tomu dnes. Trend snižování energetické náročnosti budov a jejich odpojování od CZT vede k tomu, že jsou nyní některé systémy CZT předimenzované. Se snižováním dodávky tepla do budov se zvyšuje relativní podíl ztrát v rozvodech. Kromě klesajícího množství dodávaného tepla má negativní vliv také změna časového rozložení potřeby tepla během roku. Teplárenské subjekty se dostávají do komplikované situace, kdy jsou povinny dodržet parametry teplotního média potřebné pro připojené objekty, a to i za situace, kdy je množství dodávaného tepla velmi malé. V důsledku výše popsaných vlivů vznikají dodatečné náklady, které teplárenské subjekty buď nesou samy, nebo je přenášejí na odběratele tepla. Obě možnosti mají negativní dopady – v prvním případě to je zhoršení hospodářského výsledku teplárenského subjektu, ve druhém pak zvyšující se motivace odběratelů tepla k úsporným opatřením nebo k odpojení od CZT.

Publikace rozebírá mechanismy a možné scénáře tohoto jevu.

Autoři děkují Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR za laskavou podporu.

Dále děkují Ing. Marku Piskačovi, PhD, vedoucímu odboru strategií Pražské teplárenské, a.s. za cenné připomínky a podněty, které pomohly při sestavování matematického modelu.

Předmluva autorů

Cílem této publikace je přinést mezioborový vhled do technicky poměrně úzce zaměřené problematiky.

Systémy CZT jsou styčným bodem stavebního inženýrství, teplárenství, ekonomie a koneckonců i sociologie, protože se týkají obrovského počtu lidí – asi třetina obyvatel ČR žije v panelových domech, které jsou většinou napojeny na CZT.

Jakékoli změny cen tepla jsou velmi citlivě vnímány a vlastníci domů a bytů na ně obratem reagují. Proto je teplárenské odvětví i politickým kolbištěm, na kterém se odehrávají menší i větší šarvátky. Rozhodování v oblasti dodávek tepla domácnostem je velmi choulostivým tématem, a to jak na straně cen tepla, tak i na straně podpory úsporných opatření v budovách.

Teplárenství je odvětvím s velkou setrvačností. Investice se zde plánují na desetiletí a změny jsou velmi nákladné.

Celé odvětví je také důležitým zaměstnavatelem, a to jak primárně, tak i sekundárně, protože zvyšování cen tepla a veřejná podpora investic do úsporných opatření je hybnou silou dalšího velkého sektoru, a to stavebního.

Celý tento komplex má mnoho účastníků, kteří na problematiku hledí ze svých úhlů pohledu. Provozovatelé teplárenských sítí chtějí prodávat teplo, stavební firmy chtějí zateplovat domy, majitelé bytů chtějí šetřit (teplo i investice), státní úředníci na jedné straně regulují ceny a na straně druhé podporují úsporná opatření, místní i vrcholní politici se bijí do prsou a vyvěšují volební programy, to vše často bez znalosti technických souvislostí. Občas vznikají nevraživosti, zejména když se zastánci úspor snaží odpojit domy od CZT a „zlí teplárníci“ se snaží hájit své investice a nechtějí jim to umožnit.

Úmyslem této útlé knížky není rozsuzovat spory ani hájit kterýkoli názor, ale pojmenovat některé problémy a uvést je do souvislostí. Protože je tato publikace určena širokému okruhu čtenářů od odborníků na teplárenství až po státní úředníky, nezabíhá do technických detailů a popisuje pouze takovou míru detailu, která je nezbytná pro vhled do problematiky. Z tohoto důvodu je také minimalizován počet vzorců a rovnic na úroveň, která odborníka alespoň trochu uspokojí a laika úplně neodradí.

Obsah

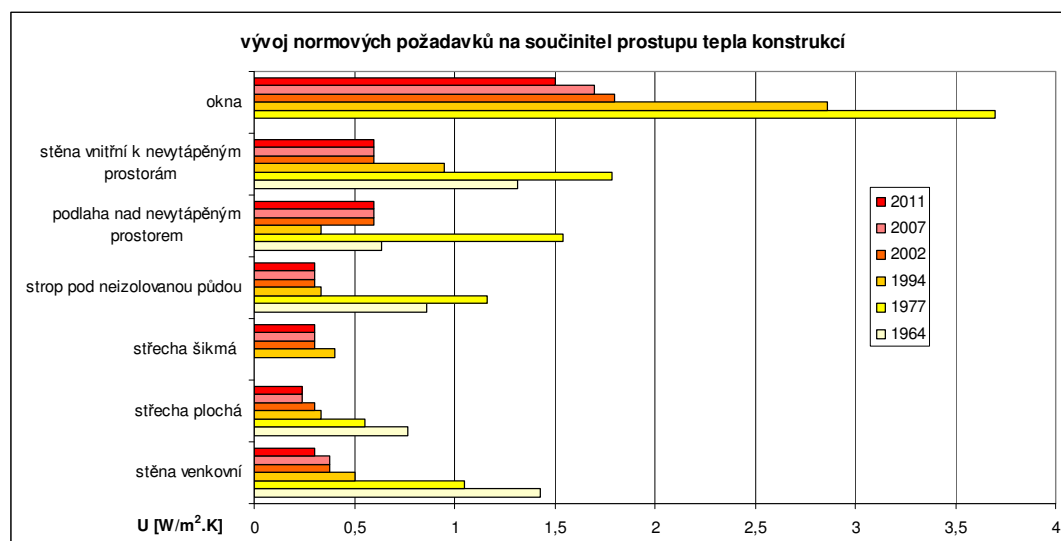
Shrnutí	2
Předmluva autorů.....	3
Změny v teplárenském byznysu – včera, dnes a zítra	6
Základní principy energetiky CZT – kapitola pro laiky	9
Budova jako spotřebič tepla.....	11
Vytápění budov	11
Výpočet potřeby tepla na vytápění podle topenářských postupů.....	17
Teplá voda	18
Rozvody tepla	21
Způsoby uložení tepelných rozvodů.....	21
Výpočet tepelné ztráty rozvodů – výpočet tepelného odporu	23
U izolovaného potrubí uloženého v kanálu je celkový tepelný odpor tvořen těmito faktory:	25
Celková tepelná ztráta rozvodů.....	26
Dimenzování rozvodů – kapacity rozvodů a izolace.....	26
Klíčové závěry za kapitolou	28
Reakce vlastníků domů a bytů na zvyšování nákladů na energie – úsporná opatření.....	29
Efektivita zateplování budov	30
Proč je prostá návratnost nevhodným kritériem?	32
Regulační prvky	34
Vyvážení soustavy.....	34
Ekvitermní regulace.....	34
Termoregulační ventily.....	35
Prediktivní regulace	36
Poměrové indikátory spotřeby tepla.....	36
Zdroje energie	36
Solární termický systém	39
Tepelné čerpadlo.....	44
Plynová kotelna	48
Kogenerační jednotka.....	48
Ekonomická vsuvka zejména pro odpůrce dodavatelů tepla – proč ceny tepla stále rostou	51
Vliv investic do úsporných opatření na růst cen tepla	53

Malé systémy CZT a jejich zranitelnost	57
Technický popis modelu budovy	57
Technický popis systému CZT	59
Popis výpočtu změny ceny tepla	61
Výsledky modelu	62
Izolovaná opatření.....	63
Rekonstrukce objektů do pasivního standardu.....	63
Solární systém pro přípravu teplé vody	65
Tepelné čerpadlo pro přípravu teplé vody	66
Kogenerační jednotka na vytápění a ohřev vody	67
Kombinace opatření	68
Pasivní rekonstrukce a instalace solárního systému pro přípravu TV	68
Pasivní rekonstrukce a tepelné čerpadlo pro ohřev vody	70
Pasivní rekonstrukce a kogenerační jednotka pro vytápění a ohřev vody.....	71
Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro vytápění a teplou vodu	72
Běžná rekonstrukce a tepelné čerpadlo	74
Shrnutí výsledků modelu a praktické závěry.....	75
Existuje řešení?.....	76
Seznam obrázků	79
Seznam tabulek	81
Citovaná literatura.....	81

Po pádu socialismu v roce 1989 nastaly velké změny v modernizaci systémů CZT, které se promítly zejména na straně zdrojů tepla (moderní technologie spalování, odsiřování zdrojů, zavádění kogenerace), ale i na straně spotřeby (instalace moderních výměníků, regulačních prvků apod.). Tyto změny pomohly systémům CZT k vyšší efektivitě využívání energií a snižování environmentálních dopadů.

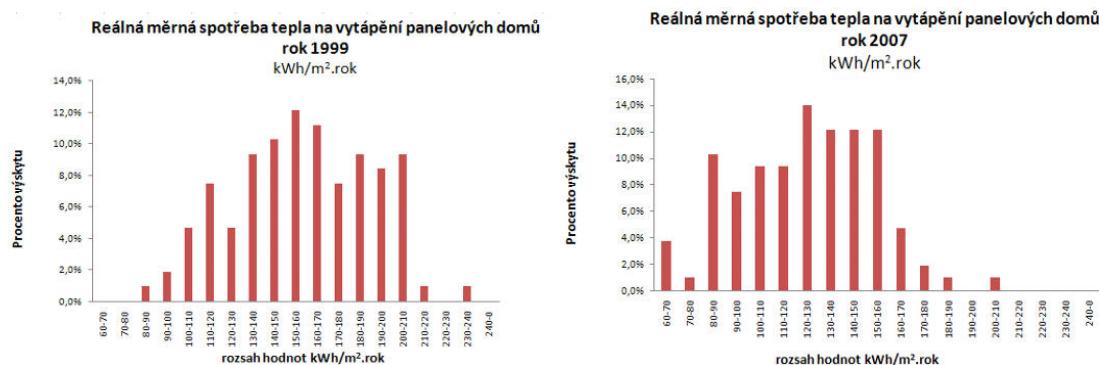
Současně ale v 90. letech začal trend snižování potřeby tepla na straně odběratelů, který se vymyká vlivu teplotenských subjektů. Liberalizace cen energie vedla k prudkému nárůstu výdajů domácností na bydlení a lidé začali hledat možnosti úspor. Bytové domy se začaly převádět z majetku měst a obcí do majetku bytových družstev a společenství vlastníků, což umožnilo obyvatelům zejména panelových domů reálně investovat do úsporných opatření. První začátky byly nenápadné, většinou šlo o výměny starých netěsnících oken, ale postupně začala vlna zateplování stavebních konstrukcí. Kvalita opatření se vyvíjela v čase, nejprve se používaly vrstvy izolace o tloušťce 3 – 4 cm, ale později se tloušťky zvětšovaly až na dnešních běžných 12 – 20 cm (platí pro stěny). Kromě obvodových stěn se začaly dodatečně izolovat i střechy, stropy technických podlaží, vyměňovaly se vchodové portály a zasklívaly se lodžie. Také kvalita oken pro výměny vzrůstala díky poklesu cen; významné snížení spotřeby tepla přineslo zejména používání těsných oken.

Efekt úsporných opatření závisel na původní kvalitě konstrukcí budovy, její geometrii a úrovni úsporných opatření. Starší budovy měly horší konstrukce, takže i nepříliš razantní soubor opatření přinesl relativně vysokou procentuální úsporu tepla na vytápění, často i více než 50 %.



Obrázek 2: Vývoj kvality konstrukcí budov (Zdroj – EkoWATT).

U budov z 80. let byla relativní hodnota úspory nižší. Porovnatelné jsou však absolutní hodnoty spotřeb tepla na vytápění po realizaci porovnatelných opatření. Zatímco nekvalitní staré budovy měly měrnou spotřebu tepla i vyšší než 200 kWh/m².rok, novější panelové stavby velkých rozměrů a kompaktního tvaru mohly mít měrnou potřebu tepla kolem 80 kWh/m².rok. Po zateplení běžnými postupy se tyto hodnoty snižovaly až na 40 – 90 kWh/m².rok podle geometrie budovy.

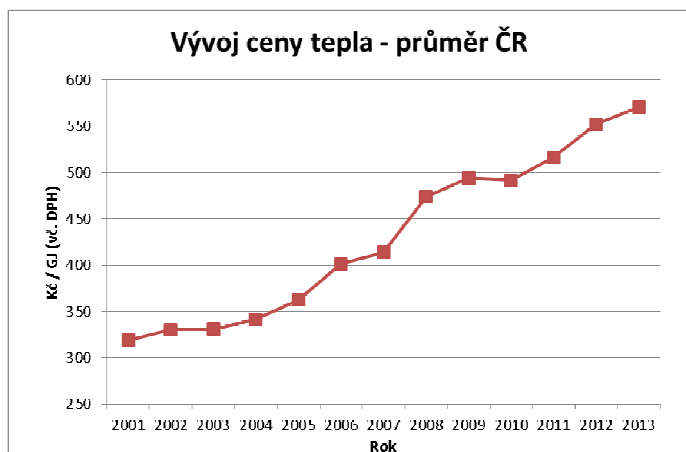


Obrázek 3: Histogram měrné potřeby tepla na vytápění - panelové domy v roce 1999 a 2007. (Srdečný, 2011).

Hodnoty úspor byly často vyšší, než by bylo možno očekávat na základě prosté změny součinitele prostupu tepla konstrukcemi budovy po zateplení a výměně oken. Důvodem bylo to, že při výměně oken za nová, která byla zcela těsná, byla také potlačena výměna vzduchu v místnostech. V původním stavu se větrání uskutečňovalo spárovou průvzdušností, jejíž velikost závisela na kvalitě původních dřevěných rámců oken. Vlivem proudění vzduchu kolem budovy vznikaly tlakové rozdíly a budova tak byla větrána, často až příliš intenzivně. Po výměně oken se toto přirozené větrání omezilo natolik, že prostředí v obytných místnostech nesplňovalo hygienické požadavky. Současně se ale snížila potřeba tepla na větrání, což zdánlivě zvyšovalo efekt zateplování. Za tuto úsporu však obyvatelé budov s vyměněnými okny platili cenu v podobě nekvalitního vnitřního prostředí, zdravotních následků a výskytu plísní v interiérech. Situace se začala zlepšovat až v druhé dekádě tohoto století, kdy se s rozmachem pasivního stavitelství začíná hovořit o instalaci větracích systémů. Bohužel, většina uživatelů bytů se brání dalším zásahům do jejich obydí a připouští pouze takové, které mají jednoznačně ekonomický efekt.

Trend rekonstrukcí panelových budov nastal spolu s růstem cen tepla od devadesátých let minulého století a pokračuje i dnes. Kvůli stáří bytového fondu, kdy je 80 % domů starších 35 let a plánovaná doba jejich užívání byla stanovena na 40 let, je nutno tak jako tak provést jejich revitalizace. Rekonstrukce panelového domu je skvělou příležitostí k implementaci úsporných opatření.

Díky vyšším cenám tepla se dnes jako ekonomicky efektivní jeví i dražší opatření, což se projevuje v používání větších tloušťek izolantů a vedlejších technologických opatření. Kromě stavebních konstrukcí a otvorových výplní se dnes pozornost zaměřuje i na prvky regulace od kvalitních termostatických ventilů až po chytré systémy řízení otopných soustav, ale často se objevují i instalace alternativních zdrojů energie. Čím je cena tepla vyšší, tím dražší investice je akceptovatelná. V současné době je možno snížit potřebu tepla na vytápění až o 90 %.



Obrázek 4: Vývoj cen tepla v ČR (ERÚ).

Mezi populární opatření technologického charakteru patří například instalace lokálních plynových kotlen, tepelných čerpadel, kogeneračních jednotek a solárních systémů, které mají nahradit dodávku tepla z CZT. Kromě prosté a objektivní ekonomické úvahy zde hraje roli i emociální složka, kdy obyvatelé domů touží po jisté nezávislosti na dodavateli tepla, který každoročně zvyšuje ceny. Neuvědomují si však, že ceny dalších paliv v čase také rostou a navíc, že instalace vlastního zdroje tepla přináší mnoho starostí, od provozních nákladů, přes revize a údržbu, až po nutnost tvořit rezervu pro budoucí náhradu zařízení.

Instalace lokálního zdroje tepla může vést ke dvěma scénářům: odpojení budovy od CZT, které pro provozovatele soustavy znamená ztrátu odběratele, nebo ponechání CZT jako minoritního špičkového zdroje tepla, což je pro provozovatele CZT snad ještě horší varianta. Důsledky druhého postupu totiž vynucují stálou připravenost CZT dodat topné médium se sjednanými parametry, ale není známo, kdy a kolik jej spotřebitelé odeberou. U systémů vytápění je tato situace o něco přehlednější, protože odběry lze očekávat v nejchladnější části roku. Mnohem horší je letní sezóna a ohřev vody v případě masivnější instalace solárních systémů. Během slunečných dní jsou obyvatelé domů zásobeni teplem ze solárního systému, ale CZT musí být stále v pohotovosti pro případ, že slunce jeden nebo dva dny nebude k dispozici.

Všechny tyto faktory vedou k následujícím efektům:

- Snižuje se množství tepla odebíraného z CZT.
- Topná sezóna se u nadstandardně rekonstruovaných objektů zkracuje.
- Vznikají nepravidelné výkyvy odběrů.

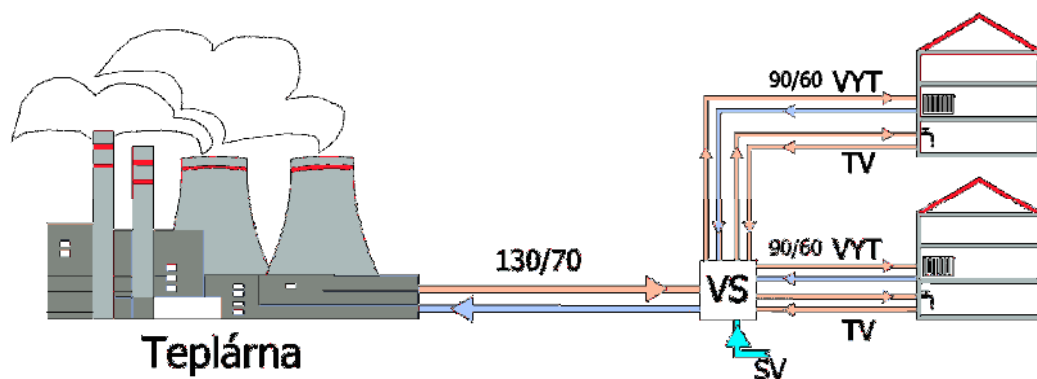
Kvůli uvedeným efektům se významně zvyšuje podíl ztrát v systému vůči skutečně prodanému teplu. Tyto náklady musí někdo uhradit.

Základní principy energetiky CZT – kapitola pro laiky

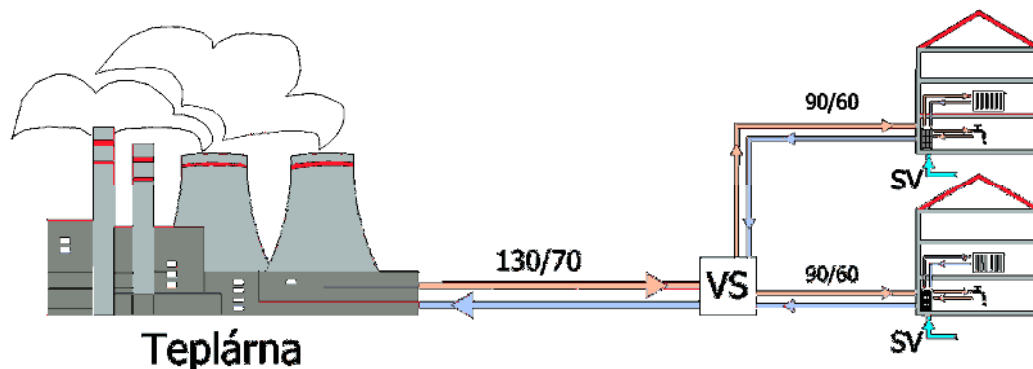
Pro objasnění dalších kapitol je na tomto místě uveden zjednodušený přehled principů energetiky CZT a energetiky budov. Následující text si neosobuje nárok na ucelenost nebo detailnost pojetí, jde pouze o minimální technické základy potřebné pro porozumění kapitolám dalším. Odborníci mohou

tuto část s klidným svědomím přeskočit; bude to možná i lepší, protože by je tak vysoká míra zjednodušení mohla dráždit. Pro ne-technické jedince je ale následující text snad dostačující a stravitelný.

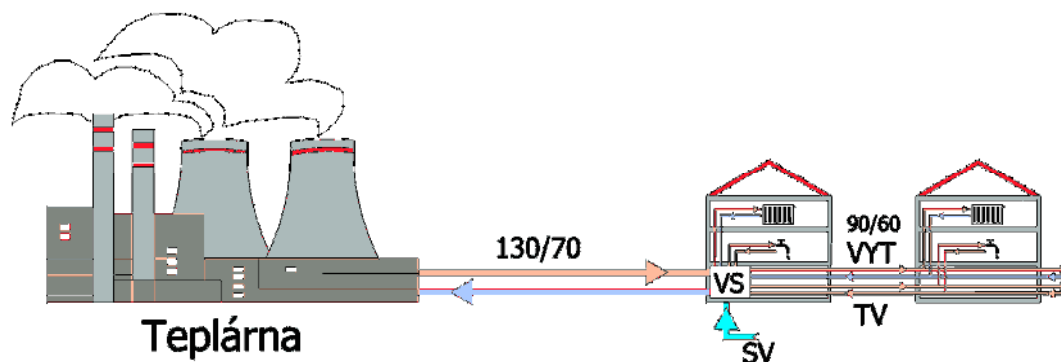
Logický celek soustavy centralizovaného zásobování teplem (CZT) je možno rozdělit do několika částí. Obvykle podobný popis začíná zdrojem tepla, pokračuje rozvody a končí spotřebiči. Pro naše účely je ale logičtější začít od spotřebičů a končit zdrojem tepla. Důvod je nasnadě – budovy tu nestojí kvůli teplárně, ale obráceně. A právě množství energie, které budovy potřebují pro svůj provoz, musí být přizpůsoben zbytek systému.



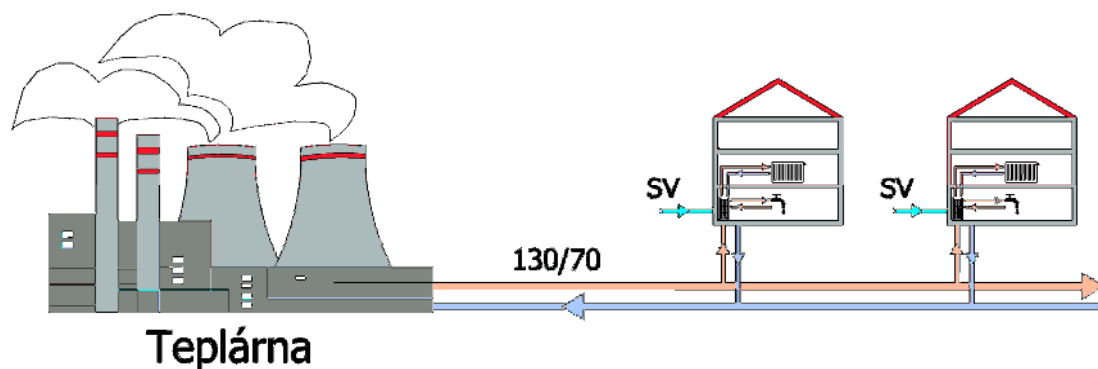
Obrázek 5: Čtyřtrubkový rozvod z výměňkové stanice.



Obrázek 6: Dvoutrubkový rozvod z výměňkové stanice.



Obrázek 7: Výměňková stanice umístěná v jednom objektu a čtyřtrubkový rozvod do ostatních.



Obrázek 8: Přímé napojení objektů na horkovod.

Budova jako spotřebič tepla

Budovy spotřebovávají teplo jednak na vytápění a jednak ve formě teplé vody. Tyto dvě položky energetické bilance mají odlišné vlastnosti – velikost potřeby energie závisí na jiných faktorech a má jiný průběh v čase. Právě toto je velmi důležité, hledáme-li dopady na CZT.

Protože příslušné vzorce lze najít v mnoha technických učebnicích, nechceme jimi čtenáře obtěžovat do podrobností. Pokusíme se tedy popsat problematiku v minimálním rozsahu.

Vytápění budov

Potřeba tepla na vytápění budov je z velké většiny dána „hardwarem“ budovy, méně pak uživatelským chováním. Na její velikost má vliv kvalita stavebních konstrukcí a intenzita větrání. Tyto dva faktory, tepelná ztráta prostupem a větráním, jsou určující pro výslednou spotřebu tepla.

Tepelné ztráty budovy

Pro stanovení tepelné ztráty prostupem je klíčová kvalita konstrukcí mezi vytápěným prostorem a chladnějším okolím, ať už jde o venkovní prostředí nebo nevytápěný prostor uvnitř budovy. Tato vlastnost se dříve popisovala pomocí veličiny nazývané tepelný odpor označovaný „R“, nyní se používá jeho převrácená hodnota opravená o doplňující hodnoty přestupů tepla na venkovní a vnitřní straně konstrukce, která se označuje „U“ (dříve „k“). Nižší hodnota U znamená lepší izolační schopnosti konstrukce, tedy lepší kvalitu z tepelně-technického hlediska.

Pokud u každé stavební konstrukce oddělující vytápěné prostředí od chladného vynásobíme hodnotu U plochou dané konstrukce a ještě navíc korekčním koeficientem, který udává, jak moc chladné je okolí (je rozdíl, zda stěna sousedí se schodištěm nebo přímo s venkovním prostředím) a výsledky sečteme pro celou budovu. Pak již stačí jen přičíst hodnotu vlivu tepelných mostů, které vznikají všude, kde se stýkají různé konstrukce, a výsledkem je hodnota měrné tepelné ztráty prostupem tepla H_t .

Stanovení tepelné ztráty větráním H_v je ještě jednodušší: jde o násobení průtoku vzduchu a jeho tepelné kapacity, v případě, že je budova vybavena rekuperací tepla z odpadního vzduchu, je nutno výsledek ponížít procentem účinnosti rekuperace, která odečítá teplo odcházejícímu vzduchu a vrací je zpět do budovy.

Sečtením H_t a H_v získáme klíčovou hodnotu – celkovou měrnou tepelnou ztrátu H_c , která se udává ve W/tech na Kelvin (W/K). Zní to podivně, ale interpretace je jednoduchá – je to množství energie odcházející z budovy při teplotním rozdílu 1 K (pro humanitně zaměřené jedince je možno použít rozdíl 1 °C). Pokud je tedy například $H_c = 1\,000\text{ W/K}$, teplota uvnitř je 21 °C a venku např. -10 °C, je celkový rozdíl 21 K (neboli 21 °C) a okamžitá tepelná ztráta je tedy $21\text{ K} \cdot 1\,000\text{ W/K}$, což je 21 kW.

Vztah tepelné ztráty budovy a potřeby tepla na vytápění

Tepelná ztráta budovy je dána součinem měrné tepelné ztráty a rozdílu teplot. Je důležité si uvědomit, že jde o okamžitou hodnotu udávající velikost toku tepla. Pokud budeme mít v budově zdroj tepla s dostatečným výkonem, bude teplo stále doplňováno a vnitřní teplota tak zůstane zachována. Pro výše uvedený příklad tak potřebujeme výkon 21 kW. Pokud by ale teplota venku nadále klesala, okamžitá tepelná ztráta bude narůstat a s ní i požadavek na výkon zdroje tepla. Proto se zdroje tepla dimenzují na maximální (důvodně očekávatelné) dlouhodobější extrémní venkovní teploty – ve většině oblastí ČR je to -15 °C. (Pakliže teplota venku klesne ještě více, není to obvykle nadlouho a tepelná setrvačnost budovy umožní zajištění tepelné pohody bez většího diskomfortu).

Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že tepelná ztráta budovy je sice důležitá pro dimenzování maximálního výkonu zdroje tepla, ale není jediným faktorem určujícím potřebu tepla na vytápění. Je nutno si uvědomit, že venkovní teplota kolísá – mění se během celé zimy, ale i v jednotlivých dnech. Proto se také neustále mění okamžitá tepelná ztráta.

Zde nám do úvahy vstupuje ještě faktor času. Pokud bude tepelná ztráta budovy při teplotě venku -10 °C rovna 21 kW, za hodinu tohoto stavu unikne z budovy množství tepla rovné 21 kWh. Jednotka kWh udává více než výkon, jde o práci, tedy o energii. A to je právě to, za co platíme. Pokud bychom tedy sečetli všechny okamžité tepelné ztráty vynásobené časovým úsekem, který trvají, získáme zásadní informaci – potřebu tepla na vytápění. Je to stejné jako u automobilu, kde náklady na cestu nezávisí na výkonu motoru, ale na tom, kolik paliva spotřeboval.

Tepelné zisky, aneb jedeme s kopce

Potřeba tepla na vytápění tak, jak je popsána v předcházejících odstavcích, není ještě zcela správná. Ve skutečnosti je část tepelných ztrát (a také tepla potřebného na vytápění) hrazena jinak než jen (instalovaným) zdrojem tepla. V reálné budově existuje mnoho dalších zdrojů tepla, které přispívají k vytápění budovy. Je to podobné, jako když auto jede s kopce díky gravitaci.

Pokud venku svítí Slunce, je záření dopadající na okna velmi vydatným zdrojem tepla. Samozřejmě musíme vzít v úvahu orientaci oken (na severu téměř žádné sluneční záření nezachytíme), ale také roční dobu a denní hodinu. Na podzim a na jaře je Slunce výše nad obzorem, takže paprsky dopadají na okna šikměji, ale záření je pohlcováno tenčí vrstvou atmosféry, než když je Slunce v zimě těsně nad obzorem. V zimě záření dopadá téměř výhradně na jižní okna, na jaře a na podzim dostávají štědrnou dávku energie i východně a západně orientované plochy. (Negativně pak sluneční tepelné zisky působí v létě u nechráněných zejména západně orientovaných ploch, protože Slunce na ně začne svítit těsně po poledni a ještě večer se do oken opírá téměř kolmo, což vede k neúměrné tepelné zátěži interiérů). Tepelné zisky z oslunění jsou bohužel zpravidla tím nižší, čím jsou okna kvalitnější. Okna s trojitým zasklením mají kromě lepších izolačních schopností vůči unikajícímu teplu současně také nižší prostupnost pro sluneční záření. Výrobci dělají vše pro to, aby se tento handicap zmenšoval, ale není to snadné. Slunce může za příznivých podmínek dodávat tepelný výkon až kolem $400\text{ W} / \text{m}^2$ prosklení (platí pro střešní okna orientovaná na jih).

Dalším tepelným zdrojem jsou osoby v budově. Člověk v klidu nebo při mírné aktivitě produkuje tepelný výkon cca 70 – 100 W.

Zcela zřejmým zdrojem tepla jsou všechny elektrické spotřebiče, jejichž elektrická spotřeba se ve finále (z velké části) také mění v teplo. Každá žárovka, každý počítač, nemluvě o kuchyňských spotřebičích, produkují teplo odpovídající jejich elektrickému příkonu. (Výjimkou jsou pračky, myčky a podobná zařízení, které ohřívají vodu a tu pak vypouštějí teplou do kanalizace. Tato zařízení předávají do prostoru v podobě tepla jen relativně malou část své elektrické spotřeby).

Poslední významnou (a skrytou) kapitolou jsou rozvody teplé vody. Tepelná ztráta rozvodů teplé vody přispívá k vytápění interiéru. V zimě to často není na závadu, ale v létě jde o jasné plýtvání.

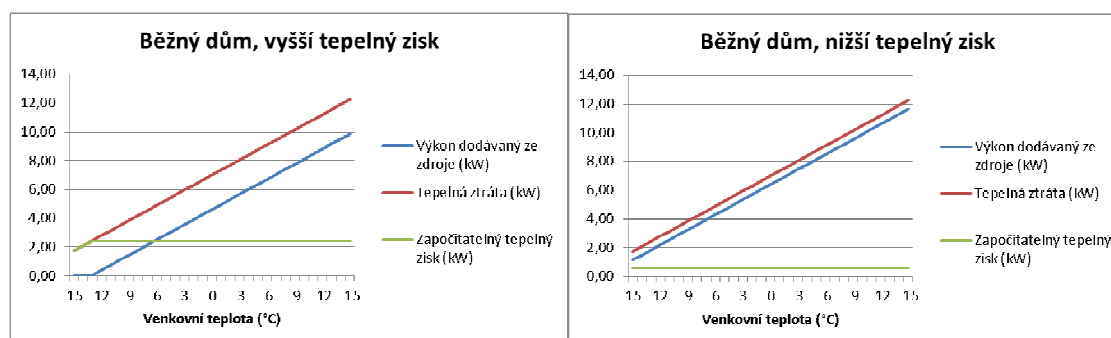
Čistá potřeba tepla na vytápění

V předchozích odstavcích byly popsány tepelné ztráty a tepelné zisky. Byl také vysvětlen vztah mezi tepelnou ztrátou a potřebou tepla na vytápění. Zdálo by se tedy možné obdobně vypočítat množství tepla dodaného prostřednictvím tepelných zisků a obě položky odečíst. Ve skutečnosti to není tak jednoduché.

Prvním předpokladem využití tepelných zisků je velmi kvalitní regulace otopné soustavy umožňující okamžité zastavení dodávky uměle vyrobeného tepla v okamžiku, kdy se objeví jiný zdroj tepla (např. dopadající sluneční záření). Skvěle jsou regulovatelné systémy na bázi teplovzdušného vytápění, ale i nízkoobjemové radiátorové soustavy. Problém je s podlahovými topnými systémy, které mají velmi velkou setrvačnost a i při okamžitém přerušení dodávky tepla do podlahy ještě dlouho předávají teplo do místnosti.

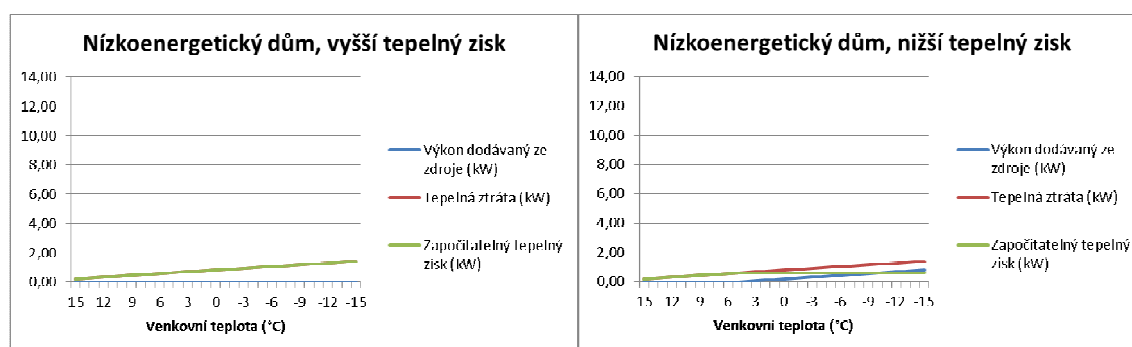
Zásadním fyzikálním omezením využitelnosti tepelných zisků je ale poměr jejich velikosti a tepelné ztráty budovy. Pokud je totiž v danou chvíli tepelný zisk vyšší než tepelná ztráta, je možno využít pouze jeho část. Proto není možné odečítat sumu potřeby tepla na vytápění a sumu tepla z tepelných zisků, ale fyzikálně správný přístup je v každém okamžiku od okamžité tepelné ztráty odečíst okamžitý využitelný tepelný zisk (využitelný jednak technicky a jednak v příslušné výši maximálně do výše tepelné ztráty) a teprve potom výsledek vynásobit délkou trvání. Při detailnějším zkoumání pak zjistíme, že zejména u budov s nízkou měrnou tepelnou ztrátou, což jsou nízkoenergetické a pasivní domy, je celková využitelnost tepelných zisků obecně mnohem nižší než u budov s velkou spotřebou tepla na vytápění.

Názorně lze vztahy mezi tepelnou ztrátou a zisky znázornit graficky. Příkladem může být malý rodinný domek, kde jsou v dané chvíli čtyři lidé a v jednom z případů je přítomen další tepelný zisk ve výši 2400 W (na okna svítí Slunce, vaří se) a ve druhém je mnohem nižší (600 W). U běžného objektu vypadá situace takto:



Obrázek 9: Tepelné ztráty a zisky - běžný dům.

Do teploty kolem +12 °C je potřeba tepla pokryta tepelnými zisky. Teprve od této hranice začíná pracovat umělý zdroj tepla, jehož výkon je pak vždy nižší než tepelný ztráta objektu, a to právě o hodnotu tepelných zisků. V případě, že jsou tepelné zisky nižší, je výkon kotle téměř stejný jako tepelná ztráta objektu.

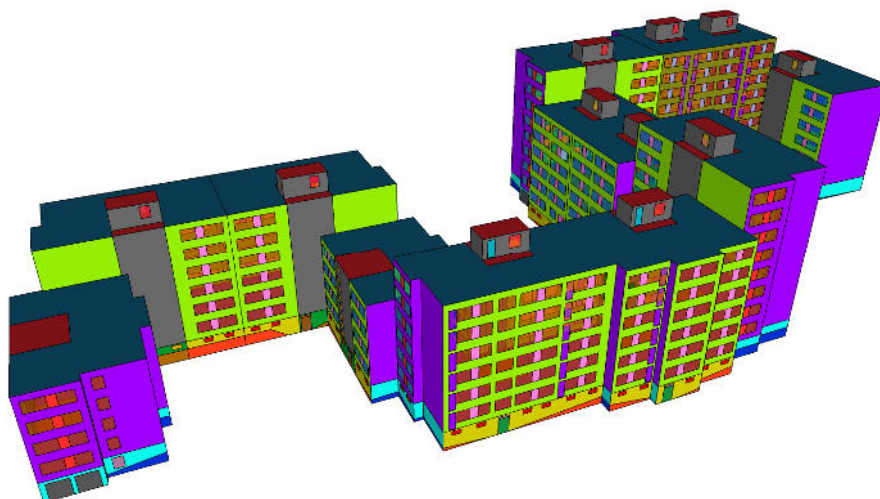


Obrázek 10: Tepelné ztráty a zisky - nízkoenergetický dům.

U nízkoenergetického nebo pasivního domu je situace zcela jiná. V případě dostatečného tepelného zisku je celá potřeba tepla pokryta tímto ziskem. Započítatelný tepelný zisk je roven tepelné ztrátě a umělý zdroj tepla nepracuje vůbec, ani při -15 °C. Jakmile tepelný zisk poklesne, situace se změní: Do teploty kolem +4 °C je tepelná ztráta nižší než přítomné zisky, takže kotel nepracuje. Od této teploty dodává kotel výkon snížený o hodnotu tepelných zisků, což v praxi znamená, že při -15 °C je jeho výkon stále nižší než 2 kW.

Z grafů vyplývají dvě velmi důležité věci: Nízkoenergetické nebo pasivní domy mají mnohem nižší potřebu tepla na vytápění, a to jak z hlediska výkonu, tak z hlediska potřeby tepla. V německých hovořících zemích se velmi často označují rekonstrukce budov do pasivního standardu jako „Rekonstrukce s faktorem 10“, což vyjadřuje desetinásobný pokles energetické náročnosti budovy. Druhý důsledek není tak očividný, ale pro zásobování budov teplem má dramatický význam: dodávka uměle vyrobeného tepla, která je u běžných budov potřeba již při teplotách kolem +13 °C, začíná u nízkoenergetických a pasivních budov až při teplotách kolem bodu mrazu nebo ještě později.

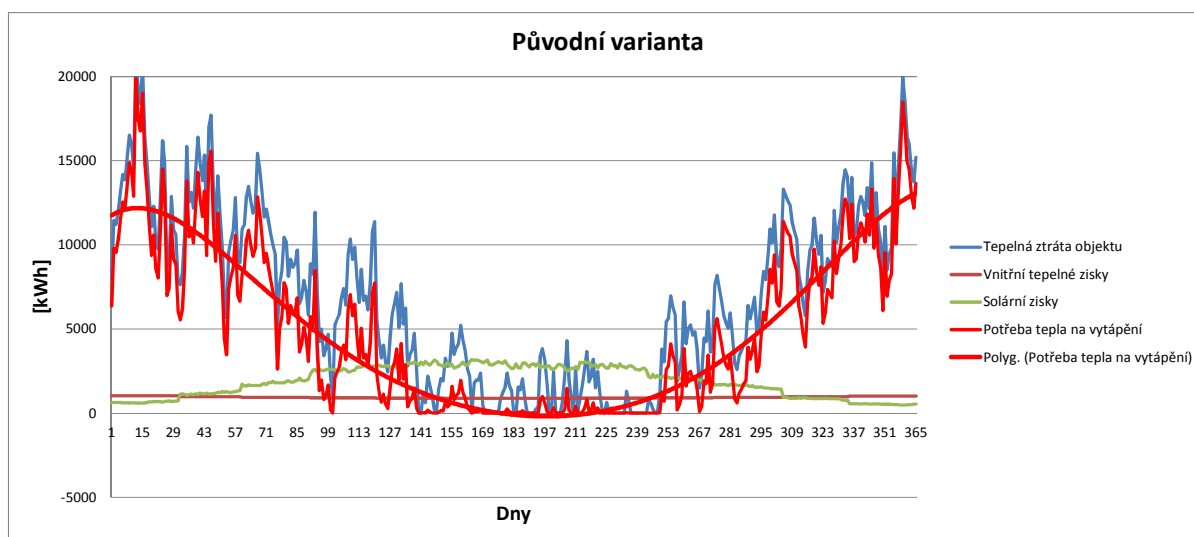
Pro znázornění jsou dále uvedeny modelové příklady konkrétního objektu. Budova v původním stavu má měrnou potřebu tepla na vytápění kolem 90 kWh/m².rok, což je ale stále ještě poměrně slušná hodnota, protože staré bytové domy mohou mít potřebu tepla i dvojnásobnou.



Obrázek 11: Modelová budova

Na tomto příkladu jsou modelovány dva potenciální způsoby rekonstrukce – relativně běžné zateplení do nízkoenergetického standardu, který je u podobně velkých a kompaktních budov zcela reálně dosažitelný, a dále do pasivního standardu, který je možný za předpokladu určitých nadstandardních změn.

Obvykle se pro posuzování energetické náročnosti budovy používá měsíční interval. V tomto rozlišení ale zanikají některé zajímavé extrémní hodnoty – v několika následujících dnech se může teplota měnit skokově. Podobný efekt má pak použití zprůměrovaných hodnot za několik let. Proto byla energetická bilance budovy vypočtena s použitím reálných klimatických dat roku 2005 v denním kroku.

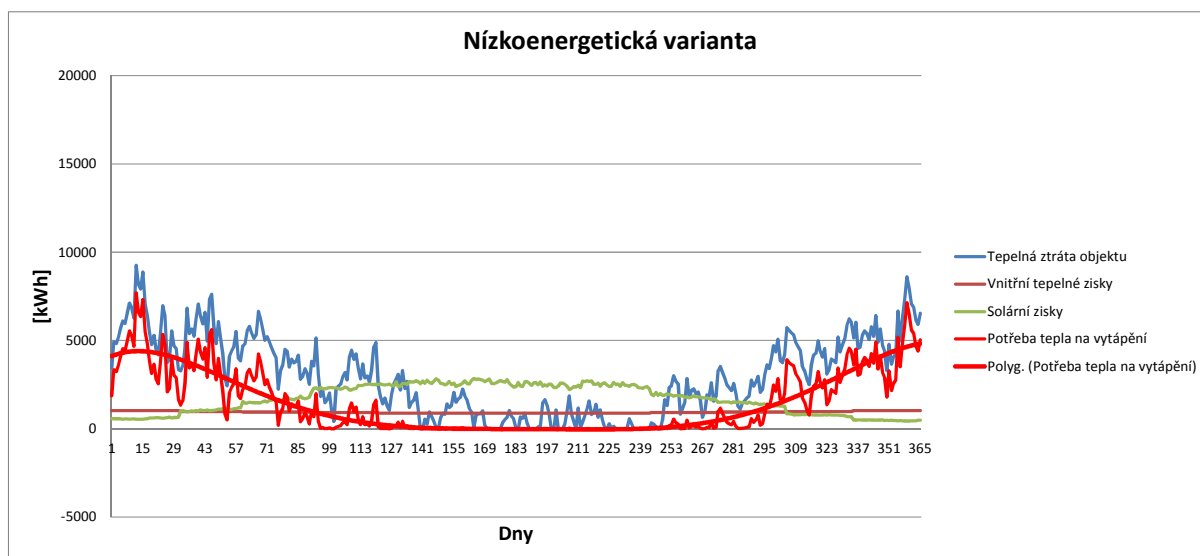


Obrázek 12: Původní varianta

Od tepelné ztráty jsou odečítány tepelné zisky a výsledkem je množství tepla potřebné na vytápění (červená čára). Z grafu je zřetelně vidět vliv denních odchylek klimatických hodnot. Pro zjednodušení byl použit trend potřeby tepla na vytápění (silná červená hladká čára).

Z grafu vyplývá, že objekt vyžaduje dodávku uměle vyrobeného tepla od začátku roku téměř do konce května a poté od časného září do konce roku. Tento závěr víceméně odpovídá normovému topnému období v trvání cca 230 dní.

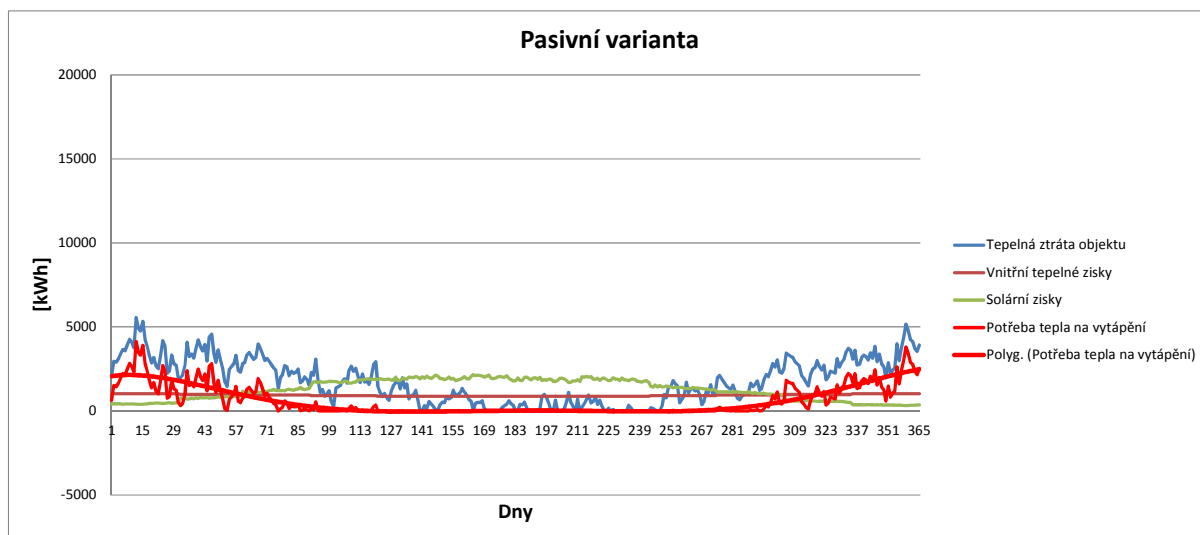
Co se ale stane po zateplení objektu na nízkoenergetický standard? Druhý graf bere v úvahu snížení měrné potřeby tepla na vytápění na cca 27 kWh/m².rok.



Obrázek 13: Nízkoenergetická varianta

V případě nízkoenergetické varianty nejen, že klesla potřeba tepla na vytápění, ale také se zkrátila topná sezóna. Nyní trvá od začátku roku do konce března a od časného října do konce roku.

Asi nebude překvapením výsledek bilance pro pasivní variantu.



Obrázek 14: Pasivní varianta

Topná sezóna končí na přelomu února a března a začíná až na začátku listopadu.

U původního objektu trvalo topné období cca 7,5 měsíce. U nízkoenergetické varianty necelých 6 měsíců. U pasivní varianty pak necelé 4 měsíce.

Pro systémy CZT z toho plyne zásadní informace. Nejen, že pasivní budovy spotřebovávají desetinu tepla, ale v čase je odběr soustředěn pouze do nejchladnějších měsíců, tj. do poloviny délky běžného topného období.

Výpočet potřeby tepla na vytápění podle topenářských postupů

Odborníci zaměření na projektování zdrojů a rozvodů tepla uvažují odlišným způsobem než odborníci na energetiku budov. Klíčovým technickým předpisem je ČSN 38 3350. Skripta VŠB z roku 2010 uvádějí následující postup (doslovné citace uvedeny kurzívou):

Potřeba tepla pro vytápění:

V podstatě jde o dodávku tepla do objektů k nahrazení tepelných ztrát povrchem budov. Při výpočtu se stanovuje:

- 1) maximální tepelný příkon při nejnižší venkovní teplotě t_e °C dané oblasti – určuje se dle přílohy ČSN 38 3350. Pro oblast Ostravy je $t_e = -15^\circ\text{C}$*
- 2) průběh okamžitého tepelného příkonu v průběhu otopného období, respektive v průběhu roku.*
- 3) celková potřeba tepla pro vytápění v topném období. Tepelné ztráty jsou v zásadě stanoveny jako prostup tepla stěnou a podrobně u jednotlivých budov lze je vypočítat podle ČSN 06 0210 – Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. (Kysela, Míka, & Kyselová, 2010).*

Podle tohoto postupu je tepelná ztráta stanovena na základě objemu budovy násobeného tzv. tepelnou charakteristikou a rozdílem venkovní a vnitřní výpočtové teploty.

Hodnota tepelné charakteristiky budovy se určuje z diagramu závislosti na druhu budovy a velikosti tzv. průměrné hodnoty povrchového pláště na jednotku obestavěného prostoru. (Kysela, Míka, & Kyselová, 2010).

Pokud je systém CZT dimenzován podle tohoto postupu, lze očekávat, že budou rozvody silně naddimenzované již od počátku. Citovaný text působí dojmem, jakoby existovala jakási informační bariéra mezi odborníky na energetiku budov, kteří dokáží velmi přesně vypočítat potřebu energie na vytápění i maximální potřebný příkon, a mezi odborníky v oboru zdrojů a rozvodů tepla, kteří mají detailní znalosti v oblasti termodynamiky a hydrauliky systémů, ale jaksi se úplně nesoustředí na to, jestli je systém dimenzovaný hospodárně.

Teplá voda

Teplá voda, v technických textech označovaná zkratkou TV, dříve TUV (teplá užitková voda¹), je další oblastí, kde je zapotřebí dodávky tepla.² Příprava teplé vody je velmi důležitá položka v energetické bilanci obytných budov. Podle ČSN 06 0320 je denní potřeba tepla na osobu a den 4,3 kW. Tato hodnota je ale určena pro dimenzování a neodpovídá skutečné spotřebě. V dnešní době se spotřeba teplé vody snížila natolik, že typická měrná spotřeba tepla je 1,4 až 2,4 kWh/os. den.

Podle průzkumu ENERGO 2004 (ČSÚ, 2005) je celková potřeba tepla na přípravu teplé vody v průměru 8,4 GJ na byt ročně. Průměrná obsazenost bytu je 2,64 os./byt, takže průměrné množství tepla pro přípravu TV na osobu a den je 2,42 kWh včetně ztrát tepla, což by odpovídalo množství 46 l vody. Protože jsou v této hodnotě zahrnuty i tepelné ztráty, je skutečná spotřeba teplé vody nižší.

I když jsou k dispozici solidní statistická data o spotřebách energie, není možno jednoduše stanovit skutečné množství tepla na výtoku a skutečnou velikost tepelných ztrát. V hodnotě energetické náročnosti jsou totiž zahrnuty domácnosti používající průtokový ohřev vody, který nemá žádné ztráty v rozvodu, případně lokální zásobníkový ohřev spojený se ztrátami relativně nízkými. Na druhé straně stojí panelové domy, kde jsou ztráty často vyšší než teplo dodané na výtoku.

Následující tabulka uvádí obvyklé množství teplé vody podle standardu bydlení:

Standard	60 °C	45 °C	Tepelná energie
Nízký	10 až 20 l/os.den	15 až 30 l/os.den	0,6 až 1,2 kWh/os.den
Střední	20 až 40 l/os.den	30 až 60 l/os.den	1,2 až 2,4 kWh/os.den
Vysoký	40 až 80 l/os.den	60 až 120 l/os.den	2,4 až 4,8 kWh/os.den

Tabulka 1: Měrná denní potřeba TV podle standardu bydlení. (Ing. Tomáš Matuška P. , 2010), podle Richtlinie VDI 2067, Blatt 4 - Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Warmwasserversorgung, 1982.

Toto je ale čisté množství TV na výtoku. Z hlediska energetické bilance je k němu nutno připočítat ztráty v rozvodech. Zejména ve velkých budovách s centrální přípravou nebo dodávkou teplé vody mohou být ztráty velmi významné. U budov připojených na systémy CZT je možno se setkat se dvěma obvyklými uspořádáními: v prvním případě je voda ohřívána na patě objektu pomocí výměníku, ve druhém případě je připravována ve vzdáleném místě (bloková stanice) a do budovy je přiváděna již jako hotový produkt.

Již ztráty tepla jen v samotném cirkulačním rozvodu v rámci budovy mohou převýšit množství tepla na výtoku. Aby byla teplá voda k dispozici ihned v kterémkoli místě budovy, je nutno udržovat v rozvodu stálou teplotu. Cirkulující voda je však neustále ochlazována tepelnou ztrátou rozvodu bez ohledu na to, kolik vody a zda vůbec nějaká je z rozvodu odebírána. Čím menší množství vody je

¹ Termín TUV byl zrušen se skončením platnosti ČSN 86 0616 Jakost teplé užitkové vody na konci roku 2000, ale setrvačností se mezi techniky stále občas používá.

² Ohřev vody je častým tématem diskusí (spíše jednostranně vedených) mezi učiteli technických předmětů ve školách a jejich studenty, kteří s oblibou používají termín „ohřev teplé vody“ na což učitelé vítězoslavně reagují pokřikem: „Kolego, proč budete ohřívát teplou vodu, když už je teplá, he?! Teplá voda se neohřívá, ale připravuje!“ I při psaní tohoto textu je poměrně složité se této formulaci vyhnout a neriskovat tak laciné výpady škarohlídů).

odebíráno, tím vyšší je relativní ztráta tepla. V praxi bývá celková roční účinnost cirkulačního rozvodu TV kolem 50 %. Ještě mnohem větší ztráty tepla má rozvod teplé vody, pokud je voda ohřívána mimo budovu.

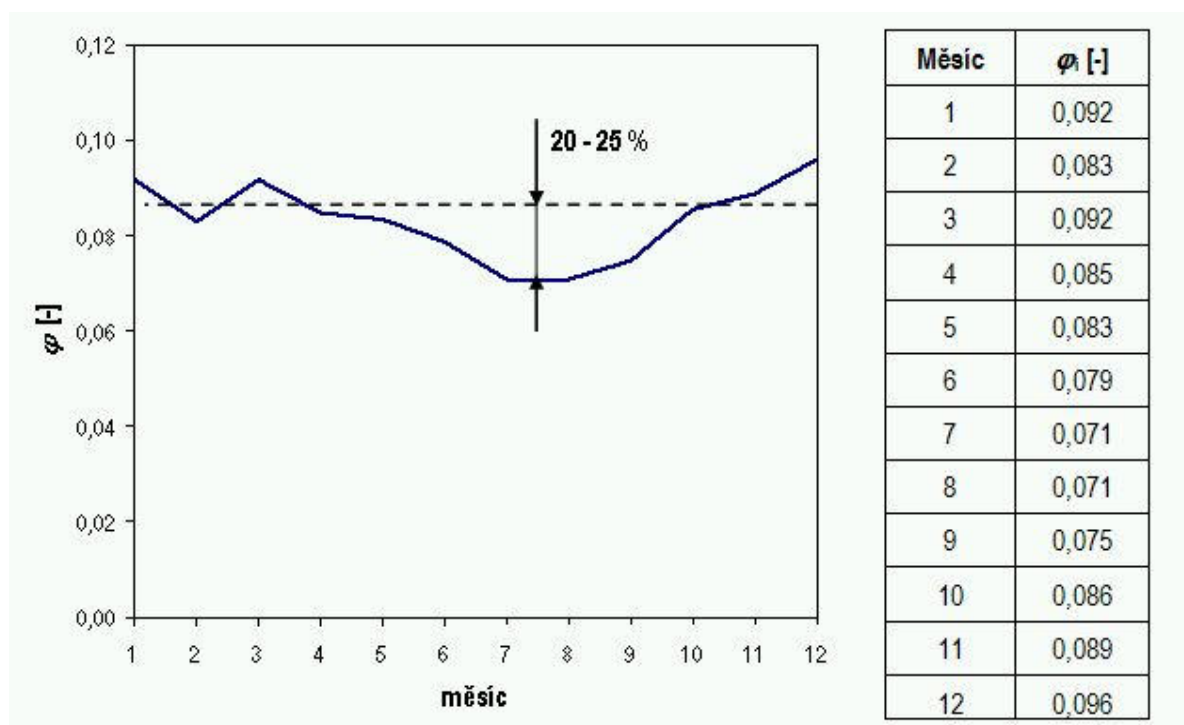
Ztráty v rozvodu lze vypočítat podle postupu uvedeného v ČSN EN 15316-3-2. Výpočet je poměrně komplikovaný, protože zahrnuje mnoho faktorů, jako je rozvětvenost rozvodu, odběrový diagram a způsob řízení cirkulace. Pro zjednodušený pohled postačí odhad pomocí tabulky uvedené v Technické normalizační informaci (TNI 730320, 2009), kde je uvedena přírážka **z** udávající velikost tepelných ztrát.

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

Tabulka 2: Hodnoty tepelných ztrát rozvodu TV podle TNI. (Ing. Tomáš Matuška P. , 2010)

Podle vyhlášky 237/2014 Sb. nesmí být měrná spotřeba tepla na ohřev vody větší než 0,17 GJ/m² podlahové plochy, pokud je teplá voda připravována v budově, a 0,21 GJ/m², pokud je připravována mimo budovu. Z toho vyplývá, že výše ztrát by neměla překročit 60 % (příprava v budově) nebo 85 % (příprava mimo budovu). V praxi jsou však ztráty obvykle větší, protože tloušťka tepelných izolací předepsaná vyhláškou není splněna mnohdy ani u nových, tím méně u stávajících rozvodů.

Reálná potřeba tepla na přípravu TV se mění během roku podle změn chování uživatelů spojených se změnami počasí a podle změn obsazenosti budov. Typický roční diagram potřeby tepla je znázorněn níže.



Obrázek 15: Roční měrný profil spotřeby teplé vody pro bytové domy (procentní rozložení). (Matuška I. T., 2010)

Pokud porovnáme informace uvedené výše s učebními materiály pro projektanty CZT, zjistíme následující:

Podle učebních materiálů z roku 2010 (Kysela, Míka, & Kyselová, 2010) se v návaznosti na ČSN 06 0320 stanovuje potřeba tepla na přípravu TV takto: ve všední den je denní potřeba tepla 4,5 kWh/os., o sobotách, nedělích a svátcích 6 kWh/os. a v letním období je možno tyto hodnoty navýšit až o 33 %.

Porovnáním projekčního postupu s reálnými hodnotami spotřeb teplé vody tak docházíme k závěru, že hodnoty uvažované v projekčních podkladech jsou minimálně dvojnásobné a systémy přípravy a rozvodu TV jsou dimenzovány nehospodárně.

Rozvody tepla

Systémy CZT pracují s různými typy rozvodů. Staré parní rozvody pracovaly s teplotami do 150 °C, ale vzhledem k nízké efektivitě jsou postupně nahrazovány horkovodními (do 130 °C) nebo teplovodními (do 110 °C). Primární rozvody dodávají teplo do předávacích stanic, které jsou umístěny buď v domě, nebo jako blokové pro více budov. V předávací stanici je připravována topná voda a TV na požadovanou teplotu.

Venkovní rozvody CZT jsou opatřeny různě kvalitní izolací podle jejich stáří a údržby. Pro jejich tepelné ztráty je dále důležitý způsob provedení a uložení rozvodu.

Mimo zastavěné oblasti se zejména dříve používaly a dodnes existují rozvody vedené vzduchem, které jsou umístěny na podpěrách nebo na sloupech. Tímto způsobem jsou vedeny zejména hlavní tepelné přivaděče.

Ve velkých městech se objevují rozvody uložené v průchozích kolektorech, kterými jsou vedeny i další inženýrské sítě. Kolektory přinášejí vynikající možnosti servisu a údržby, ale jejich budování je velmi investičně nákladné.

Starší rozvody bývají uloženy v průlezných nebo neprůlezných kanálech. Stav tohoto typu rozvodů bývá často velmi špatný, protože jsou špatně přístupné a tepelná izolace bývá někdy ve velmi špatném stavu. Zejména u neprůlezných rozvodů se občas objevuje v kanále voda, která zhoršuje vlastnosti izolací. Tepelné ztráty rozvodů bývají velmi zvýšeny, pokud je kanálové uložení otevřeno do venkovního prostředí, nebo pokud je dokonce potrubí zaplaveno vodou.

Moderní rozvody tepla jsou při rekonstrukcích nebo nových projektech obvykle provedeny v předizolovaném potrubí a zasypány zeminou. Tento způsob garantuje vysokou kvalitu izolace po dlouhou dobu.

Obvyklé roční hodnoty tepelných ztrát rozvodů bývají kolem 5 – 7 % z množství přeneseného tepla, ale zejména u starších parních rozvodů může tato hodnota dosahovat i 20 – 25 % (Kolektiv autorů, 2000).

Způsoby uložení tepelných rozvodů

Rozvody CZT mohou být vedeny různými způsoby podle místních podmínek. Investičně nejlevnější je vedení v otevřené rýze nebo po zemi. Tento způsob se ale používá pouze ve volné krajině.

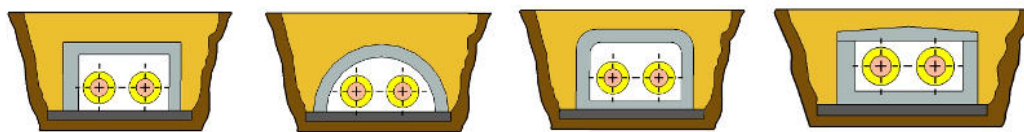
V průmyslových areálech je možno se setkat s vedením rozvodů vzduchem. I když je to poměrně neestetické, je to praktické z hlediska údržby a využití prostoru, který je k dispozici.

Ve městech se většina rozvodů budovala v kanálovém uložení. Tento způsob je kompromisem mezi cenou, tepelnou ztrátou rozvodu a jeho opravitelností.

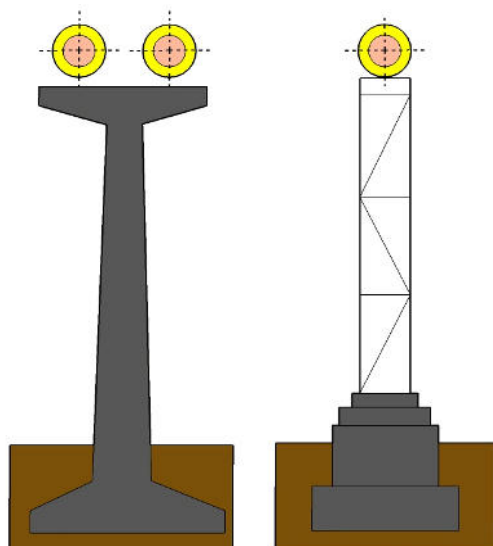
Pod hlavními komunikacemi a v centrech měst, kde by bylo nepřípustné přerušení provozu v případě opravy, se objevují průchozí kolektorové kanály, ve kterých je uloženo více inženýrských sítí. Na půli cesty mezi průchozími a kanálovými rozvody jsou průlezné kanálové rozvody.

V současné době se při rekonstrukcích nejčastěji používají předizolovaná potrubí uložená v zemině.

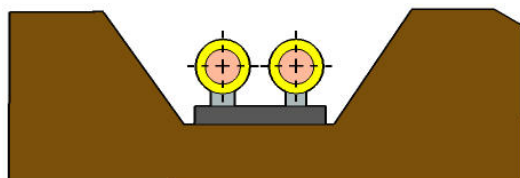
Následující schémata byla převzata z (Kysela, Míka, & Kyselová, 2010).



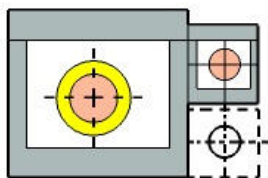
Obrázek 16: Různé možnosti provedení neprůlezných kanálů.



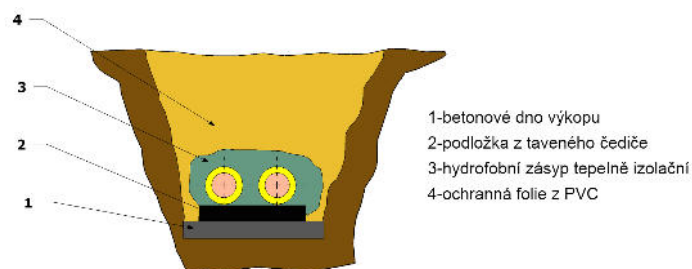
Obrázek 17: Nadzemní vedení.



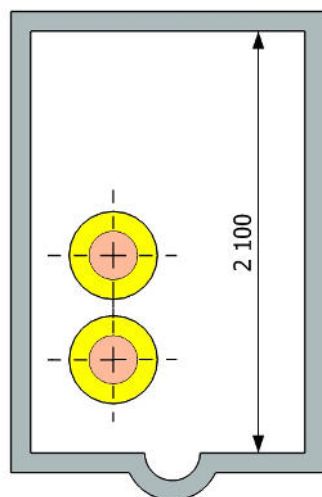
Obrázek 18: Pozemní vedení.



Obrázek 19: Průlezný kanál.



Obrázek 20: Bezkanálové uložení rozvodu.



Obrázek 21: Průchozí kanál.

Výpočet tepelné ztráty rozvodů – výpočet tepelného odporu

Tepelná ztráta rozvodů závisí na teplotě média, na průměru potrubí, na izolaci rozvodu, na jeho uložení a méně pak na rychlosti proudění média. Tím je dána měrná ztráta na jednotku délky, jejíž vynásobením celkovou délkou získáme tepelnou ztrátu úseku rozvodu.

Základem pro výpočet je stanovení tepelného odporu³ mezi médiem uvnitř trubky a okolním prostředím. Celkový tepelný odpor se skládá těchto položek:

r_1 – odpor přestupem tepla na vnitřní stěnu trubky

r_2 – odpor vedením tepla stěnou trubky

r_3 – odpor vedením tepla izolací

r_4 – odpor přestupem tepla z izolace do okolí.

Odpory r_1 a r_2 jsou u kapalin a kondenzujících par zanedbatelné, takže lze uvažovat pouze s r_3 a r_4 (Kolektiv autorů, 2000).

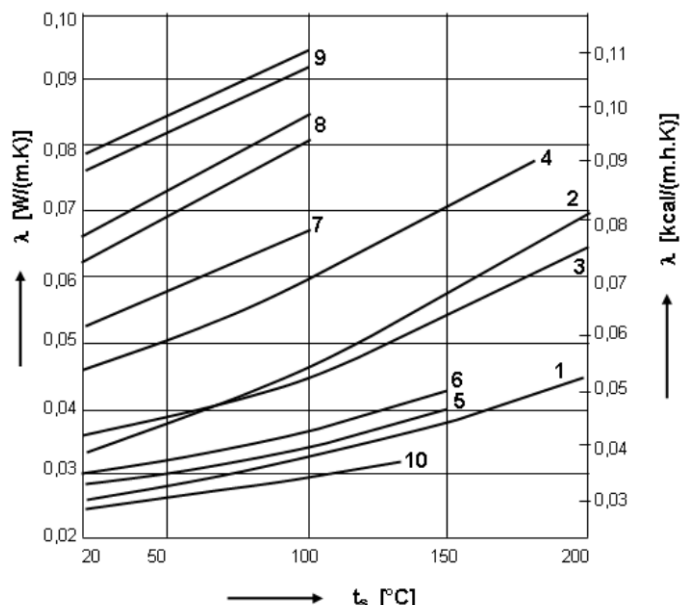
Odpor tepla vedením izolací je celkem jasně popsateľný.

³ Na rozdíl od výpočtů pro stavební konstrukce, kde se obvykle počítá se součinitelem prostupu tepla, se zde používá veličina tepelný odpor. Důvod je velmi praktický, protože tepelné odpory lze zcela prostě sčítat.

$$r_3 = \frac{\frac{1}{2\pi\lambda_{iz}} \ln \frac{d_2}{d_1}}{d_1},$$

kde λ_{iz} je tepelná vodivost izolace a d_2 a d_1 jsou vnitřní průměr trubky a vnější průměr izolace. Obvykle se pro λ_{iz} uvažuje hodnota 0,060 W/m.K.

Zde je ale třeba připomenout, že se tepelná vodivost izolačních materiálů mění s teplotou.



- 1 - skleněná vlna, hustota cpaní 105kg/m³
- 2 - čedičová vlna, hustota cpaní 110 kg/ m³
- 3 - minerální vlna, hustota cpaní 200 kg/ m³
- 4 - rohože z minerální vlny, hustota cpaní 235-275 kg/ m³
- 5 - desky z minerální plsti, hustota cpaní 100-120 kg/ m³, rohože z minerální plsti WP, HP, HPH a PP
- 6 - desky z minerální plsti 150, rohože z minerální plsti VPD a PPP, pásy z minerální plsti
- 7 - pěnový beton, měrná hmotnost 270 až 330 kg/m³
- 8 - pěnový beton, měrná hmotnost 315-385 kg/m³
- 9 - pěnový beton, měrná hmotnost 360-440 kg/m³
- 10 - předizolované trubky, hmotnost pěny 65kg/m³.

(Kysela, Míka, & Kyselová, 2010).

Odpor r_4 je obecně určen vztahem

$$r_4 = ,$$

kde α_z je koeficient přestupu tepla z povrchu izolace do okolí.

Tento koeficient má dvě složky, konvekční a sálavou.

$$\alpha_z \approx \alpha_k + \alpha_s$$

Při umístění ve volném vzduchu je vyšší složka konvekční, při umístění v kanálech naopak sálavá. (Kolektiv autorů, 2000).

U potrubí uloženého v zemi se do tepelného odporu izolace ještě započítává tepelný odpor přilehlé zeminy. Vztah pro výpočet odporu r_3 uvedený výše se nahrazuje vztahem

$$r_3 =$$

kde R je bezrozměrná veličina charakterizující tvar a rozměry průřezu tepelné izolace a hloubku uložení potrubí. Pro válcovou izolaci potrubí pak platí, že

$$R = ,$$

kde D_{iz} je vnější průměr izolace a H_k je korigovaná hodnota hloubky H osy potrubí pod povrchem, zvětšená o vliv odporu při přestupu tepla s povrchu země do okolí:

$$H_k = H + \frac{\lambda_z}{\alpha_o},$$

kde H je hloubka uložení osy potrubí, λ_z je tepelná vodivost zeminy (obvykle 1,2 – 2,2 W/m.K) a α_o je koeficient přestupu tepla ze zeminy do okolního vzduchu (doporučené hodnoty 12 – 22 W/m.K) (Zelený, 2007).

Výpočet pro potrubí uložená v kanálech je ještě složitější a zahrnuje větší počet koeficientů, jejichž správná volba vyžaduje značnou zkušenost. Do výpočtu totiž vstupují další faktory, jako je sálání mezi stěnou izolovaného potrubí a stěnou kanálu, teplota v kanálu, proudění vzduchu a další.

U izolovaného potrubí uloženého v kanálu je celkový tepelný odpor tvořen těmito faktory:

$$\sum r = \sum r_{iz\lambda} + r_{iz\alpha} + r_{k\alpha} + r_z,$$

kde

$\sum r_{iz\lambda}$ je součet tepelných odporů vrstev izolací,

$r_{iz\alpha}$ tepelný odpor z izolace do vzduchu v kanálu,

$r_{k\alpha}$ je tepelný odpor ze vzduchu kanálu do stěny kanálu a

r_z je tepelný odpor z kanálu k povrchu zeminy.

Hodnota R_z je pro obdélníkový průřez kanálu o stranách A a B rovna

$$R_z = \frac{3,5 \cdot H_k}{A^{0,75} \cdot B^{0,25}},$$

tedy

$$r_z = \frac{\frac{1}{\lambda_z \left(5,7 + 0,5 \frac{B}{A} \right)} \cdot \ln(3,5 H_k)}{A^{0,75} \cdot B^{0,25}}$$

Hodnota α_{iz} je volena v rozmezí 8,5 – 12 W/m².K podle toho, zda je kanál větráný (Zelený, 2007).

Celková tepelná ztráta rozvodů

V textu výše byl nastíněn výpočet tepelné ztráty potrubí pro nejčastější případy. Kromě měrné tepelné ztráty na 1 metr potrubí je ale nutno respektovat vliv jeho uložení.

Norma ČSN 38 3360 uvádí výpočet tepelné ztráty následujícím způsobem:

$$Q_z = Q_{iz} + Q_{ul},$$

kde je tepelná ztráta potrubím $Q_{iz} = q_{iz} \cdot l_{iz}$

a tepelná ztráta uložením potrubí $Q_{ul} = Q_{iz} \cdot z$.

$$q_{iz} = \frac{\Delta t}{\sum R},$$

kde Δt je rozdíl teploty uvnitř potrubí a teploty okolí a $\sum R$ je součet tepelných odporů bránících prostupu tepla.

Koeficient z je bezrozměrná přírážka k tepelné ztrátě potrubí a nabývá těchto hodnot:

0,15 – 0,25 pro kanálové uložení,

0,10 – 0,15 pro bezkanálové uložení,

0,20 – 0,30 pro nadzemní rozvody.

Dimenzování rozvodů – kapacity rozvodů a izolace

Navrhování rozvodů tepla je velmi komplexní problematika. Kromě toho, že potrubí musí přenést požadované množství tepla za určitý čas, musí mít také přijatelnou tepelnou a hydraulickou ztrátu.

První požadavek je poměrně snadno představitelný, alespoň pokud je teponosným médiem voda. V běžné potrubní síti se navrhuje rychlosti proudění v rozmezí 0,7 – 2,5 m/s, což je rychlost, při které voda v trubce s hladkým povrchem proudí laminárně. Při vyšších rychlostech by začínala voda proudit turbulentně, což by vedlo ke zvýšení hydraulického odporu. Pokud známe rychlost proudění a průřez potrubí, snadno spočítáme přenosovou kapacitu z měrné tepelné kapacity vody, což je

$$c = 1,163 \text{ Wh/kg} \cdot \text{K}.$$

Hmotnostní průtok M je stanoven jako

$$M = \frac{P}{\Delta t \cdot c} \quad \text{kg/s}$$

kde P je přenášený výkon ve W, Δt je rozdíl teploty na přívodu a vratném potrubí a c je měrná tepelná kapacita vody.

Pro přenos výkonu 100 kW v systému s teplotním spádem 10 °C pak potřebujeme proudění 2,4 kg/s.

Z vnitřního průměru potrubí d pak snadno zjistíme objem vody V v 1 metru jeho délky:

$$V = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * 10^{-3} \quad |$$

Měrná hmotnost vody se mění s teplotou, ale pro přibližný odhad stačí zjednodušení, že 1 l vody váží cca 1 kg.

Z výše uvedených vztahů je opačně odvozeno dimenzování průměru potrubí z rovnice kontinuity (Kolektiv autorů, 2000):

$$d = 0,0357 * \sqrt{\frac{M}{w}} \quad \text{m,}$$

kde d je návrhový průměr potrubí, M je hmotnostní průtok vody v kg/s a w je rychlost vody v m/s.

Pro zmíněný systém s hmotnostním průtokem 2,4 kg/s je pro návrhovou rychlost 2 m/s zapotřebí trubka s vnitřním průměrem cca 40 mm, tedy DN40.

Přijatelné tepelné ztráty je dosahováno dostatečnou rychlostí proudění, protože tepelná ztráta je závislá téměř výhradně na teplotě média a izolaci potrubí, nikoli však na rychlosti média, ze které vyplývá přenášené množství tepla. Pokud tedy médium v potrubí neproudí, je ztráta vůči přenášenému množství tepla relativně velmi vysoká, naopak, při vyšší rychlosti média je relativně nízká. Toto jsou však pouze relativní hodnoty. Absolutní hodnota ztráty tepla trubkou závisí na jejím povrchu a izolaci vůči okolnímu prostředí. Trubka o větším průměru tedy předává do okolí teplo větším povrchem. Proto je účelné používat nižší dimenze rozvodů.

Izolace rozvodů tepla je předepsána vyhláškou, kde je velmi podrobně rozveden způsob stanovení tloušťky izolace a jejích vlastností. Popis návrhového postupu je však příliš podrobný pro účel této publikace. Pro základní orientaci laikovi postačí nahlédnout do produktových katalogů firem dodávajících předizolované potrubí.

Třetím návrhovým požadavkem je hydraulika systému CZT. Při projektování je nutno vzít v úvahu přenášené výkony, rychlosti média, tlakovou ztrátu jednotlivých prvků, výškové rozdíly, větvení potrubí a další faktory. Pro ozřejmění energetické bilance není tuto část nutno detailně rozvádět. Je však nutno si uvědomit několik logických vazeb:

Hydraulické poměry potrubí zpravidla vyžadují větší dimenzi potrubí, než je minimální nutná z hlediska přenosu tepla. Tím jsou navyšovány tepelné ztráty potrubí. Pokud by ale nebyla použita dostatečná dimenze, došlo by k navýšení čerpací práce, která je velmi drahá a s odporem v potrubí exponenciálně stoupá. Větší dimenze potrubí také znamená vyšší investiční náklady a také náklady na servis a údržbu.

Výsledkem je projekční přístup, kdy se projektant snaží minimalizovat součet všech položek: investičních a provozních nákladů, čerpací práce a tepelné ztráty. Tento postup je očividně správný. Zhusta ale vychází z nesprávně navržené potřeby tepla na vytápění a ohřev vody, kdy jsou návrhové hodnoty někdy i násobně vyšší, než odpovídá současné realitě, jak bylo popsáno výše.

Klíčové závěry za kapitolou

Topenářský přístup k výpočtům potřeby tepla na vytápění budov a potřebě tepla na přípravu TV vede k naddimenzování kapacity rozvodů.

Tepelné ztráty rozvodů jsou závislé pouze na jejich konstrukci (dimenzi, uložení a izolaci) a teplotě média. Tepelné ztráty nejsou téměř nijak závislé na přenášeném výkonu nebo dodaném objemu tepla.

Reakce vlastníků domů a bytů na zvyšování nákladů na energie – úsporná opatření

Je logické, že domácnosti na zvyšování cen energií citlivě reagují. Vlastníci domů a bytů hledají možnosti úspor jak při vytápění, tak i při přípravě teplé vody. Často je podobná aktivita spojena s celkovou nebo částečnou revitalizací objektu, která pak vede ke zlepšení estetické a užitné hodnoty. Majitelé bytů (zejména v panelových domech) chtějí kromě dosažené úspory také nová okna a nový vzhled domu. Díky této motivaci jsou schopni někdy přijmout i ekonomicky nepříliš výhodné opatření, které „je vidět“, a zahrnout výhodnější opatření, které je očím skryto v hloubi budovy.

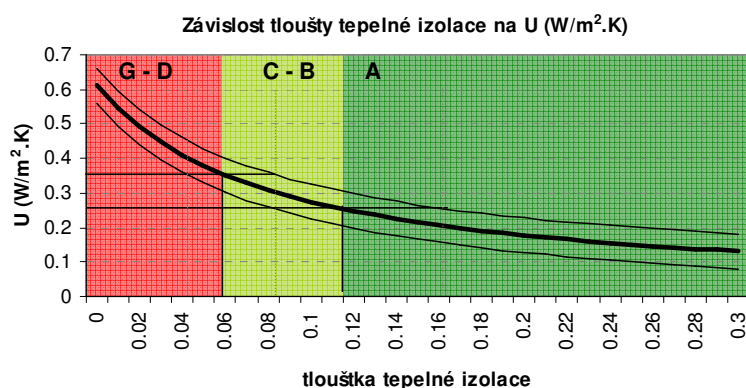
Mezi viditelná, a proto nejrozšířenější opatření patří výměny oken a zateplování obvodového pláště budovy, často ve spojení se svéráznými řešeními barevného vzhledu budovy. Osvícenější investoři se dále věnují zateplení střešního pláště a stropu technického podlaží. Diskuse o rozsahu opatření probíhají na domovních schůzích, kde majitelé horních a spodních bytů prosazují větší rozsah opatření, zatímco majitelům bytů ve střední části je to poměrně jedno. Další půtky pak vedou majitelé větších bytů s lodžii se zbytkem osazenstva na téma, jak velký příspěvek by měl být ze společných prostředků hrazen na zasklení lodžií. V této bitvě pak zcela zanikají informace týkající se nutného hydraulického zaregulování topné soustavy po zateplení, bez kterého není možno úsporu plně realizovat, nebo informace o problematice větrání po výměně oken za nová, která jsou zcela těsná. Protože platí pořekadlo, že co Čech, to stavební odborník, jsou majitelé bytů jen zřídka poslechnout hlas skutečného specialisty a nechat si navrhnout skutečně optimalizované komplexní řešení. Po výběrovém řízení na nejlevnější dodavatelskou firmu je rozsah opatření dále upraven (často se použije z cenových důvodů méně kvalitní materiál nebo menší tloušťka izolace) a úpravy se provedou bez projektové dokumentace a kvalifikovaného dozoru. Jelikož je po výměně oken dům zcela nevětraný, objevuje se v místech tepelných mostů a vazeb vlhkost a plíseň. Na následující domovní schůzi začnou amatérští „inženýři“ rozebírat teorie o tom, že zateplené obvodové stěny „nedýchají“ a že se měla použít jakási kosmická technologie, o které slyšeli od příbuzného, který ji prodává. Toto je bohužel realita většiny tuzemských projektů revitalizace panelových budov.

Na druhé straně ale existují poučenější investoři, kteří jdou příkladem. Většinou jsou to institucionální investoři, jako například obce, nebo menší panelové domy v družstevním vlastnictví, kde vládne pevnou rukou technicky zdatný autoritativní předseda schopný odolávat opozici. Tito investoři pak realizují skutečně podařené pilotní projekty. Díky nim a díky zpříšňující se legislativě lze v brzké době očekávat rostoucí trend skutečně sofistikovaných revitalizací zejména panelových bytových domů.

Dnes již klasickými ukázkami kvalitních rekonstrukcí byly komplexně a kvalitně pojaté revitalizace panelových domů v Brně – Lískovci nebo v Orlové. V Lískovci se pod taktovkou osvědčeného vedení městské části podařila pasivní rekonstrukce řady budov včetně instalace mechanického větracího systému. V Orlové pak velké bytové družstvo provedlo postupné zateplení a instalaci solárních termických systémů, takže spotřeba tepla na vytápění velké skupiny domů klesla z původních 141 tis. GJ v roce 2006 na necelých 50 tis. GJ o patnáct let později. Solární systémy pak šetří dalších cca 1500 GJ na teplé vodě.

Důležité je, že rekonstrukce nadcházejících let budou dosahovat významně lepších standardů, než tomu bylo dříve. Důvodem je lepší dostupnost a nižší cena potřebných technologií. Zatímco dříve se používaly tloušťky zateplení mezi 6 a 10 cm, nyní je to typicky 14 cm, ale i více, protože to vyžaduje zpřísněná legislativa. Za stejnou cenu, za kterou bylo před deseti lety možno koupit okno s dvojitým zasklením s $U = 1,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, je nyní k dostání okno s trojsklem s $U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Na druhou stranu, velká část panelových domů již rekonstrukcí prošla a potenciál nevyužitých energetických úspor je zde konzervován nejméně na dalších 20, spíše 40 roků.

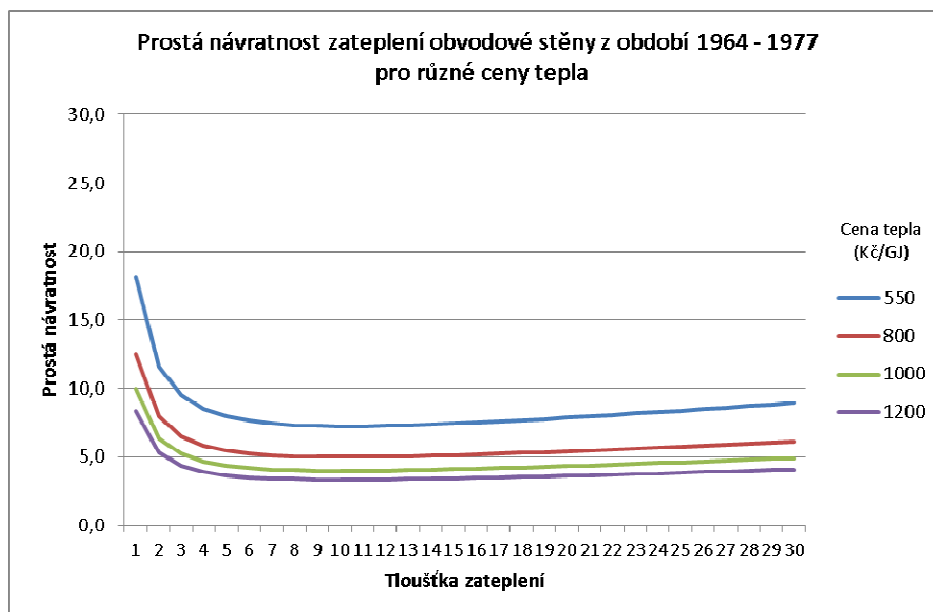


Obrázek 22: Změna energetického zařazení panelového domu po zateplení různou tloušťkou izolace. (Srdečný, 2011).

Efektivita zateplování budov

Při rozhodování investorů, kteří nejsou ekonomicky orientováni, je hlavním kritériem prostá návratnost opatření. Zatímco u komerční sféry je jakékoli investiční opatření s návratností nad 4 roky nereálné, jsou občané mající jen omezené možnosti zhodnocení svých peněz skromnější. Pro většinu domácností je tak prostá návratnost investice v horizontu do 15 let považována za akceptovatelnou a do 8 let za velmi dobrou.

U zateplování obvodového pláště budov je rozhodující, jaký je výchozí stav konstrukce. Je pochopitelné, že čím je původní konstrukce méně kvalitní, tím je rozdíl po aplikaci opatření větší a tím lepší návratnosti je dosaženo. Druhým klíčovým faktorem je samozřejmě cena ušetřeného tepla.

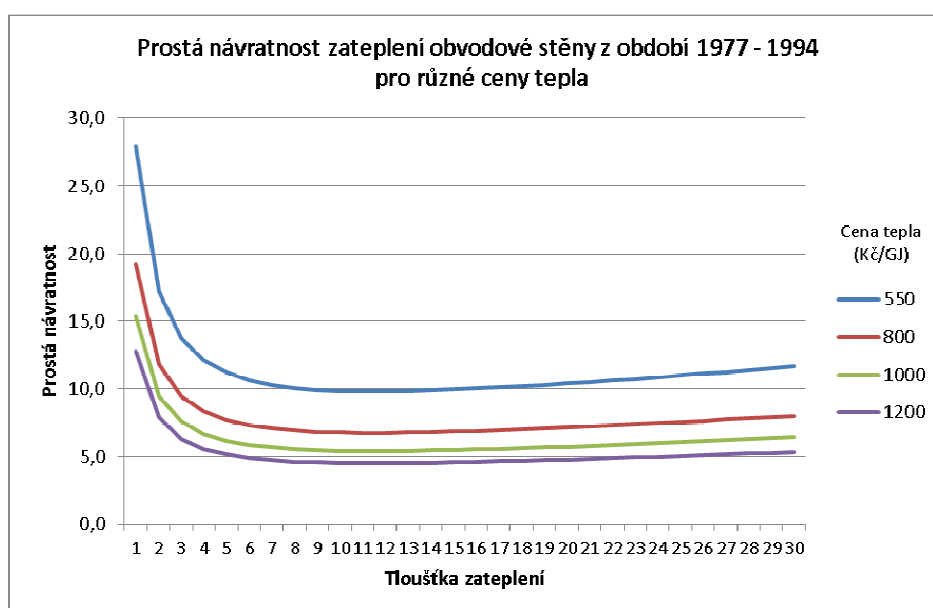


Obrázek 23: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1964 - 1977.

Graf popisuje situaci zateplení stěny, jejíž vlastnosti odpovídají nejstarším panelovým budovám v ČR. Uvažována je cena zateplení ve výši 1000 Kč/m² jako základ a přírůstková cena 30 Kč/m² za každý 1 cm tloušťky materiálu. Tato cena je obvyklá měrná cena při podobných rekonstrukcích a zahrnuje všechny související náklady.

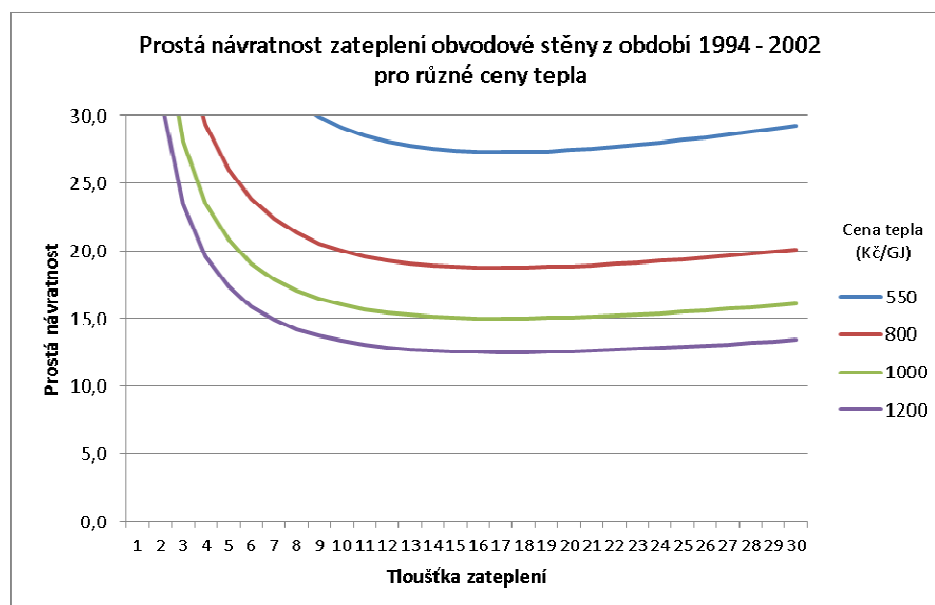
Návratnost opatření je počítána jako doba, za kterou se umoří počáteční investice každoroční úsporou tepla na vytápění oproti výchozímu stavu.

Z výsledků je zřejmé, že u takto staré budovy se vyplatí téměř jakékoli zateplení i při běžných cenách tepla a výsledek má vysokou ekonomickou efektivitu. Z hlediska tloušťky izolantu je pak optimum někde kolem 10 cm, ale ani použití větších tloušťek není nevhodné. Vzhledem ke zpřísnujícím se legislativním požadavkům vychází obvykle minimální tloušťka zateplení 14 až 16 cm.



Obrázek 24: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1977 - 1994.

Druhý případ popisuje konstrukce modernějších panelových budov. Zde se návratnost prodlužuje a při současných cenách tepla je přes 10 let. Pokud je rozhodovacím kritériem prostá návratnost, je poměrně široké optimum tloušťky izolace v rozmezí 10 – 18 cm.



Obrázek 25: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1994 - 2002.

Třetí případ popisuje situaci u nejkvalitnějších panelových domů postavených na přelomu století. Zateplení je zde ekonomicky efektivním opatřením až při výrazném nárůstu ceny tepla a optimální tloušťka izolace je výrazně vyšší než v předchozích případech.

Proč je prostá návratnost nevhodným kritériem?

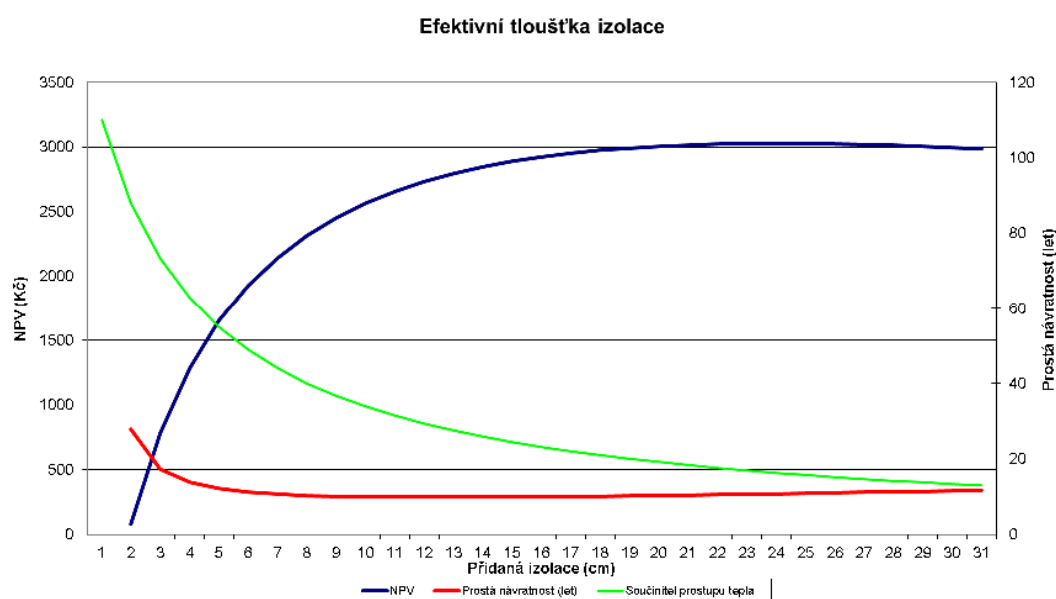
Prostá návratnost, čili doba splatnosti investice, je kritérium pochopitelné široké veřejnosti. Nezahrnuje však dva významné prvky – časovou hodnotu peněz a životnost investice.

Časová hodnota peněz je na první pohled poněkud abstraktní, ale chápe ji instinktivně každé malé dítě, kterého se zeptáte, jestli chce dostat stokorunu teď nebo až za rok. Tatáž stokoruna za rok ode dneška má mnohem menší váhu, a to nejen z hlediska uspokojení touhy malého dítěte, ale i v praktické ekonomii. Dnešní stokoruna totiž může být nějak investována a za rok by něco vydělala. O tuto příležitost však přichází, pokud si za ni něco koupíme. Dnešní stokoruna s potenciálem výdělku je tedy hodnotnější než stokoruna příštího roku. Pokud dnešní stokorunu porovnáme se stokorunou za rok, je tato vzdálenější bankovka jaksí menší, protože přišla o možnost zhodnotit se. Dnešní stokoruna má tedy za rok hodnotu například 95 korun. Toto ubývání hodnoty nominální částky v čase se nazývá diskontování. Při jeho započtení se budoucí peněžní toky snižují, čím dále do budoucnosti se díváme. Pokud celou řadu takto upravených peněžních toků každého budoucího roku sečteme a odečteme vstupní investici, získáme tzv. Čistou současnou hodnotu investice označovanou zkratkou NPV z anglického Net Present Value.

Pro výpočet NPV je velmi zásadní druhá nastíněná otázka, a to je životnost investice. Výpočty NPV se provádějí pro technickou nebo účetní životnost investice. Právě tento pohled je velmi důležitým odlišením kritéria prosté návratnosti od NPV při rozhodování o investičním záměru.

Příkladem může být rozhodování mezi investicí do výměny oken s návratností 12 let nebo do výměny termoregulačních ventilů s návratností 10 let. Podle prosté návratnosti je lepší investice do termoregulačních ventilů, protože má kratší návratnost. Rozhodování se změní v okamžiku, kdy si uvědomíme životnost obou investic. Okna budou bez problémů sloužit 25 a více let. U starých budov jsou okna stará mnoho desítek let a jsou stále funkční, pouze jsou zastaralá. Termostatické ventily mají ale životnost právě 10 let a poté se musí vyměnit. Jelikož se investice splatila na konci životnosti, nevydělali jsme vůbec nic a navíc jsme na 10 let zablokovali částku, která by byla použitelná jinde lépe. (V reálném životě má naštěstí investice do termostatických ventilů velmi krátkou dobu návratnosti, takže je netřeba zatracovat).

Rozdíl mezi prostou návratností a NPV je vidět při volbě tloušťky zateplení na následujícím grafu:



Obrázek 26: Optimální tloušťka izolace z hlediska NPV.

Příklad je vypočten pro stejnou situaci jako na prostředním z předcházejících grafů, tj. pro střední kvalitu původní konstrukce, a pro cenu tepla 550 Kč/GJ. Ačkoli prostá návratnost ukazuje, že se optimální tloušťka izolace pohybuje kolem 12 cm a v rozmezí mezi 10 a 18 cm se výrazně nemění, průběh NPV ukazuje zcela jinou informaci. Podle NPV je nejvýhodnější použít tloušťku izolace 23 cm.

Daný případ počítá s meziročním nárůstem cen energie 3 % a s diskontem („cenou peněz“) také 3 %. Při seriózním rozhodování je samozřejmě nutno vzít v úvahu konkrétní podmínky.

Podobnou úlohu je možno řešit pro další konstrukce, například pro výměnu oken.

Typ okna (Původní, $U_w = 2,4$)	Dvojsklo, $U_w = 1,15$	Trojsklo, $U_w = 0,75$
Pořizovací cena (Kč/m²)	4 400	5 800
Cena tepla 550 Kč/GJ		
Prostá návratnost	21	21
NPV	1 900	2 500
Cena tepla 800 Kč / GJ		
Prostá návratnost	14,5	14,5
NPV	4 800	6 250

Cena tepla 1000 Kč / GJ		
Prostá návratnost	11,5	11,5
NPV	7 050	9 270
Cena tepla 1200 Kč / GJ		
Prostá návratnost	9,5	9,5
NPV	9 360	12 280

Tabulka 3: Porovnání investice do výměny oken podle prosté návratnosti a NPV.

Z porovnání vyplývá důležitý fakt. I když jsou srovnávané možnosti z hlediska prosté návratnosti při jakékoli ceně tepla vždy shodné, podle NPV je ve všech případech výhodnější kvalitnější opatření. (Toto tvrzení platí pro nízké hodnoty diskontu běžné pro domácnosti). V porovnávaných případech je investice do kvalitnější varianty cca o třetinu výnosnější, i když je první hodnocení pohledem prosté návratnosti shodné.

Regulační prvky

Regulační prvky jsou nejefektivnější energetickou investicí v budovách.

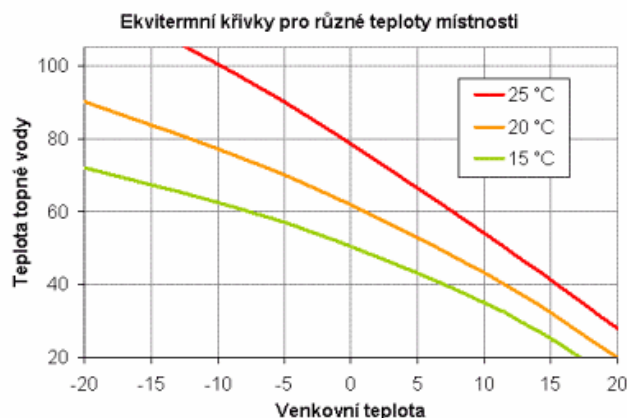
Vyvážení soustavy

Základním stupněm regulace je hydraulické vyvážení otopné soustavy po každém zateplení objektu. Úprava průtoků a teplotních spádů v jednotlivých částech soustavy je nutná k tomu, aby nebyly žádné místnosti nedotápěny anebo přetápěny.

S hydraulickým vyvážením také souvisí správné nastavení regulace na výměníku. Původní průtok topné vody byl nastaven na konkrétní hodnoty rozdílu teploty mezi přívodem a vratným potrubím. Pokud výrazně klesne odběr tepla na sekundární straně výměníku, znamená to, že primární strana výměníku bude vracet do vratného potrubí médium nedostatečně vychlazené. Vratné potrubí pak bude mít o hodně vyšší tepelnou ztrátu, než by mělo v případě nižší teploty. Pokud je měření spotřeby tepla umístěno ve vzdálené výměníkové stanici, bude tato zvýšená tepelná ztráta přičtena ke spotřebě tepla v objektu. Proto je třeba zaregulovat i výměník.

Ekvitermní regulace

Pokud bude výměník zaregulován jen pomocí omezení průtoků, zvýší se stupeň vychlazení topného média, ale ani to nebude zcela efektivní, protože teplota na přívodu bude zbytečně vysoká a průtok přívodním potrubím bude nízký, což povede ke zvýšení relativního podílu tepelných ztrát systému. Proto je vhodné teplotu přívodu i vratného potrubí regulovat ekvitermně, tj. podle rozdílu venkovní a vnitřní teploty. Tento způsob minimalizuje tepelné ztráty v rozvodech a umožňuje použití návrhových průtoků média při jeho proměnné teplotě řízené závisle na aktuální potřebě topného výkonu.



Obrázek 27: Ekvitermní křivky. (Matz, 2010).

Ochlazení teploty látky

$$\Delta t = (t_{w1,max} - t_{w2,max}) \cdot \frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \quad [K]$$

Střední teplota teploty látky

$$t_m = t_i + \left(\frac{t_{w1,max} + t_{w2,max}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_e - t_i}{t_{e,min} - t_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad [^{\circ}C]$$

Vnitřní výpočtová teplota	$t_i =$
Minimální venkovní výpočtová teplota	$t_{e,min} =$
Maximální teplota přívodu otopné vody	$t_{w1,max} =$
Maximální teplota zpátečky otopné vody	$t_{w2,max} =$
Teplotní exponent soustavy	$n =$

Průběh ekvitermní křivky lze vypočítat podle průběhu střední teploty teploty látky a jejího ochlazení, které udává teplotní spád na přívodu a vratném potrubí. Pokud je například výpočtový teplotní spád při -12 °C navržen na 55/45 °C, je při -3 °C střední teplota topné vody 43,3 °C a teploty na přívodu a vratném potrubí jsou 46,9/43,3 °C (ochlazení je 7,2 °C).

U vysokoteplotních soustav CZT není možno použít takovýto rozsah ekvitermní regulace, protože by nebyl k dispozici dostatečný potenciál pro teplotní spád. Proto se používá částečná regulace teploty média. U horkovodů Pražské teplárenské, a. s. je například výpočtový teplotní spád 130 / 70 °C při -12 °C, teplota přívodu se snižuje o 0,6 °C na každý °C rostoucí venkovní teploty, zatímco teplota vratného potrubí klesá jen málo, cca na 65 °C. Od teploty 13 °C klesne teplota přívodu ze 115 °C na 95 °C, kde zůstává celou letní sezónu, zatímco teplota vratného potrubí naopak mírně roste až k 70 °C. Tento průběh vznikl na základě optimalizačního výpočtu pro minimální čerpací práce během celého roku.

Termoregulační ventily

Termoregulační ventily (TRV) jsou instalovány na jednotlivých radiátorech. Jejich účelem je zavřít přívod topného média do radiátoru v okamžiku, kdy je v místnosti dostatečná teplota. Zařízení tak zabraňuje přetápění místnosti, ale zejména reaguje na přítomnost jiného zdroje tepla (oslunění, pobyt osob, vaření, žehlení apod.). Tepelný zisk tak nahrazuje část energie potřebné k vytápění, která

by jinak byla dodána instalovaným zdrojem tepla. Bez funkčních termoregulačních ventilů lze využít tepelné zisky jen omezeně, alespoň ve většině standardně řešených budov. Životnost TRV je asi 10 let, poté přestávají plnit svou funkci a je třeba je vyměnit.

Prediktivní regulace

Prediktivní řízení topné soustavy je nejmodernějším způsobem regulace. Systém používá meteorologická data a předpověď průběhů teplot pro následující den a vypočítává budoucí potřebu tepla s ohledem na aktuální stav topné soustavy a tepelnou setrvačnost budovy. Pokud je například dnes teplota nízká a zítra se má významně zvýšit, „normální“ systém nemá tuto informaci k dispozici a dodává teplo do budovy, dokud venkovní teplota nevzroste. Potom se sice zdroj tepla vypne, ale nahřáté rozvody a radiátory dále vydávají teplo do budovy. Pokud je instalována prediktivní regulace, omezí se dodávka tepla již v noci. Akumulace tepla v budově zamezí poklesu vnitřní teploty a systém tak ušetří několik hodin provozu zdroje. Prediktivní systémy nejsou příliš rozšířeny a jsou stále předmětem vývoje. Nejsou také vhodné pro všechny budovy.

Poměrové indikátory spotřeby tepla

Tato zařízení se instalují na radiátorech pro spravedlivější rozdělení centrálně měřené spotřeby tepla mezi jednotlivé uživatele. Jejich přesnost a spravedlivost rozúčtování je předmětem častých diskusí, ale mají (nezamýšlený) regulační efekt. Psychologický účinek přítomnosti měřicího prvku totiž silně ovlivňuje chování uživatelů a vede je k šetrnosti při spotřebě tepla.

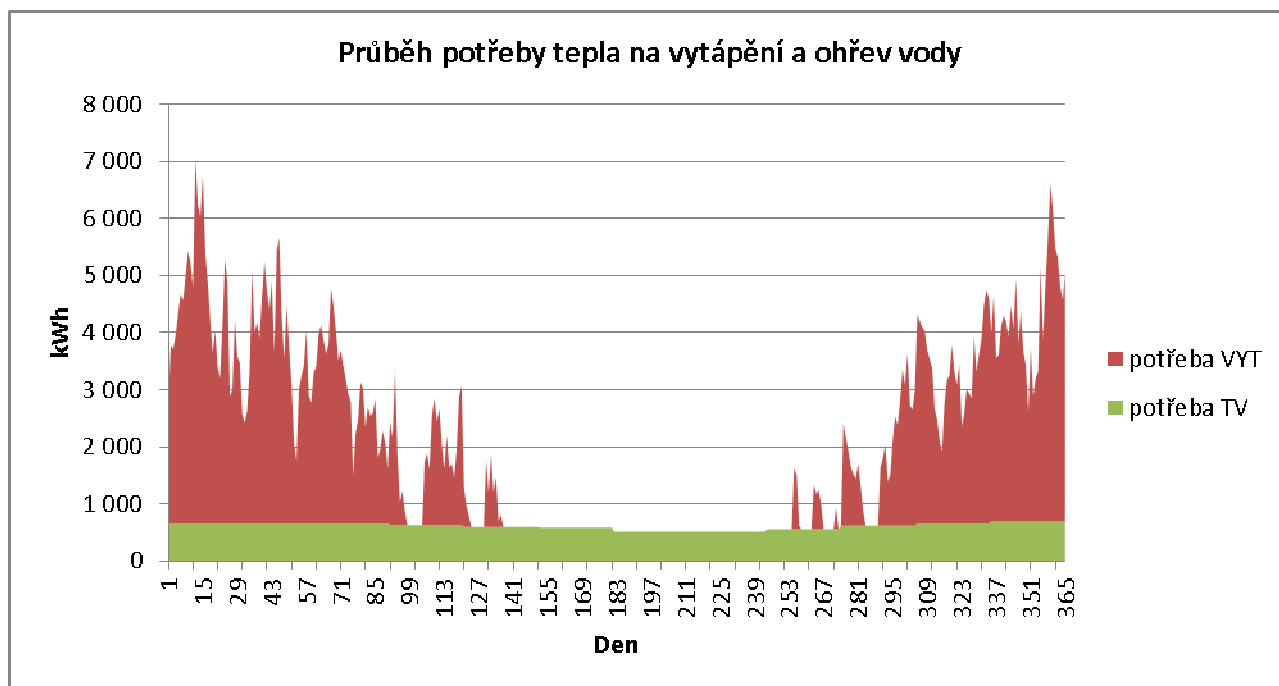
Zdroje energie

V době rostoucích nákladů na teplo je pro domácnosti lákavé vybavit svůj dům vlastním zdrojem levnějšího tepla. Zdroj tepla může být instalován pro ohřev vody, pro vytápění nebo pro oba účely. Často je tato myšlenka spojena s využíváním obnovitelných zdrojů energie.

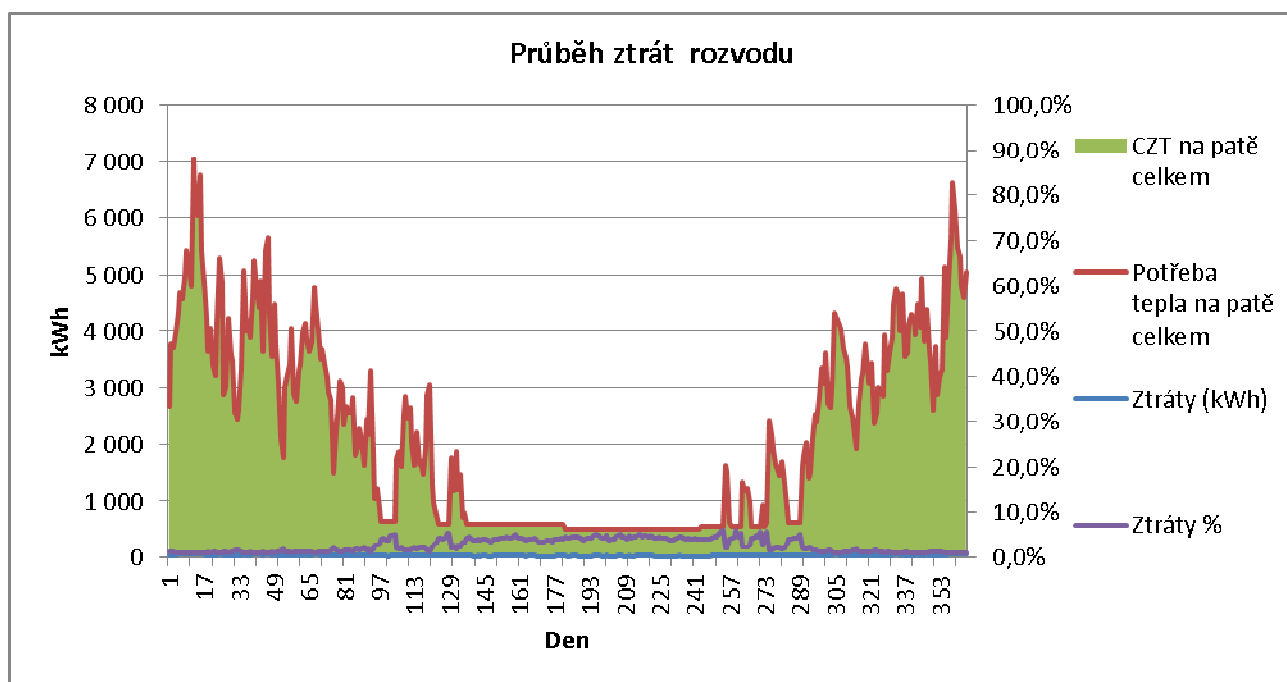
Obecně je využívání obnovitelných zdrojů velmi chválehodné, ale v případě budov připojených na CZT je také dobré sledovat, co se děje při kombinaci obou zdrojů.

V dalších odstavcích budou prezentovány dopady instalace různých zdrojů tepla na průběh dodávky tepla z CZT a na absolutní a relativní velikost ztrát v rozvodu. Zde je zapotřebí upřesnit, že ztrátami v rozvodu jsou v této části míněny ztráty v přípojce k dané budově, nikoli v celém systému. Absolutní hodnota ztrát je v roční bilanci poměrně malá oproti celkově dodanému teple (alespoň v tomto případě jednotlivého izolovaného opatření). Relativní velikost ztráty je udávána oproti momentálně celkově dodanému teple, takže v případě nulového odběru v budově je velikost relativní ztráty rovna 100 %.

Pro původní stav je tvar grafů popisujících bilanci následující:

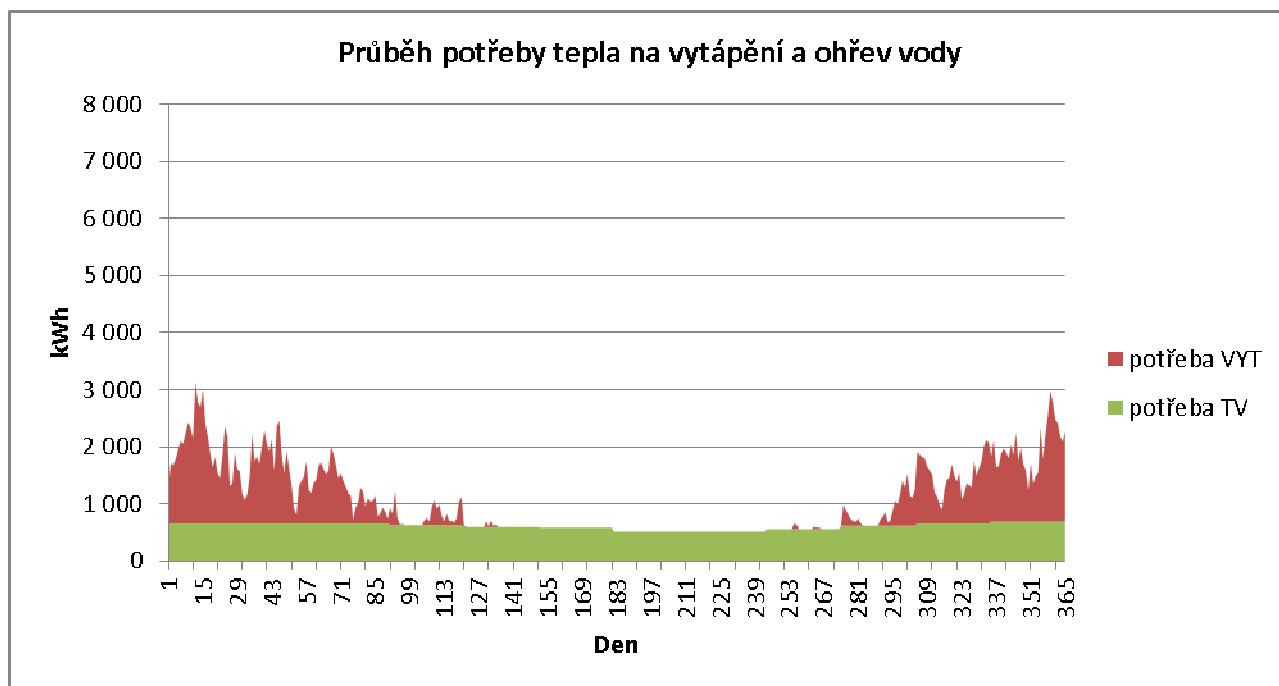


Obrázek 28: Potřeby tepla - původní stav.

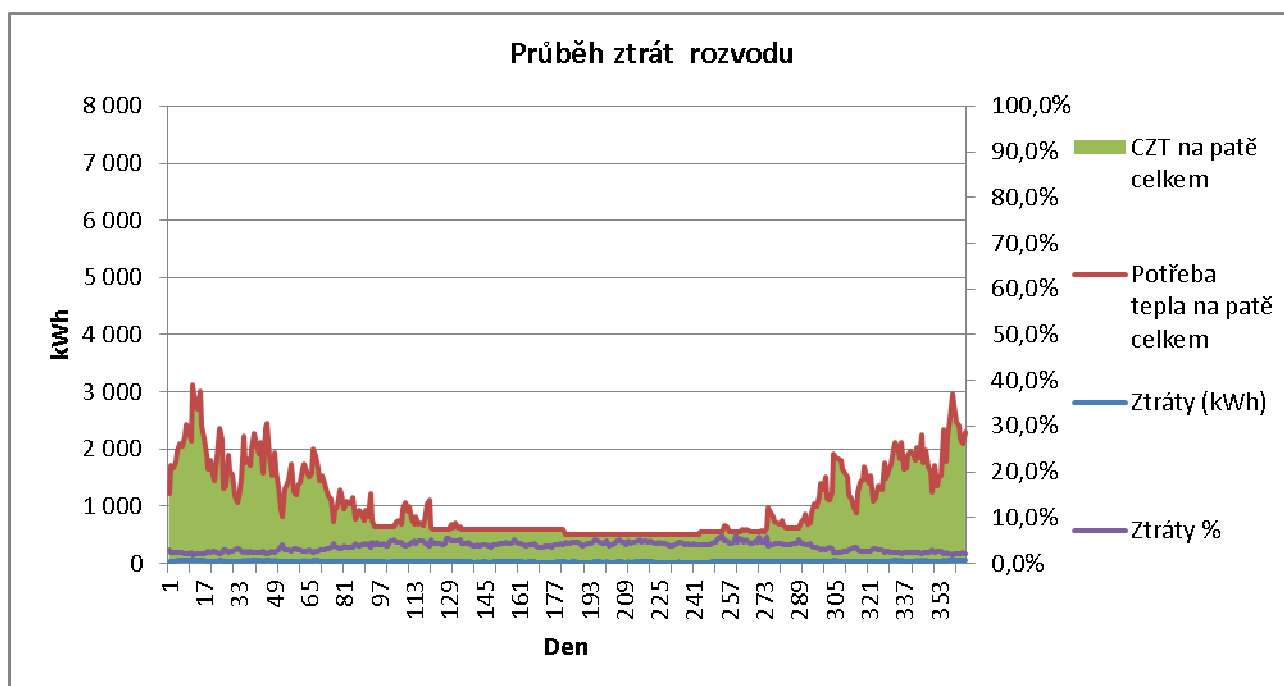


Obrázek 29: Průběh ztrát v rozvodu - původní stav.

Po zateplení objektu významně klesne potřeba tepla na vytápění, ale přípojka CZT má stále stejné parametry. To vede ke zvýšení relativních ztrát:

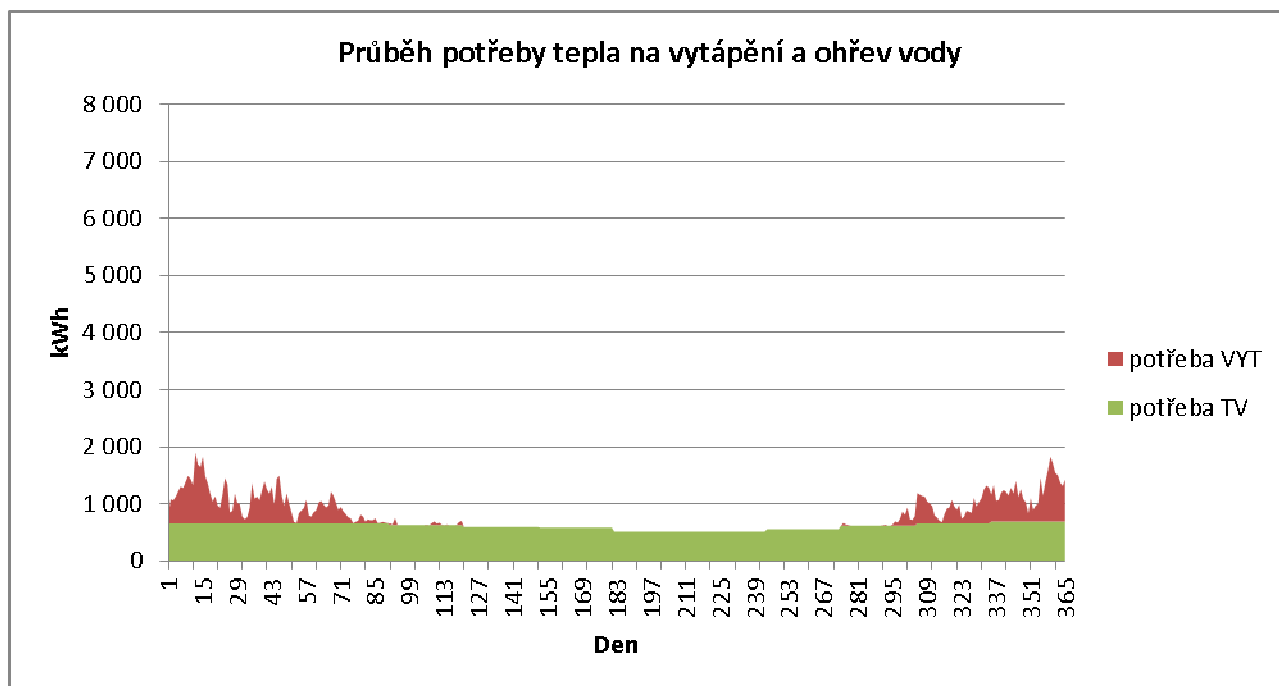


Obrázek 30: Potřeby tepla - po zateplení.

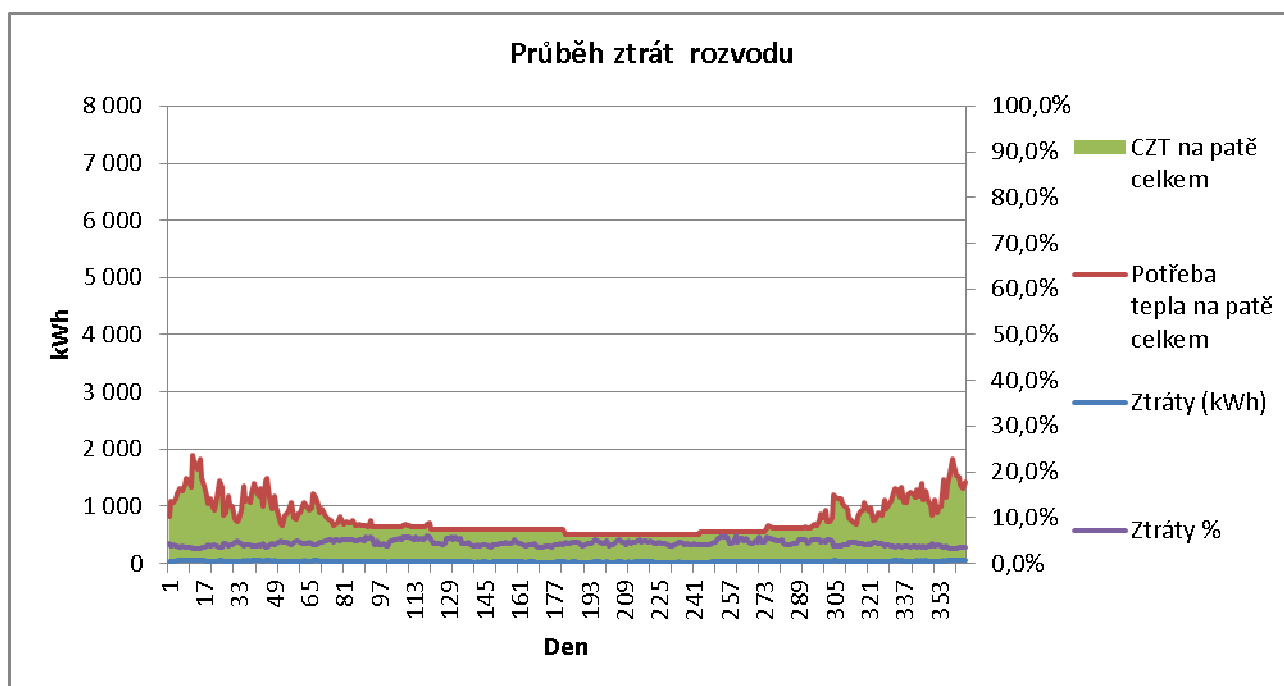


Obrázek 31: Průběh ztrát v rozvodu - po zateplení.

Ještě markantnější je tento efekt při dalším snížení energetické náročnosti budovy po její rekonstrukci do pasivního standardu:



Obrázek 32: Potřeby tepla - pasivní standard.



Obrázek 33: Průběh ztrát v rozvodu - pasivní standard.

Na tomto základě je možno dále porovnávat vlivy jednotlivých opatření v oblasti technických zařízení budovy.

Solární termický systém

Solární termické systémy se používají v panelových domech pro ohřev vody v letním období. Na střeše se instaluje vhodně velká plocha kolektorů s teplotnosným médiem a v technické místnosti se instaluje velký bojler a regulační prvky. Možností zapojení je více, ale nejčastější je použití stratifikačního akumulčního zásobníku, do jehož spodní části je přiváděno médium ze solárního

systému a do horní části teplejší přívod z druhého zdroje tepla, v tomto případě výměníku CZT. Pokud je slunečního záření dostatek, stačí k nahřátí celého zásobníku solární systém. V případě nedostatku slunečního záření se ohřívá od výměníku pouze horní část zásobníku a spodní zůstává připravena pro příjem solární energie. Teplo do dalšího rozvodu se vždy odebírá z nejvyšší vrstvy vody.



Obrázek 34: Zásobník teplé vody. Zdroj: EkoWATT.



Obrázek 35: Instalace solárního systému na střeše panelového domu. Zdroj: BD Orlová.

Účinnost solárního systému s kapalinovým oběhem závisí na okamžité kombinaci několika faktorů. Lze říci, že účinnost systému se mění každým okamžikem. Někdy se proto používají simulační programy, které stanoví energetický zisk pomocí hodinového nebo minutového kroku.

Kapalinový kolektor má tepelné ztráty, které jsou dány konstrukcí - obecně nejmenší ztráty má vakuový kolektor, kde vakuum účinně izoluje absorbér od venkovního prostředí. U plochých deskových kolektorů záleží na izolaci spodní (neosluněné) strany absorbéru a parametrech zasklení. Ztráta závisí samozřejmě také na rozdílu teplot uvnitř kolektoru (teplota absorbéru) a venkovní teplotě, případně na intenzitě ochlazování větrem.

Aby kolektor fungoval jako zdroj energie a nikoli jako chladič, je nutné, aby dopadající sluneční energie převyšovala aktuální tepelnou ztrátu.

Z tohoto důvodu kolektory nepracují při kombinaci těchto podmínek:

- nízká intenzita dopadající solární energie (ráno, večer, při zatažené obloze)
- nízká venkovní teplota, případně silný vítr
- vysoká teplota absorbéru, resp. teplota v akumulární nádrži (teplota, na kterou je nutno ohřívat užitkovou vodu nebo topnou vodu).

Uživatel může ovlivnit jediný faktor, a to je právě teplota ohřevu. Z tohoto důvodu se pro solární zásobníky využívá stratifikace teplot, kdy kolektor ohřívá vždy co nejchladnější vrstvu vody. Pokud je zásobník nahřátý (např. odpoledne), účinnost klesá.

Další faktory, jako je tepelná ztráta kolektoru, lze ovlivnit jedině volbou konkrétního typu kolektoru. Množství dopadající energie závisí kromě počasí také na orientaci a sklonu kolektoru.

Okamžitá účinnost kolektoru se stanoví podle vzorce:

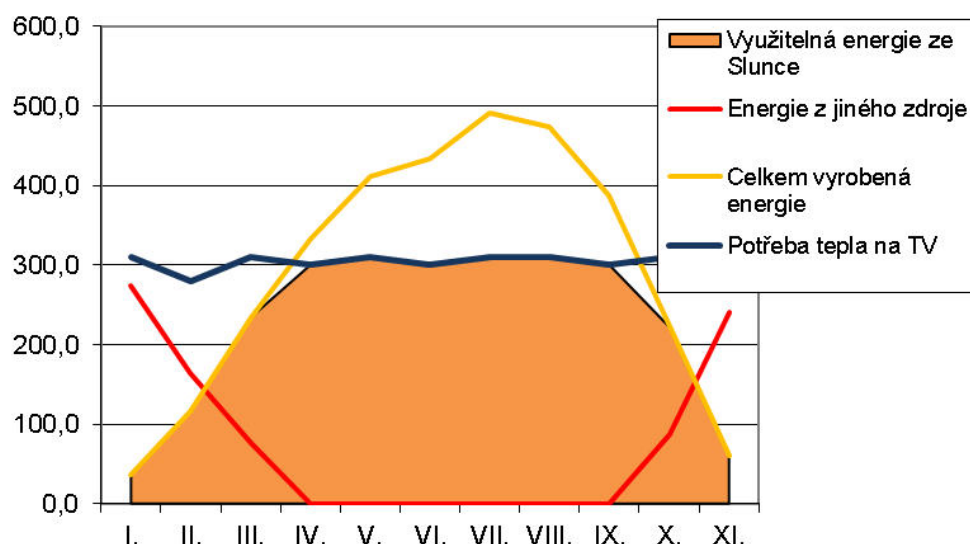
$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G}$$

kde:

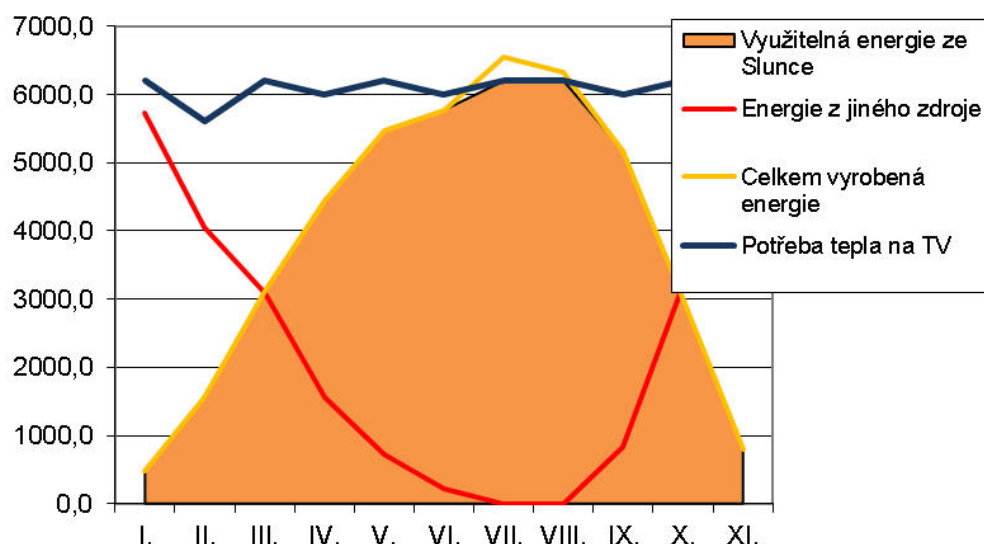
η_0	tzv. optická účinnost - účinnost při nulovém teplotním rozdílu mezi střední teplotou teplotnosné kapaliny t_m a okolím t_e
a_1	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru, $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru, $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2]$
t_e	teplota okolí $[\text{K}]$
t_m	střední teplota teplotnosné látky (teplota absorbéru) $[\text{K}]$
G	intenzita dopadajícího slunečního záření (na plochu kolektoru) $[\text{W}/\text{m}^2]$

(ČSN 12975, 2006)

Významnou otázkou je velikost solárního systému. U rodinných domků se dimenzuje solární systém pro ohřev vody tak, aby dodával velké množství energie nejen v létě, ale i na jaře a na podzim. Letní přebytky lze využít k ohřevu bazénu nebo je prostě ignorovat.

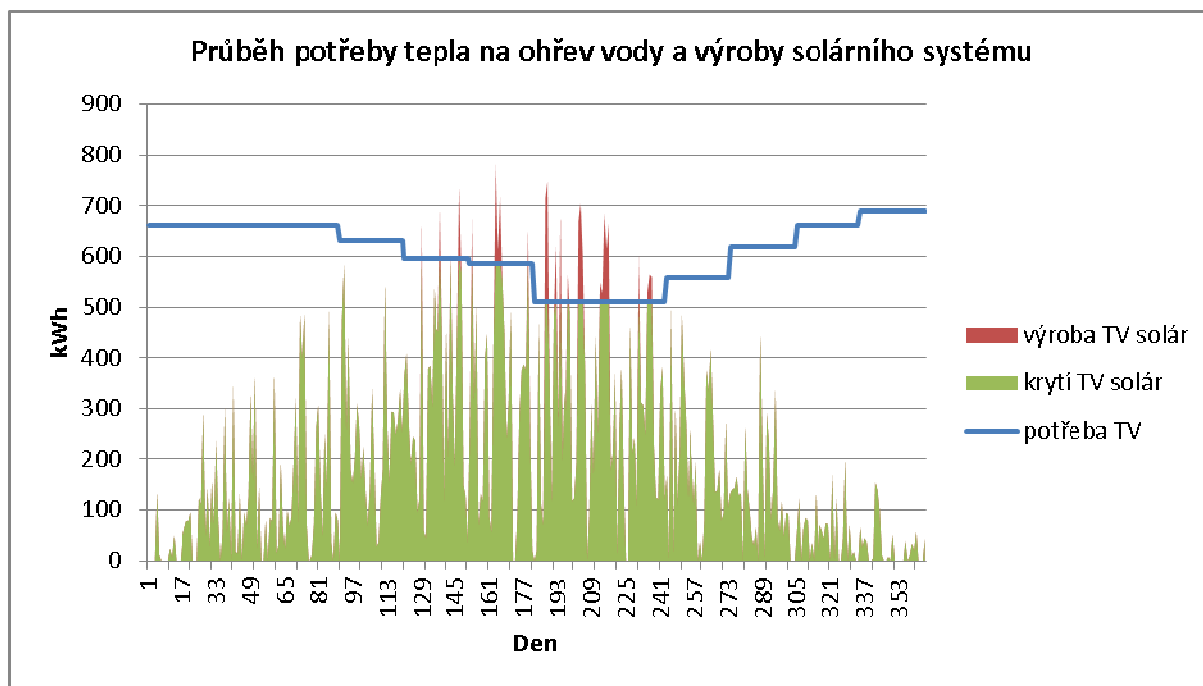


Obrázek 36: Typický průběh výroby solárního systému v rodinném domě.



Obrázek 37: Typický průběh výroby solárního systému v bytovém domě.

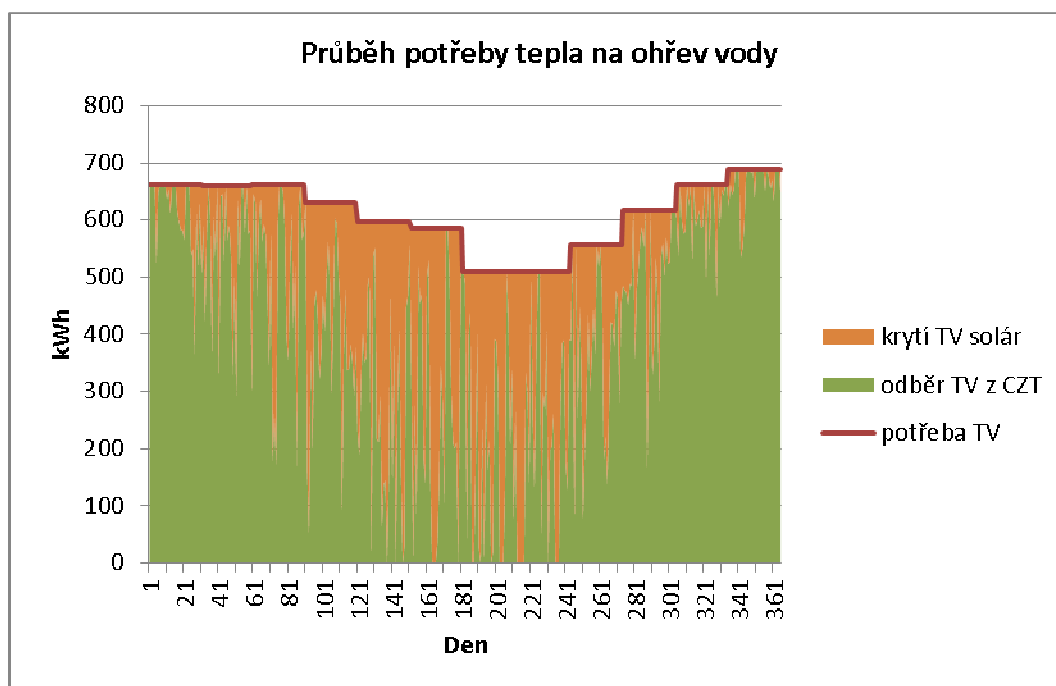
Takto ale vypadá průběh výroby tepla solárním systémem v idylickém případě, pokud jsou použity měsíční sumy. Ve skutečnosti je výroba mnohem méně pravidelná a liší se den ode dne. V následujícím grafu je vidět, jak se projeví reálná výroba tepla solárním systémem. Potřeba tepla je modelována podle měsíčních charakteristik odběru, výroby tepla jsou stanoveny jako denní úhrny postavené na podrobné kalkulaci reálných hodinových klimatických dat z roku 2005.



Obrázek 38: Výroba solárního systému - reálná klimatická data.

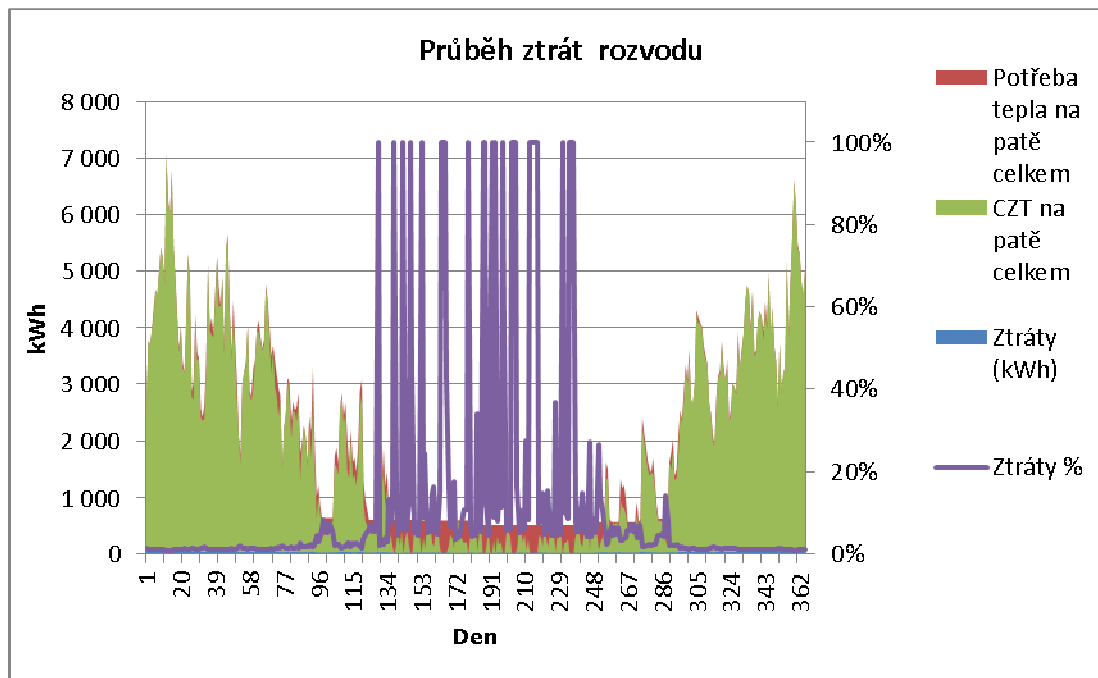
Při použití reálných dat v podrobnějším rozlišení se již začíná projevovat to, že solární systém není schopen (bez velmi rozsáhlého akumulčního systému) pokrýt potřebu teplé vody bez dalšího doplňkového zdroje.

Na dalším grafu je zřetelné, jak pracují oba zdroje. Jako doplňková řada se zde objevuje dodávka chybějícího tepla z CZT.



Obrázek 39: Součinnost solárního systému a CZT při ohřevu vody.

Kvůli nepředvídatelnosti výroby solárního systému je stále (i v létě) udržovat v pohotovosti přívod tepla z CZT. V situaci, kdy je několik dnů za sebou potřeba tepla kryta solárním systémem, jde veškeré teplo z potrubí do ztrát. Teplotu potrubí však nelze snížit, protože dodavatel tepla je povinen udržovat pohotovou zálohu i při nulovém odběru. Tato situace je pro provozovatele CZT velmi nevýhodná.



Obrázek 40: Ztráty v rozvodu při použití solárního systému.

Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo lze v panelovém domě použít pro ohřev vody a v případě nízkoenergetických a pasivních budov i pro vytápění. Použitelný je systém vzduch – voda, který nepotřebuje žádné zemní vrtů nebo kolektor, jejichž instalace je v husté zástavbě prakticky nemožná kvůli konfliktu s inženýrskými sítěmi. Teplo však lze bez problémů odebírat z okolního vzduchu. Lepších parametrů je možno dosáhnout při využití odpadního větracího vzduchu, který má vyšší teplotu než vzduch okolní.

Kvalitní tepelné čerpadlo poháněné elektrickým kompresorem vyrobí více než trojnásobek tepla oproti vlastní energetické spotřebě. S rostoucí teplotou vzduchu tento tzv. topný faktor narůstá. Naopak při poklesu teploty k bodu mrazu přestává tepelné čerpadlo efektivně pracovat, a proto musí být zálohováno dalším, bivalentním zdrojem. Topný faktor je závislý nejen na teplotě okolního vzduchu, ale i na požadované výstupní teplotě. Hranice rozumné výstupní teploty je u moderních tepelných čerpadel kolem 45 °C, pokud je požadována teplota vyšší, může být dosažena dalším, sériově zapojeným tepelným čerpadlem nebo jednodušeji dohřevem pomocí dalšího zdroje tepla. Na trhu jsou i čerpadla pracující s vyšší výstupní teplotou. Těm je třeba se vyhnout, protože tato vyšší teplota je dosažena za cenu nízkého topného faktoru. Výjimkou jsou tepelná čerpadla používající jako médium CO₂. Ty se však na českém trhu vyskytují málo a jejich cena je vysoká.

V celkové bilanci je nutno uvažovat průměrný roční topný faktor. Topný faktor tepelných čerpadel využívající geotermální energii z vrtů je obvykle vyšší než 4 a v příznivých případech dosahuje až

hodnoty 6. Naproti tomu například tepelná čerpadla ochlazující venkovní vzduch mají topný faktor obvykle nižší než 4, někdy dokonce jen 2.

Topný faktor se během roku mění. Závisí jednak na teplotě zdroje, což je významné právě u tepelných čerpadel, která ochlazují venkovní vzduch. Současně závisí i na výstupní teplotě vody z tepelného čerpadla. Čím je tento rozdíl vyšší (čím vyšší rozdíl teplotních hladin se musí "přečerpat"), tím je topný faktor horší.

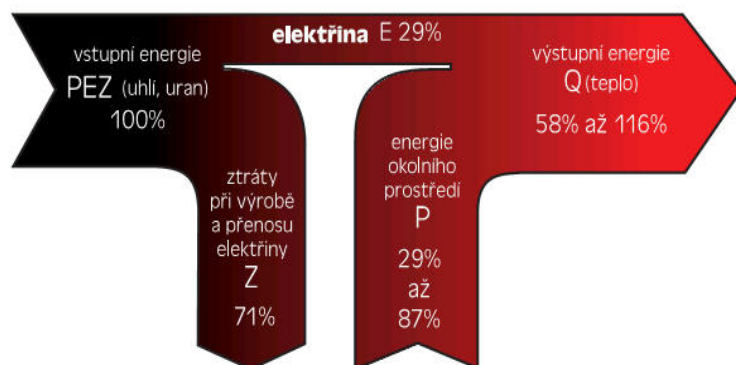
Pro výpočet existuje například nástroj volně dostupný na www.opzp.cz a popsáný v literatuře (Matuška & Krainer, 2011).

Schopnost tepelného čerpadla dodat více tepla než je jeho spotřeba elektřiny kompenzuje ztráty při výrobě a přenosu elektrické energie. Ta je totiž sice zdánlivě čistá, ale na výrobu jednotky elektřiny, kterou odebíráme ze zásuvky, se spotřebuje více než 3x větší množství energie v primárních zdrojích (uhlí, uran).

Topný faktor $\epsilon = Q/E$

Q = teplo dodané do vytápění [kWh]

E = energie pro pohon TČ [kWh]



Obrázek 41: Toky energií pro tepelné čerpadlo.

Topný faktor pro kompresorové TČ lze stanovit také z rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací. Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru kompresorového TČ:

$$\epsilon_T = k \cdot \frac{T_k}{T_k - T_0}$$

kde:

T_k je teplota kondenzační (topného systému) [K]

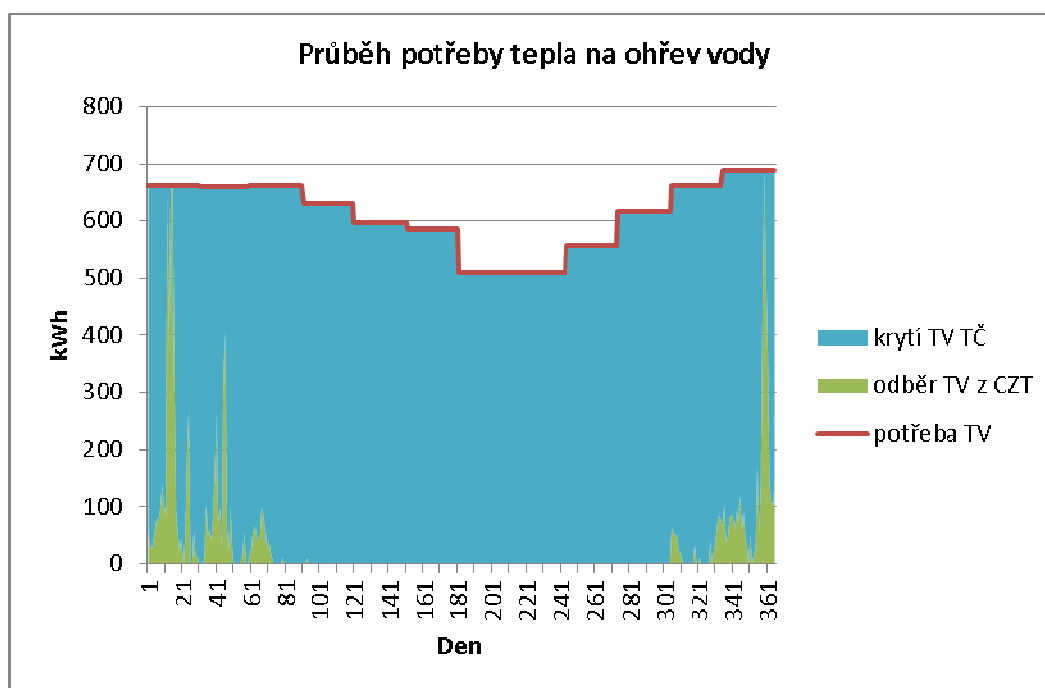
T_0 je teplota vypařovací (teplota zdroje) [K]

k je korekční součinitel respektující skutečný oběh; $k = (0,4 \div 0,6)$

Elektrické tepelné čerpadlo vzduch – voda pro menší, velmi dobře zateplený panelový dům, může být poměrně malé. Zařízení o příkonu 13 kW vystačí s elektrickou přípojkou dimenzovanou na 3x20A, což je poměrně dostupná hodnota.

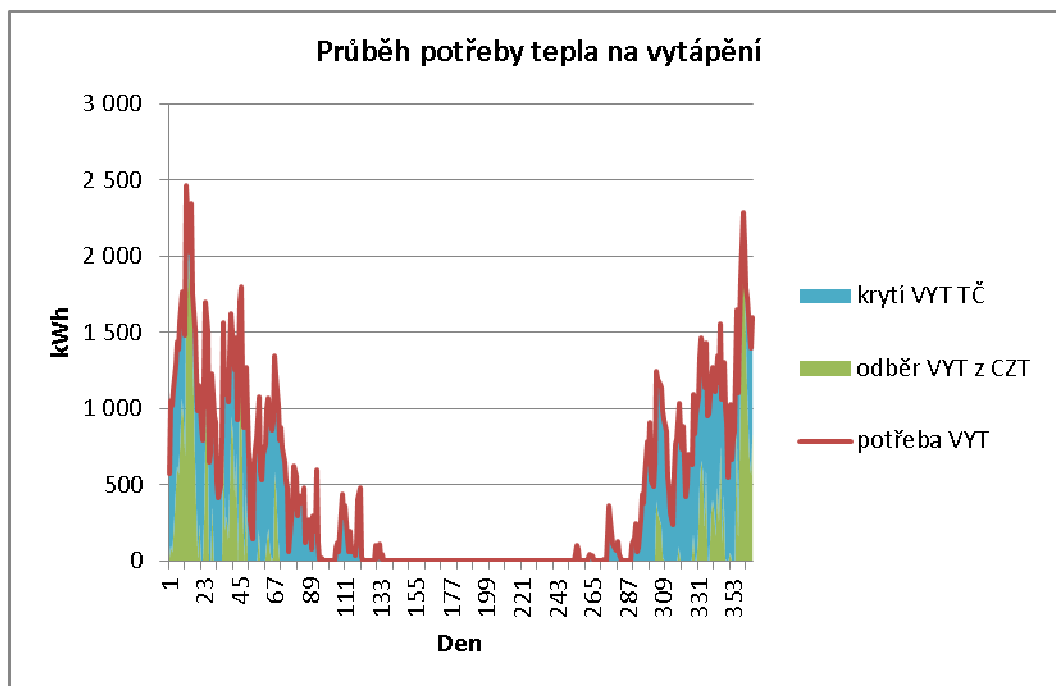
Kromě tepelných čerpadel poháněných elektřinou existují i plynová tepelná čerpadla, která pracují na absorpčním principu. Jejich topný faktor je mnohem nižší (kolem 1,2 – 1,4), což je ale vynahrazeno nízkou cenou plynu. Jejich výhodou je to, že nezpůsobují takový hluk a vibrace jako elektrická tepelná čerpadla, a to, že potřebují pouze přívod plynu, který je obvykle dostupnější než dostatečně dimenzovaná elektrická přípojka. Další výhodou je i to, že jejich topný faktor není tolik ovlivněn klesající teplotou vzduchu, takže efektivně pracují i v mrazech. V extrémních teplotách je jejich účinnost blízká účinnosti kondenzačních kotlů, z čehož vyplývá jasná strategie ekonomicky efektivního návrhu zapojení plynového tepelného čerpadla do kaskády s kondenzačním kotlem jako špičkovým zdrojem pro nízké teploty. Před všechny výhody jsou plynová tepelná čerpadla málo rozšířena; důvodem jsou jejich vysoké pořizovací náklady.⁴

Běžné elektrické tepelné čerpadlo vzduch – voda je schopno při vhodném návrhu během teplého období roku pokrýt celou potřebu tepla pro ohřev vody a u nízkoenergetických a pasivních domů je schopno dodat i velkou část tepla na vytápění.



Obrázek 42: Krytí potřeby tepla na ohřev vody tepelným čerpadlem a CZT.

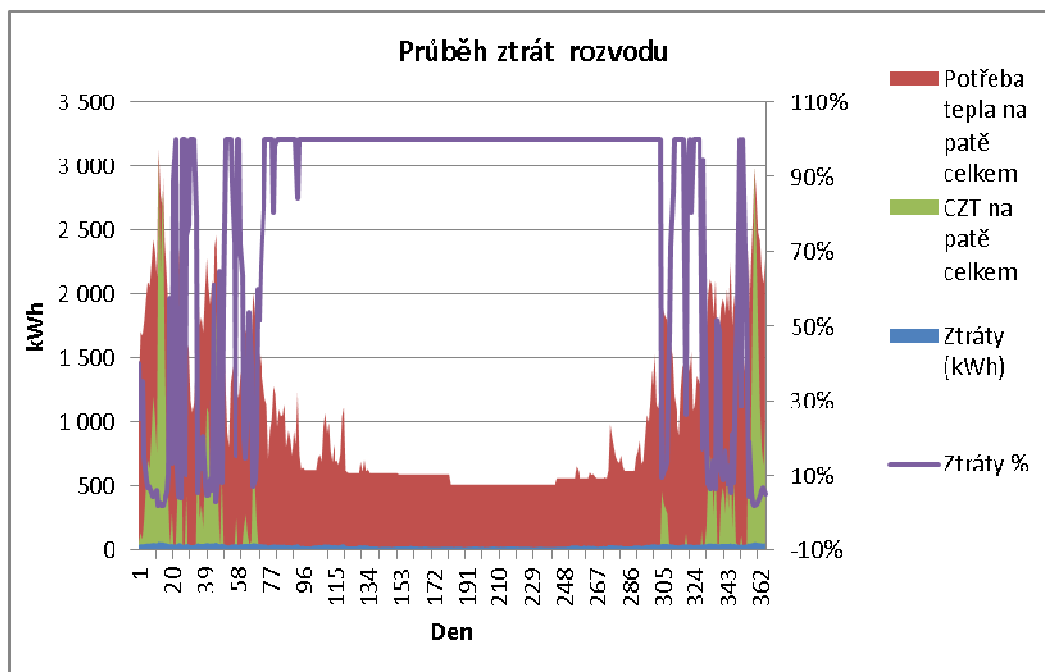
⁴ Existovala i tepelná čerpadla, kde kompresor byl namísto elektromotoru poháněn plynovým spalovacím motorem. Kvůli vysoké ceně se na trhu neprosadila. Dnes se podobný koncept používá hlavně v průmyslových aplikacích, tam kde je potřeba současně chlad i teplo, jako tzv. trigenerace.



Obrázek 43: Krytí potřeby tepla na vytápění nízkoenergetického panelového domu tepelným čerpadlem a CZT.

Z grafů je vidět jednak zcela značné snížení odběru tepla z CZT, ale i další faktor, který není až tak nápadný: většina tepla dodaného z CZT je dodávána v období s nejnižšími teplotami. V této době je vstupní cena pro výrobu tepla dodávaného do CZT významně vyšší než obvykle, protože je kryta špičkovými zdroji. Systém CZT během roku kryje základní potřebu tepla z levných zdrojů, jako jsou spalovny odpadu nebo elektrárny produkující odpadní teplo. V chladnějších obdobích se připojují další zdroje (spalující např. uhlí) a v extrémech se používají navíc ještě plynové zdroje tepla. Důvodem tohoto uspořádání je optimalizace investičních a provozních nákladů a vytížení maxima instalovaného výkonu. Není účelné stavět obrovský zdroj tepla na uhlí, pokud by jeho maximální výkon byl využit pouze několik desítek hodin v roce, ale je lepší vybudovat menší a doplnit jej investičně relativně velmi levnou plynovou kotelnou. Pokud by se masivně rozšířila tepelná čerpadla, vedlo by to k nižšímu využívání levných zdrojů tepla a naopak zvýšení podílu špičkových zdrojů v celkovém mixu.

Z pohledu CZT působí instalace tepelného čerpadla také relativní navýšení ztrát v rozvodech, protože se snižuje odběr. Ze systémového hlediska lze ale s tímto uspořádáním pracovat mnohem lépe než se solárním systémem, protože chování tepelného čerpadla je předpověditelné. Díky tomu lze najít určité optimalizační kroky.



Obrázek 44: Absolutní a relativní ztráty v rozvodu při použití tepelného čerpadla.

Z grafu ztrát je zřetelně vidět, že v některých obdobích jde celé množství tepla v rozvodu pouze na pokrytí ztrát.

Plynová kotelna

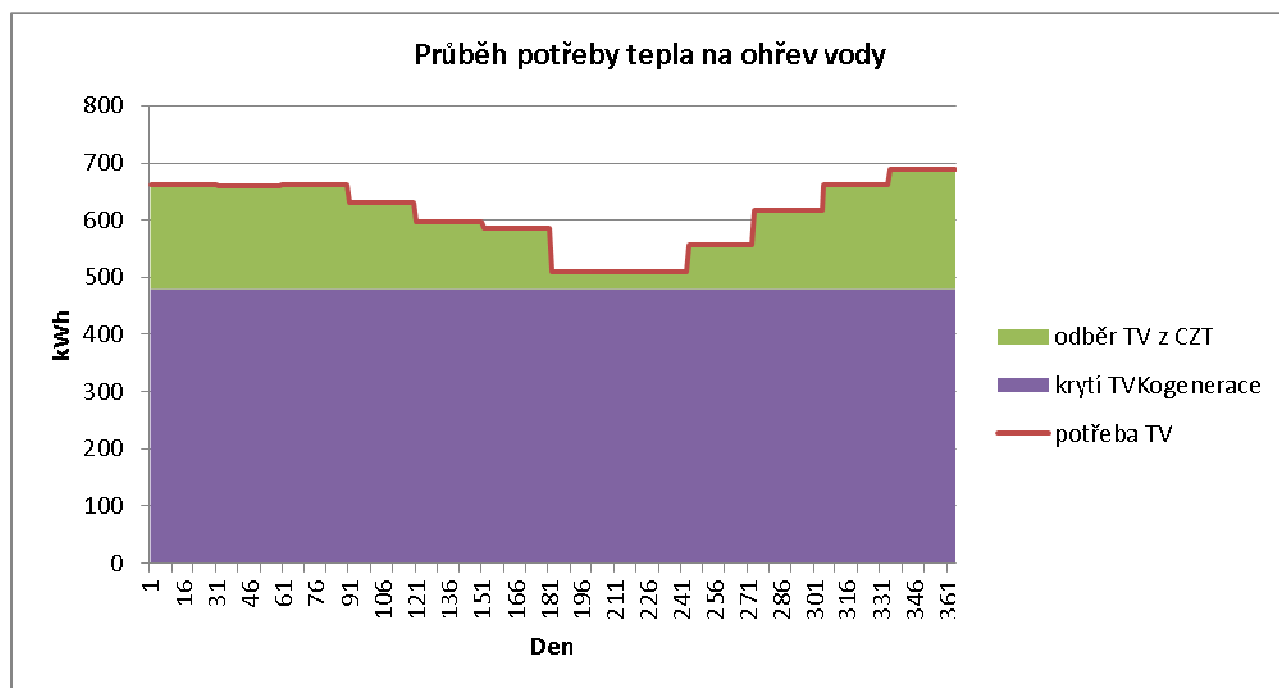
Kotelna s kaskádou kondenzačních kotlů na zemní plyn je nejvýhodnější alternativou k CZT v lokalitách s vysokou cenou tepla. Pro kotelnu je z technického hlediska potřeba pouze přívod zemního plynu, přívod spalovacího vzduchu a odvod spalin. Lze ji umístit jak v technickém podlaží (s odvodem spalin komínem na fasádě vyvedeným nad střechou), tak i na střeše, kde není nutno instalovat drahý komín. Kotelnu nelze instalovat v hustě osídlených oblastech s regulací lokálních zdrojů znečištění, tj. v intravilánech většiny větších měst. Kotelna bývá dimenzována na vytápění i ohřev vody a její instalace je v naprosté většině případů spojena s odpojením objektu od CZT. Při tomto kroku ale musí vlastník budovy uhradit provozovateli CZT náklady na odpojení, což je předem těžko odhadnutelná částka pohybující se kdesi mezi cenou prostého servisního zásahu a úhradou teoretického ušlého zisku za příštích dvacet let. Proto se tyto náklady předem těžko vyčíslují a jsou často předmětem sporů mezi vlastníkem budovy a dodavatelem tepla.

Kogenerační jednotka

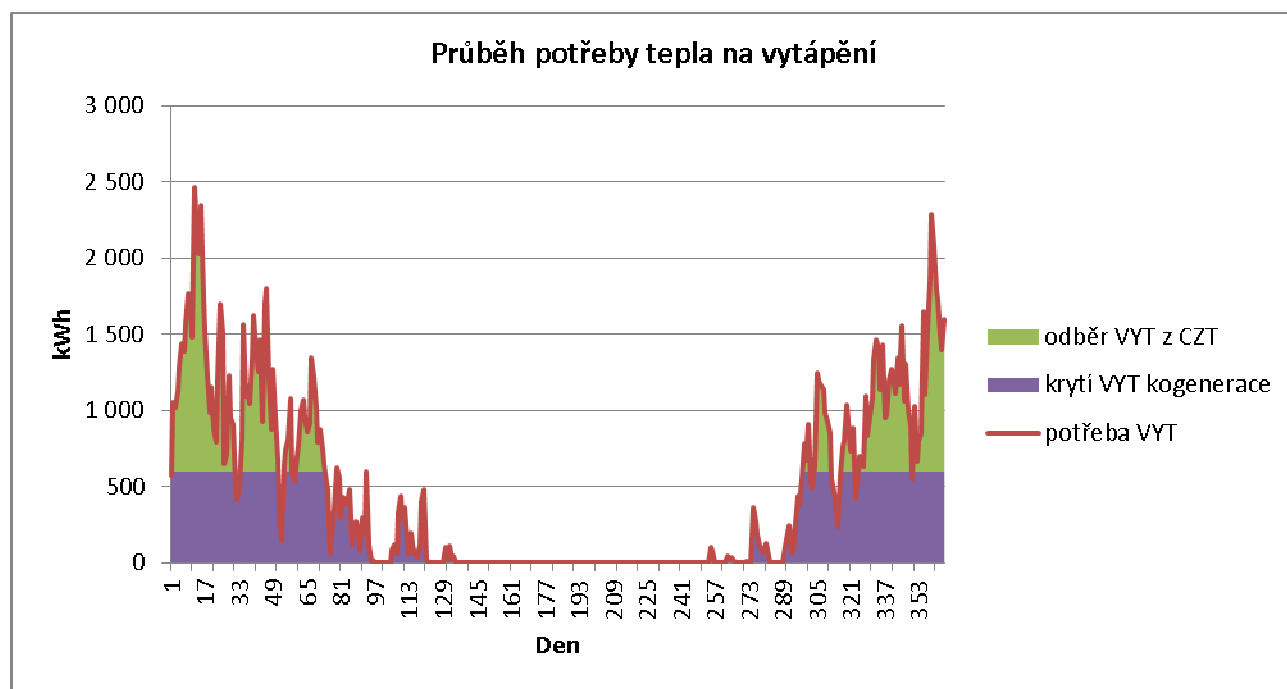
Kogenerační jednotka je obvykle spalovací motor na plyn, který pohání generátor vyrábějící elektřinu a produkované teplo předává teplotnosnému médiu. Tím se využije maximální množství energie obsažené v palivu, a to buď ve formě elektřiny, nebo ve formě tepla. Toto zařízení je atraktivní proto, že elektřinu lze prodávat do rozvodné sítě, čímž je „dotována“ cena vyrobeného tepla. Při započítání prodeje elektřiny je tak teplo vyrobené kogenerační jednotkou levnější než teplo vyrobené v plynové kotelně.

Aby měla kogenerační jednotka ekonomický smysl, je třeba ji dimenzovat na provoz během většiny roku a současně mít odbytu na vyrobené teplo, které ho je mnohem více než elektřiny. Proto se kogenerační jednotka uplatní spíše pro ohřev vody než pro vytápění.

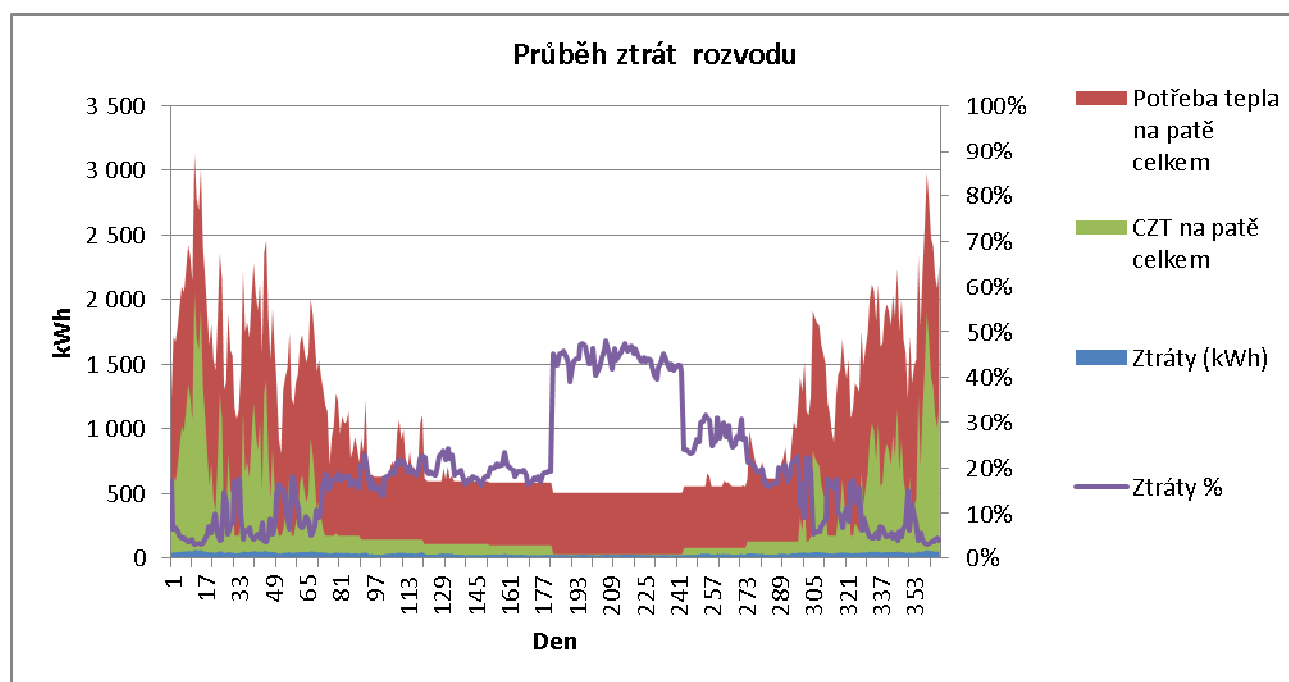
Z hlediska CZT se kogenerační jednotka z hlediska zimního provozu chová podobně jako snížení potřeby tepla po zateplení domu. Rozdíl je ale v letní sezóně, kdy se odběr tepla z CZT zcela nebo téměř zcela zastaví.



Obrázek 45: Krytí potřeby tepla pro ohřev vody kogenerační jednotkou a CZT.



Obrázek 46: Krytí potřeby tepla na vytápění kogenerační jednotkou a CZT.



Obrázek 47: Absolutní a relativní ztráty v rozvodu při využití kogenerační jednotky pro vytápění a ohřev vody (nízkoenergetická budova).

Ekonomická vsuvka zejména pro odpůrce dodavatelů tepla – proč ceny tepla stále rostou

Teplárenství jako byznys je běh na dlouhou trať. Výstavba infrastruktury je drahá a časově náročná. To samé platí i o její údržbě. Aby systémy fungovaly, je třeba se o ně neustále starat, udržovat a obnovovat je, a to bez ohledu na množství tepla, které systémem „proteče“. Tyto fixní náklady zahrnující odpisy, údržbu, revize atd. jsou v běžné cenové tvorbě reprezentovány jako stálá platba účtovaná za GJ dodaného tepla.

Druhá část ceny, označovaná jako primární cena, je skutečná čistá cena tepla, která zahrnuje palivové náklady, čerpací práci, ztráty, spotřebu vody, chemikálií, zkrátka vše, co je přímo spojeno s reálně vyrobeným množstvím tepla. Součtem obou složek vzniká výsledná cena za jednotku dodaného tepla.

Podle aktuálního ceníku Pražské teplárenské, a. s. je stálá cena 178 Kč/GJ a primární cena 263 Kč/GJ, což znamená, že přímé provozní náklady tvoří asi 60 % z účtované ceny 441 Kč/GJ.

Z logiky výše řečeného vyplývá, že pokud se sníží prodej tepla, je nutno navýšit stálou cenu o tolik, aby platby v této kategorii pokryly fixní náklady. Mírné navýšení čeká i primární cenu, protože se snížením prodeje tepla je spojena změna poměru prodaného tepla a systémových ztrát, které jsou v této složce započítány (a které zůstávají víceméně konstantní).

Vztah pro výpočet nové stálé platby je jednoduchý:

$$Q_{p1} * c_{f1} = Q_{p2} * c_{f2},$$

kde Q je množství prodaného tepla a c_f je fixní složka ceny.

Zachování této rovnice vede k zachování příjmů pokrývajících fixní náklady.

Vztah pro výpočet nové primární ceny musí zohlednit změnu poměru ztrát a prodaného tepla.

$$c_{p2} = c_{p1} * \frac{\frac{Q_{v2}}{Q_{p2}}}{\frac{Q_{v1}}{Q_{p1}}},$$

kde c_p je primární cena, Q_v je množství vyrobeného tepla a Q_p je množství prodaného tepla.

Praktický příklad:

Sídlíště deseti panelových objektů je vytápěno společným zdrojem tepla. Původní cena tepla je 600 Kč/GJ (2,16 Kč/kWh), rozděleno v poměru 59,6 % na primární cenu a 40,4 % stálou cenu.

Původní množství vyrobeného tepla je 8,359 GWh, ztráty tvoří 7,1 %, prodáno je 7,765 GWh.

Dva z deseti domů instalovaly plynové kotelny a odpojily se od CZT. Jaká bude nová cena tepla, aby uhradila fixní i variabilní náklady CZT?

Množství		
tepla	původní (kWh)	aktuální (kWh)
výroba tepla včetně ztrát	8 359 104	6 806 108
prodej tepla	7 764 979	6 211 983
Výroba / prodej	1,08	1,10

	původní tržby (Kč)	nové tržby (Kč)
stálá složka	6 769 794	6 769 794
primární složka	10 002 561	8 144 236
celkem	16 772 355	14 914 030

	Původní cena Kč/kWh	nová cena Kč/kWh
stálá složka	0,87	1,09
primární složka	1,29	1,31
Celkem	2,16	2,40

Stálá složka ceny vzrostla proto, že náklady na údržbu infrastruktury jsou nyní rozpočítávány na nižší množství prodaného tepla. Primární složka vzrostla také; a to proto, že je závislá na množství vyrobeného tepla a zahrnuje nejen teplo prodané, ale i ztráty v rozvodech CZT. Ty se po odpojení dvou budov změny jen málo, a proto je třeba tuto položku rozpočítat do ceny prodaného tepla novým způsobem.

Nová cena bude 667 Kč/GJ, tedy vyšší o 11,5 %.

Na tomto příkladu je vidět, že cena tepla může vzrůst, aniž by se změnila cena vstupů (nakupované energie, ceny údržby, paliv atd.), a že tento nárůst je zcela oprávněný. Jde pouze o nové rozdělení nákladů vzniklých při výrobě a distribuci tepla.

Každé úsporné opatření provedené u jednoho odběratele tak má dopad na všechny články systému a vede ke zvýšení ceny energie. Proto také nefungují zcela přesně ekonomické rozvahy vyčíslicí úspory provozních nákladů po provedení úsporných opatření. Ve velkých systémech je odchylka zanedbatelná, ale v případě malého sídliště o několika domech může mít úsporné opatření vliv na cenu tepla, resp. její zvýšení, takže provozní úspory budou po realizaci nižší než očekávané. Na druhou stranu – dosažení úspory v jednom domě vede ke zvýšení nákladů pro ostatní domy, které neprošly žádnou úpravou. To vše, aniž by na tom dodavatel tepla vydělal jedinou korunu navíc.

Vliv investic do úsporných opatření na růst cen tepla

Z předchozích kapitol se čtenáři již jistě začal tvářet obrázek vztahů mezi systémem CZT, který byl původně navržen jako jediný zdroj tepla, a novými vlastnostmi budov na straně spotřeby tepla, které vedou ke zvyšování ztrát a snižování odběru centrálně dodávaného tepla. Již je také zcela jasné, jakým způsobem vedou tyto nové vztahy ke zvyšování ceny tepla. Nyní se dostáváme k otázce, jak velký je skutečný dopad těchto faktorů.

Ve velkých komplexních tepelných sítích, jako je například pražská, dochází k vzájemné kompenzaci vlivů a doplňkovému působení jednotlivých zdrojů, takže bude trvat dlouho, než se změny na straně spotřeby tepla projeví zásadním způsobem. Ve velkých aglomeracích není také snadné instalovat lokální zdroje tepla, ať už kvůli místnímu zákazu instalace zdrojů znečištění, jako jsou plynové kotle, nebo kvůli nedostatečné kapacitě elektrorozvodné sítě pro instalaci tepelných čerpadel. Největší bariérou je koneckonců i faktická neschopnost společenství vlastníků dohodnout se na společném postupu a investičním rozhodnutí.

Zcela odlišná je situace v malých izolovaných systémech. Představme si malé město nebo obec se skupinou panelových domů, které jsou pod vlivem jednoho subjektu nebo alespoň společného názoru a jsou zásobovány z jednoho lokálního tepelného zdroje. Díky poloze v otevřené krajině si investoři – majitelé domů nemusejí lámat hlavu s lokálním zdrojem znečištění nebo s estetickým působením solárního systému v rámci zástavby.

Typickým příkladem je pražské sídliště Rohožník, které je situováno na východním okraji aglomerace. Sídliště je tvořeno všehovšudy necelými čtyřiceti budovami: nákupním centrem, školkou, obecním úřadem a asi pětatřiceti bytovými domy. Celé sídliště je zásobováno teplem z lokálního zdroje prostřednictvím CZT.

Rohožník je zcela izolovaná lokalita, alespoň z hlediska Pražské teplárenské, a. s., která je dodavatelem tepla. Na severu a východě k ní přiléhá zástavba rodinných domů, na jihu a východě pole a les.



Obrázek 48: Letecký pohled na sídliště Rohožník. (Zdroj: Mapy Apple).

V nedávné minulosti byly téměř všechny obytné domy zateplený. Jejich obyvatelům klesly náklady na vytápění a k žádným cenovým šokům nedošlo. Jak je to možné?

Kdyby dodavatel tepla promítl reálné náklady do lokální ceny tepla, nastalo by velké pozdvižení, které by patrně vedlo k odpojování jednotlivých odběratelů od CZT a následně zhroucení celého systému.

Rohožník je však součástí teritoria Pražské teplárenské a je zahrnut do celého pražského systému. Proto pro tuto lokalitu dodavatel tepla kalkuluje cenu „smíchanou“ z velkého okolí, takže se vliv místních opatření neprojevil. Cena tepla je tak v podstatě dotována oblastmi napojenými na mělnický přivaděč, který je naopak masivním a velmi levným zdrojem. Toto strategické a podnikatelsky velmi rozumné rozhodnutí silného dodavatele tepla zabránilo ztrátě odběratelů a postupně celé lokality.

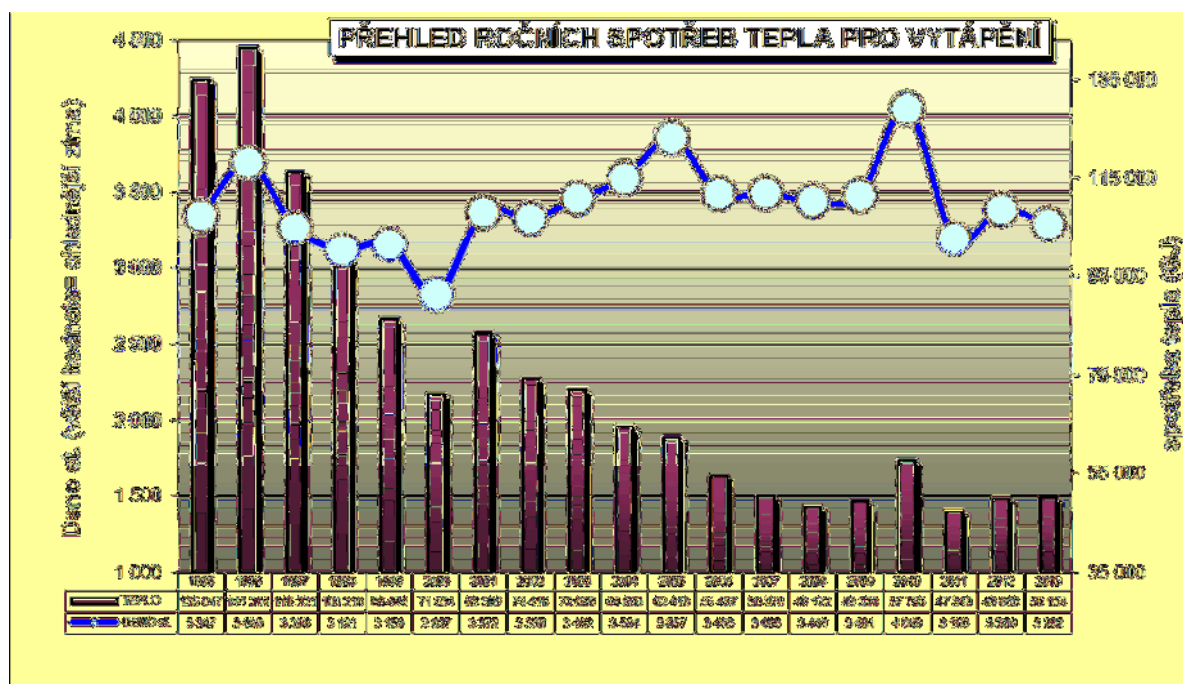
Jinde však takový robustní systém není k dispozici. Příkladem je město Orlová, jehož zástavba se skládá téměř výlučně z panelových budov napojených na CZT.



Obrázek 49: Orlová. Autor fotografie: (Chrochnik).

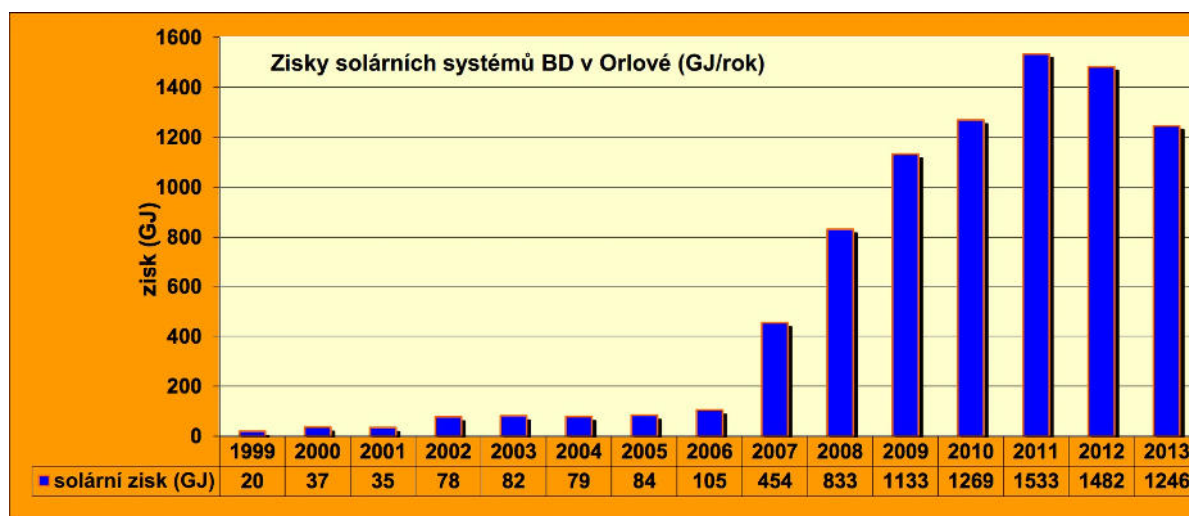
Městskému bytovému fondu „vládne“ Bytové Družstvo Orlová, které vlastní a spravuje většinu budov v obci. Od roku 1997 začalo BD Orlová s velmi masivní a precizní revitalizací budov. Domy prošly skutečně ukázkovou rekonstrukcí, byly opraveny vchody, výtahy, bytová jádra. Z našeho pohledu má ale význam zateplení budov a instalace solárních systémů. Orlová se stala příkladem dobré praxe prezentovaným na mnoha odborných setkáních. Rekonstrukce povýšily užité vlastnosti domů na úroveň nově stavěných a snížily spotřebu energií a náklady na bydlení.

Následující grafy jsou převzaty z webových prezentací BD Orlová bez další úpravy.



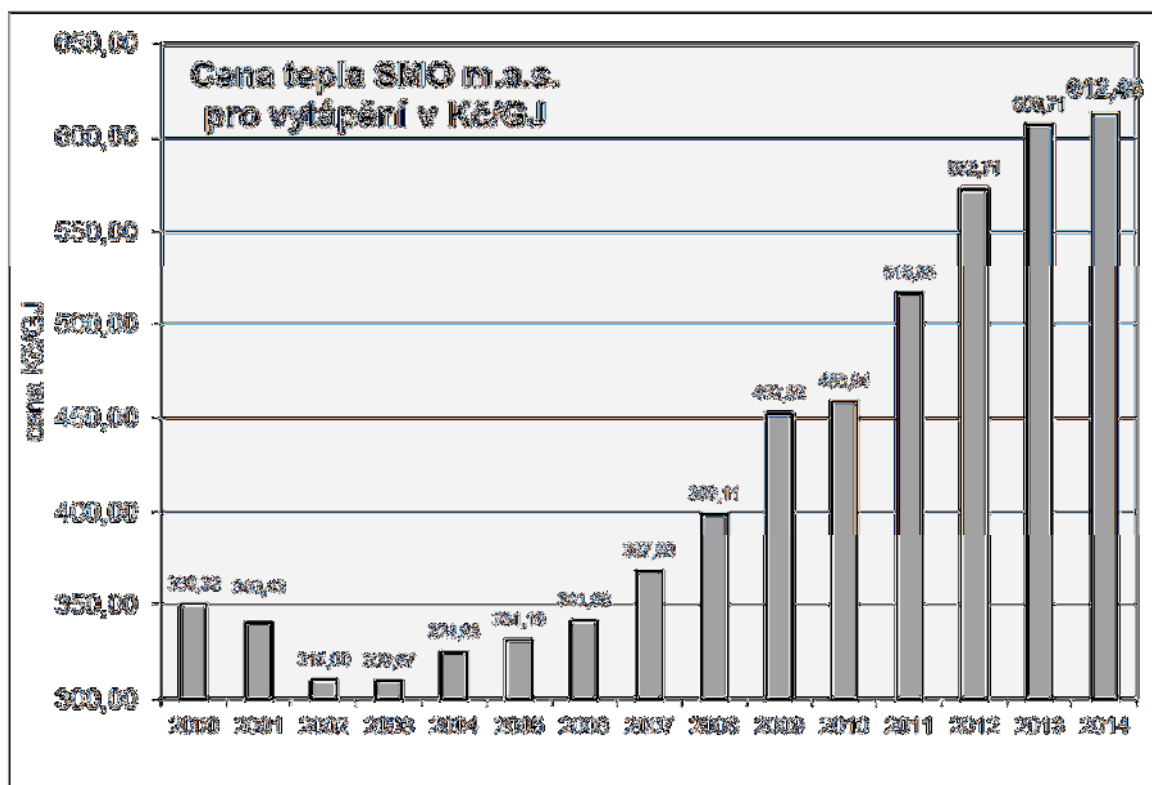
Obrázek 50: Pokles spotřeb tepla na vytápění domů v Orlové. (BD Orlová).

Rekonstrukce plášťů budov byly prováděny postupně, ale od roku 2006 je vidět finální stav. Od roku 2007 lze pak pozorovat rozšíření instalací solárních termických systémů.

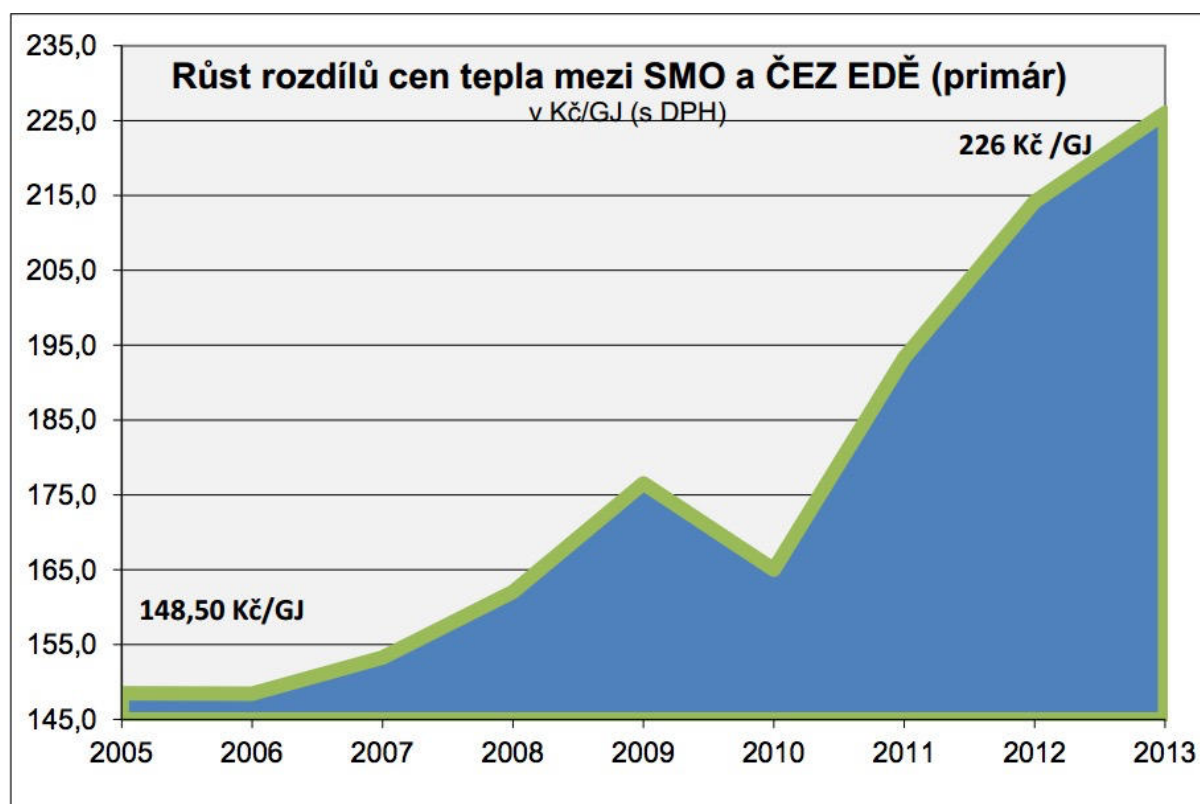


Obrázek 51: Příjmy solárních systémů v Orlové. (BD Orlová).

Bytové družstvo i místní obyvatelé však byli zklamáni tím, že se nedostavily očekávané poklesy provozních nákladů. Vinu svalovali na dodavatele tepla a vyčítali mu neoprávněné marže na prodeji. Bytové družstvo argumentuje grafy ukazujícími nárůst ceny, nárůst ceny pro koncové uživatele oproti nákupní ceně tepla z primárního zdroje a porovnání cen v Orlové a okolních městech. Cena tepla v Orlové však podléhá regulaci ERÚ a dodavatel tedy musel zdůvodnit své náklady a míru zisku.



Obrázek 52: Nárůst ceny tepla v Orlové. (BD Orlová)

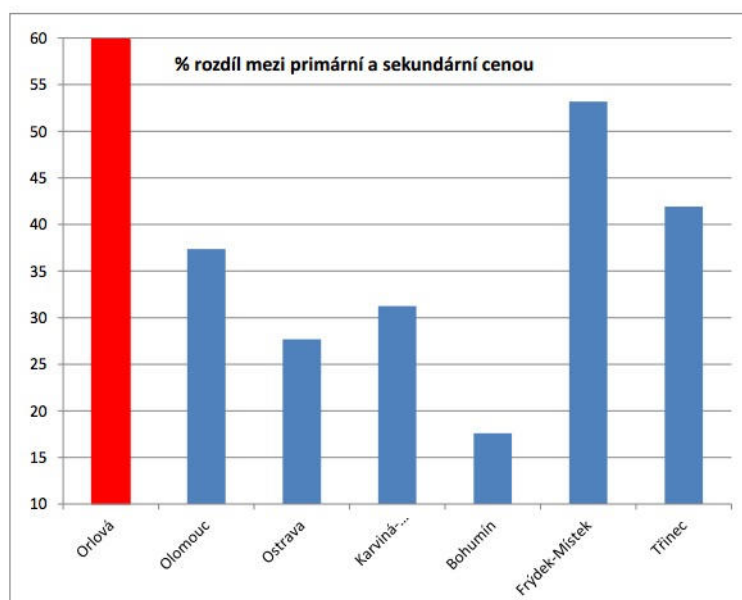


Obrázek 53: Rozdíly ceny tepla mezi nákupem od zdroje a prodejem koncovému odběrateli. (BD Orlová)

Výsledné ceny tepelné energie v ČR - 2012

Údaje za rok 2012 z ERÚ. (ceny Kč/GJ s DPH) www.eru.cz

město	dodávky z primárního rozvodu	dodávky ze sekundárních rozvodů	rozdíl	% z primární ceny
Orlová	358,26	572,71	214,45	60
Olomouc	374,22	514,05	139,83	37
Ostrava	424,41	541,92	117,51	28
Karviná-Haviřov	392,51	515,13	122,62	31
Bohumín	417,17	490,59	73,42	18
Frydek-Místek	369,00	565,23	196,23	53
Třinec	261,05	370,50	109,45	42



Obrázek 54: Porovnání cen tepla v Orlové a okolních lokalitách. (BD Orlová)

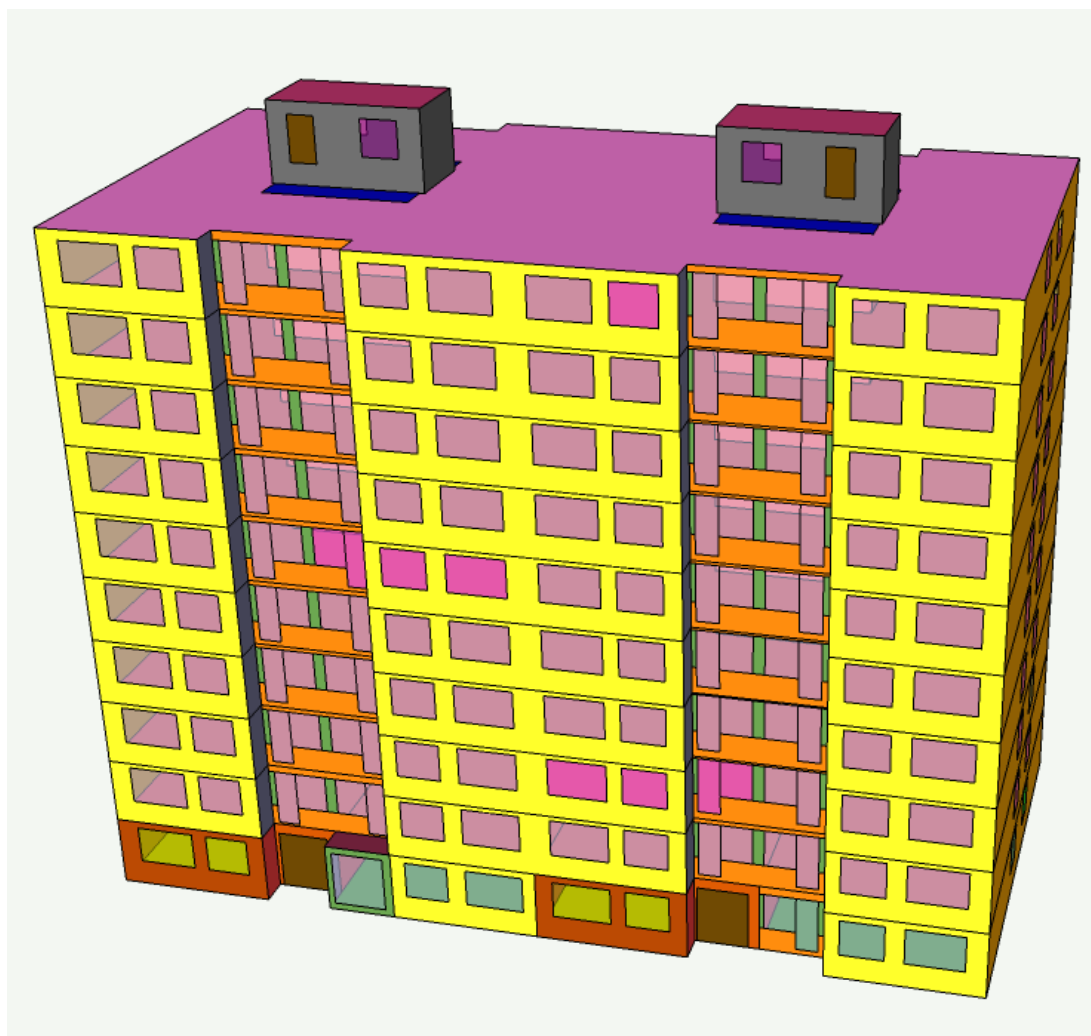
Jak je vidět, existuje jasná závislost mezi průběhem investic do úsporných opatření a nárůstem ceny tepla, a to včetně rozdílu mezi nákupní cenou tepla na vstupu do CZT a jeho koncovou cenou. I přes vyostřenou rétoriku BD vůči dodavateli tepla je nutno předpokládat, že zisk dodavatele tepla nepřekračuje obvyklou míru, protože cena tepla je kontrolována a regulována ERÚ.

Malé systémy CZT a jejich zranitelnost

Jak významný může být vliv úsporných opatření na cenu energií? Půjde o zvýšení o procenta? O desítky procent? O stovky procent? Pro získání odpovědi na tuto otázku byl sestaven model malé obce se systémem CZT. Model je poměrně variabilní a umožňuje modelovat různé situace – různé stupně změny energetické náročnosti budov, nasazení solárních systémů, instalaci tepelných čerpadel, kogeneračních jednotek a lokálních plynových kotlen. Na straně CZT je možno měnit parametry rozvodu z hlediska dimenze, proudění média, izolace rozvodu, délky větví a samozřejmě i teploty média. Model umožňuje zohlednit ekvitermní regulaci teploty média během roku.

Technický popis modelu budovy

Pro účel vyhodnocení potřeby tepla na vytápění byl použit panelový dům střední velikosti – se dvěma vchody, o devíti obytných podlažích a jednom technickém podlaží. Tomuto objektu byly přiřazeny vlastnosti konstrukcí odpovídající budově ze sedmdesátých let. Výpočet energetické náročnosti budovy byl proveden v software Energie (Tepelná technika, Svoboda Software), což je nejčastěji používaný software pro výpočty energetické náročnosti budov a zpracování energetických průkazů.



Obrázek 55: Modelová budova.

Energie však počítá s měsíční bilancí, což je pro podrobnější posouzení nedostatečné.⁵ Proto byly klíčové parametry měsíčního výpočtu podle norem, které používá Energie, extrapolovány do denních hodnot na základě klimatické databáze obsahující podrobná data o teplotách, slunečním záření a dalších reálných klimatických datech konkrétní lokality z roku 2005. Tím byly získány hodnoty energetické náročnosti budovy pro každý den v roce.

Výpočet byl proveden variantně pro stávající stav budovy, pro zateplení do nízkoenergetického standardu, které odpovídá současným požadavkům na tepelnou ochranu budov a pro možnost pasivní rekonstrukce, což zahrnuje ještě větší míru dodatečných tepelných izolací a instalaci mechanického větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu. Rozptyl energetické náročnosti jednotlivých variant není příliš extrémní – v původním stavu by měla budova měrnou potřebu energie na vytápění 85 kWh/m².rok, v nízkoenergetické 26 a v pasivní 10 kWh/m².rok, což jsou pro podobnou budovu s velkým objemem a kompaktním tvarem hodnoty dosažitelné.

⁵ Samozřejmě je možno použít některý ze simulačních softwarů, které počítají energetiku budovy na základě fyzikálních vztahů v hodinovém kroku, ale u těchto nástrojů je problém se stanovením základního nastavení. Velmi dobře slouží k porovnání variant, ale absolutní hodnoty mohou být vzdáleny od reality.

U potřeby tepla na přípravu teplé vody byly použity běžné hodnoty popsané v předchozích kapitolách.

Pro případně instalované lokální zdroje energie byly navrženy optimalizované varianty pro danou budovu.

U solárního systému pro přípravu teplé vody byla předpokládána instalace vakuových trubicových kolektorů s aperturou odpovídající cca 10 % plochy střechy, což by umožnilo minimální přebytky energie v letní špičce výroby. Výpočet výroby tepla byl proveden na základě klimatické databáze v hodinovém kroku. U solárního systému se předpokládala přítomnost akumulární nádrže s kapacitou pro cca denní potřebu.

Tepelné čerpadlo bylo navrženo zvlášť pro samostatný ohřev vody a samostatně pro vytápění v případě nízkoenergetické a pasivní varianty. V případech dotace vytápění se předpokládalo, že dům zůstane připojen na CZT, což by umožnilo maximálně ekonomický provoz tepelného čerpadla s tím, že v chladnějších obdobích by CZT sloužilo jako bivalentní zdroj tepla. Provoz tepelného čerpadla byl hodnocen s pohyblivým topným faktorem vypočítaným opět v hodinovém kroku podle klimatické databáze. Výkon tepelného čerpadla byl samozřejmě přizpůsoben zvolenému energetickému standardu budovy.

Kogenerační jednotka byla také navržena variantně pro přípravu teplé vody a pro vytápění, ale její bilance byla oproti tepelnému čerpadlu poměrně jednoduchá – konstantní výkon na úrovni minimální potřeby tepla na přípravu TV pro ohřev vody a optimalizovaný výkon pro dosažení maximálního využití instalovaného výkonu pro vytápění. Stejně jako u tepelného čerpadla byl opět výkon zdroje přizpůsoben zvolenému energetickému standardu budovy.

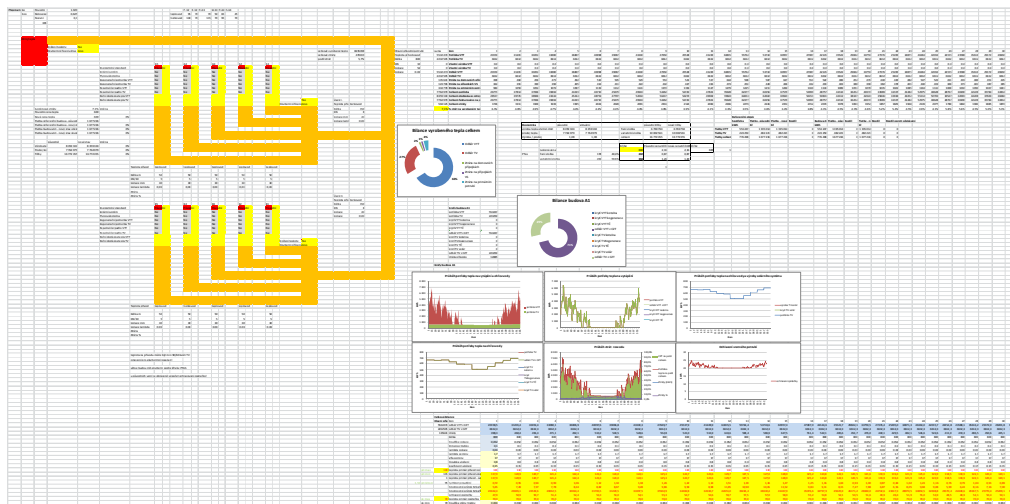
U plynové kotelny se předpokládalo odpojení budovy od CZT.

Budova umožňuje přepínání energetického standardu mezi původním stavem, běžnou rekonstrukcí podle dnešních požadavků a rekonstrukcí do pasivního standardu. Dále je možno zvolit lokálně instalované zdroje tepla v libovolné kombinaci výše uvedených.

V případě kombinace současného provozu více lokálních zdrojů má přednost zdroj s levnějším provozem: první se uplatňuje solární systém, pokud nedostačuje jeho okamžitý výkon, zapojuje se tepelné čerpadlo a následovně kogenerační jednotka. Pokud nedostačuje výkon lokálních systémů, doplňuje s dodávka energie z CZT.

Technický popis systému CZT

Budova popsaná výše byla následně replikována do deseti samostatných budov umístěných na dvou podružných větvích CZT a připojených domovními přípojkami. (Deset budov umožňuje pohodlné hodnocení pro libovolně velký soubor budov v kroku 10% změny). Ke spojení dvou podružných větví pak vede primární přívod CZT od zdroje. Parametry každé části rozvodu je možno měnit samostatně.



Obrázek 56: Pracovní rozhraní simulačního nástroje.

Toto uspořádání umožňuje modelovat většinu případů, které mohou nastat:

- Primární přívod má parametry horkovodu, u rozvětvení je předávací stanice, podružné větve jsou teplovodní s ekvitermní regulací a domovní přípojky mají minimální délku,
- primární přívod a podružné větve mají parametry horkovodu, dále jsou dvě předávací stanice, domovní přípojky jsou teplovodní a mají větší délku,
- předávací stanice je umístěna v první budově na dané větvi,
- celý systém je horkovodní a každá budova je napojena samostatně na primární přívod (nastavena minimální délka podružných větví,
- atd....

Jak v případě horkovodního, tak i teplovodního systému je možno „zapínat“ i „vypínat“ ekvitermní regulaci. Výpočet respektuje to, že v případě zateplení domu byla provedena úprava umožňující zachování požadovaného teplotního spádu mezi přívodem a vratným potrubím, tj. změnil se průtok média na patě objektu. V opačném případě by zůstal průtok stejný jako v původním stavu, vratné potrubí by mělo vysokou teplotu a ztráty by dále rostly.

V možnostech výpočtu je i předpoklad zachování vzájemných proporcí objemových toků v jednotlivých částech systému, i když to z hlediska tepelných ztrát systému není nezbytně nutné.

Dimenze potrubí jsou navrženy tak, aby odpovídaly původnímu stavu souboru budov a současně parametrům média. Kritickým parametrem je dodržení návrhové rychlosti proudění média v rozmezí 0,7 – 2 m/s.

Izolace potrubí jsou navrženy o málo horší, než jsou izolace nového předizolovaného potrubí podle katalogů předních výrobců (např. vodivost izolantu 0,030 namísto 0,026).

Co model zanedbává:

- Není uvažována čerpací práce, resp. její změna. Model se věnuje pouze bilanci tepla.
- Z hlediska zjednodušení výpočtu se uvažuje pouze s horkovodním a teplovodním rozvodem, model nepočítá variantu parního rozvodu.
- Tepelné ztráty rozvodu jsou počítány pouze pro variantu předizolovaného potrubí uloženého v zemi. Nejsou řešeny nadzemní rozvody ani kanálově uložená potrubí. Z hlediska bilance by to nepřineslo žádný efekt, pakliže se nebudeme zajímat o rekonstrukci celého systému CZT. Stejného vlivu lze dosáhnout změnou izolace rozvodu.
- Uvažován je dvoutrubkový rozvod společný pro vytápění a ohřev vody.
- Ekvitermní křivky byly stanoveny pro horkovod podobně jako u Pražské teplárenské, tj. v rozsahu 130 / 70 °C pro venkovní teplotu -12 °C až 115 / 70 °C pro +13 °C a 95 / 70 °C pro letní provoz. U teplovodního systému byly navrženy teploty v rozsahu 95 / 70 °C, 70 / 50 °C a 65 / 45 °C pro analogické podmínky. Parametry pro mezilehlé teploty jsou interpolovány mezi -12 až +13 °C (topná sezóna).
- Nejsou uvažovány náklady na provoz lokálně instalovaných zdrojů ani případné příjmy z prodeje elektřiny v případě kogenerace. Tento pohled není pro danou úlohu potřebný.

Popis výpočtu změny ceny tepla

Model separuje zvolenou změnu tepla podle zadaného klíče odpovídajícího ceníku Pražské teplárenské, a.s. na stálou složku a primární složku ceny. V případě změny celkového využití CZT a změny výroby a prodeje tepla je stálá složka přepočítána tak, aby náklady na údržbu infrastruktury zůstaly pokryty, a primární složka je přepočítána tak, aby se zohlednila změna výše ztrát v systému. Tato kalkulace odpovídá popisu uvedenému v předchozích kapitolách.

Změna ceny tepla se promítá do několika úhlů pohledu:

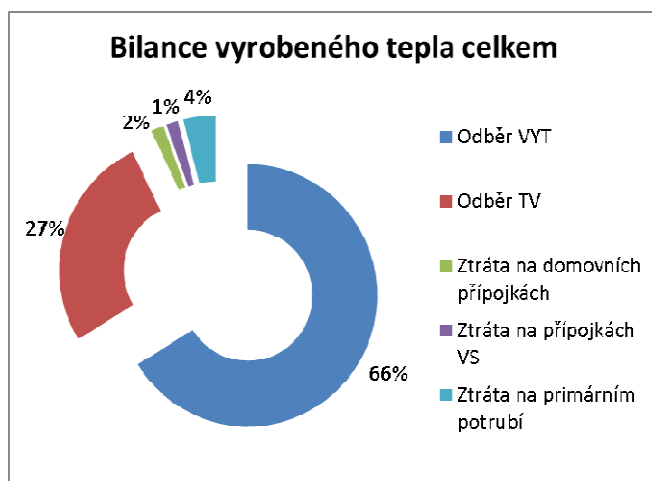
- absolutní změna ceny tepla,
- rozdíl mezi očekávanými platbami za teplo po investici do úsporných opatření a skutečnými platbami při zohlednění nárůstu ceny tepla,
- nová výše platby za teplo pro referenční objekt, ve kterém žádné opatření realizováno nebylo.

Výsledky modelu

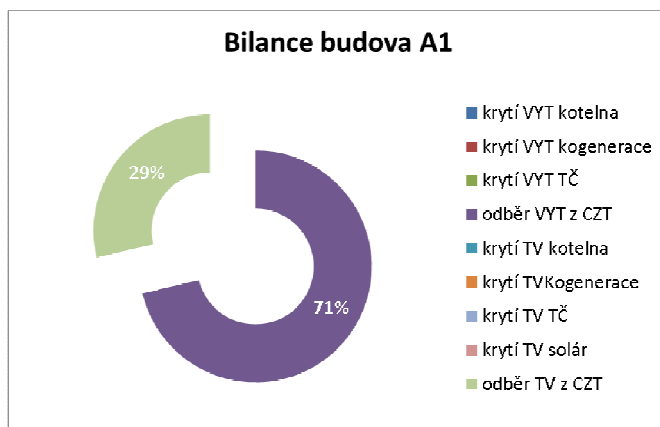
Následující výsledky byly získány při následujícím nastavení modelu:

- Na začátku jsou všechny budovy v původním stavu.
- Hlavní přívod je 800 m dlouhý horkovod, DN 100, izolace 52 mm s $\lambda = 0,030$.
- Podružné přívody jsou také horkovodní, každý o délce 150 m, DN 80, izolace 43 mm.
- Domovní přípojky jsou teplovodní, každá o délce 50 m, DN 50, izolace 30 mm.
- Všechny rozvody jsou vybaveny ekvitermní regulací.
- Celkové ztráty v systému jsou 7,1 %.
- Výchozí cena tepla je 500 Kč / GJ.

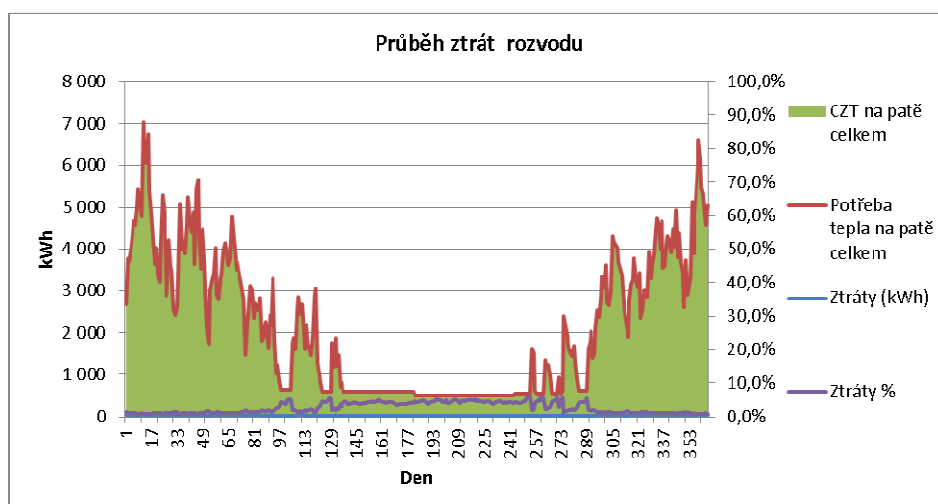
Výsledné tabulky zahrnují pouze náklady spojené s dodávkou tepla z CZT. Nejsou vyčísleny náklady na provoz lokálně instalovaných zdrojů.



Obrázek 57: Bilance systému CZT pro výchozí stav.



Obrázek 58: Bilance budovy A1 - výchozí stav.



Obrázek 59: Odběr tepla z CZT - budova A1, výchozí stav.

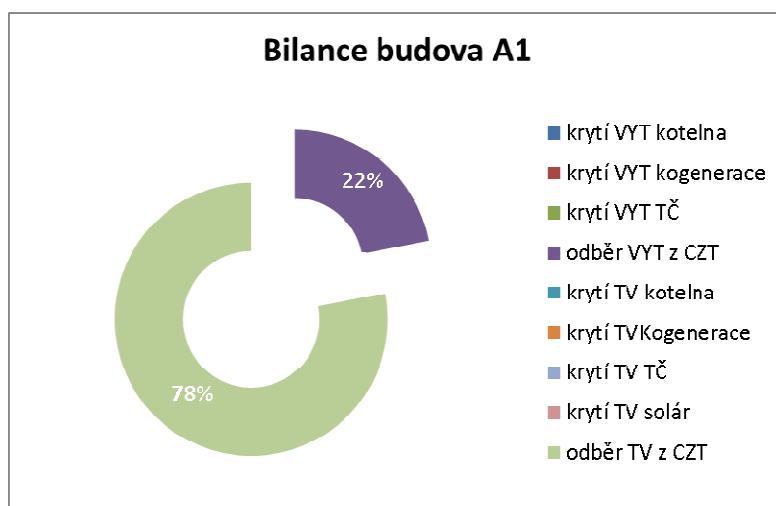
Ztráty v rozvodu zobrazené v bilanci se vztahují pouze k domovní přípojce, nikoli k celému systému.

Izolovaná opatření

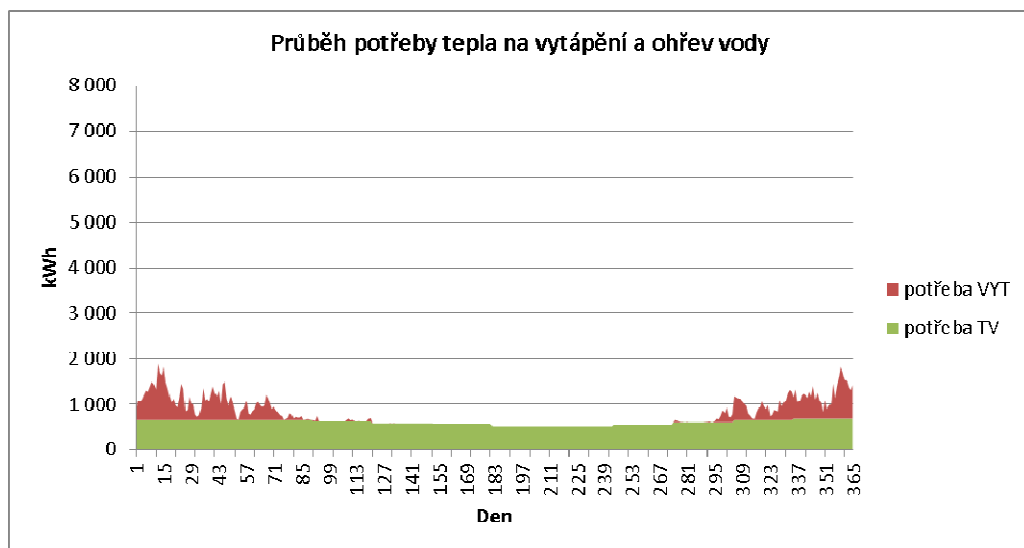
Rekonstrukce objektů do pasivního standardu

Prvním modelovaným úsporným opatřením byla pasivní rekonstrukce.

Po rekonstrukci se bilance sledované budovy silně mění. Potřeba tepla se snižuje a zkracuje se i délka topného období. Relativní poměr potřeby tepla na vytápění a na ohřev vody se obrací.



Obrázek 60: Bilance budovy A1 po pasivní rekonstrukci.



Obrázek 61: Změna průběhu odběru tepla objektu A1 z CZT po pasivní rekonstrukci.

V modelu se změnilo 10 % budov a již takto malá změna má dopad na ekonomiku systému a cenu tepla:

Systémové ztráty	7,6%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	515 Kč/GJ	3%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	1 439 721 Kč	3%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	514 974 Kč	-63%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	530 458 Kč	-62%

Tabulka 4: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 10 % budov do pasivního standardu.

V případě rekonstrukce 50 % budov se situace změní více. Ztráty v rozvodech narostou na 10 % a to se projeví v ekonomice.

Systémové ztráty	10,1%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	603 Kč/GJ	21%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	1 685 401 Kč	21%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	514 974 Kč	-63%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	620 977 Kč	-56%

Tabulka 5: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 50 % budov do pasivního standardu.

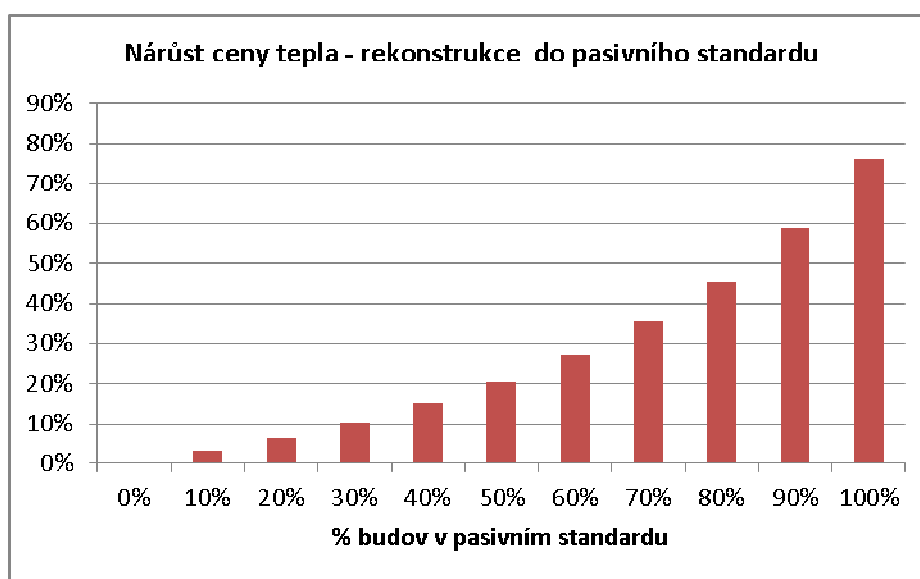
Lze si samozřejmě představit situaci, kdy budou rekonstruovány všechny budovy.

Systémové ztráty	17,2%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	

Nová cena tepla	882 Kč/GJ	76%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	2 466 262 Kč	76%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	514 974 Kč	-63%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	908 682 Kč	-35%

Tabulka 6: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 100 % budov do pasivního standardu.

V tomto případě by cena tepla vzrostla o 76 %. Pokud by v pomyslném souboru budov zůstala jediná budova v původním stavu, zvýšily by se její provozní náklady o více než milion korun ročně. Zvýšení nákladů by postihlo i rekonstruované budovy. V případě, že by finanční rozvaha počítala se splácením investice pomocí úspory nákladů ve výši 63 % původních nákladů, mohli by se vlastníci budov dostat do nemilé situace, kdy by jim v každoročním rozpočtu chybělo téměř 400 tis. Kč.

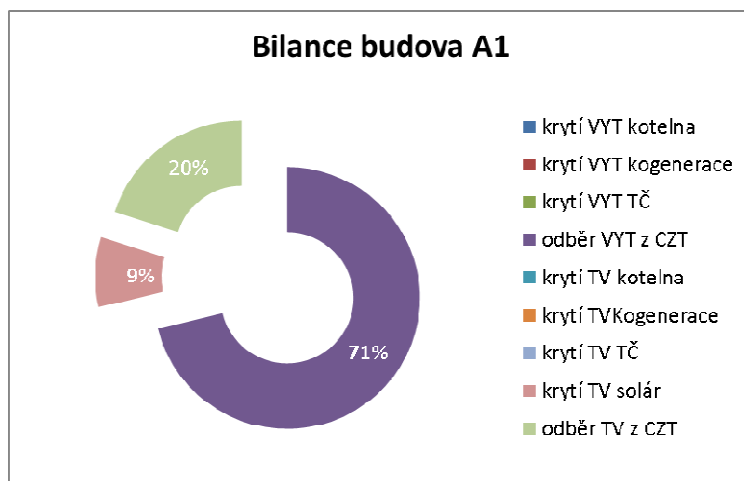


Obrázek 62: Nárůst ceny tepla po rekonstrukci do pasivního standardu.

Je třeba si povšimnout toho, že vliv prvních rekonstrukcí je poměrně malý. S rostoucím podílem rekonstruovaných domů cena tepla více a více roste. Závislost není lineární, ale exponenciální. Lze předpokládat, že pokud by tato situace nastala ve skutečnosti, bude se také zvyšovat motivace vlastníků nezrekonstruovaných objektů pro toto opatření, protože s každým nově zrekonstruovaným domem budou narůstat exponenciálně i jejich náklady.

Solární systém pro přípravu teplé vody

V bilanci domu ušetří solární systém asi 9 % nakupovaného tepla. Na celkovou bilanci má tedy samozřejmě menší dopad než pasivní rekonstrukce. Přesto se ale při větším rozšíření toto opatření mírně projeví.



Obrázek 63: Výroba solárního systému v bilanci budovy.

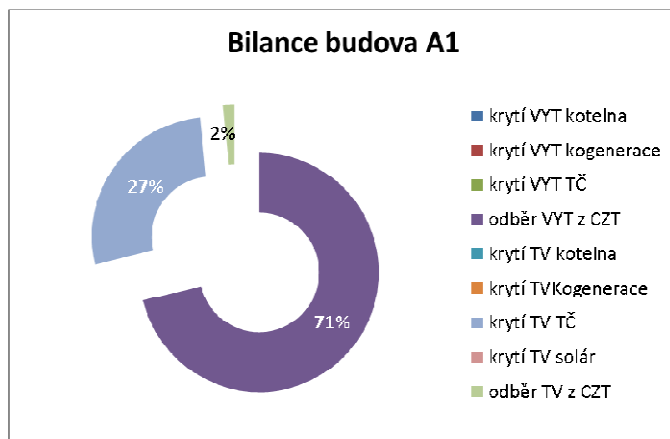
Pokud by byly všechny budovy vybaveny solárními systémy, vedlo by to ke zvýšení ceny tepla asi o 4 %, což není žádná katastrofa. Neblaze by se to ale projevilo na finanční rozvaze investičního záměru, protože úspory by byly oproti očekávání jen asi poloviční.

Systémové ztráty	7,7%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	521 Kč/GJ	4%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	1 456 434 Kč	4%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	1 277 341 Kč	-9%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	1 331 021 Kč	-5%

Tabulka 7: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov solárními termickými systémy.

Tepelné čerpadlo pro přípravu teplé vody

Větší dopad by mělo rozšíření tepelných čerpadel na ohřev vody, která by prakticky zastavila odběr tepla z CZT v letním období. Dodavatel tepla by však byl povinen zajistit pohotovou dodávku i pro poslední objekty, takže by téměř celá výroba tepla padla na pokrytí ztrát rozvodu. Tento fakt by se pak odrazil i v ceně tepla a samozřejmě i v ekonomice investičních záměrů.



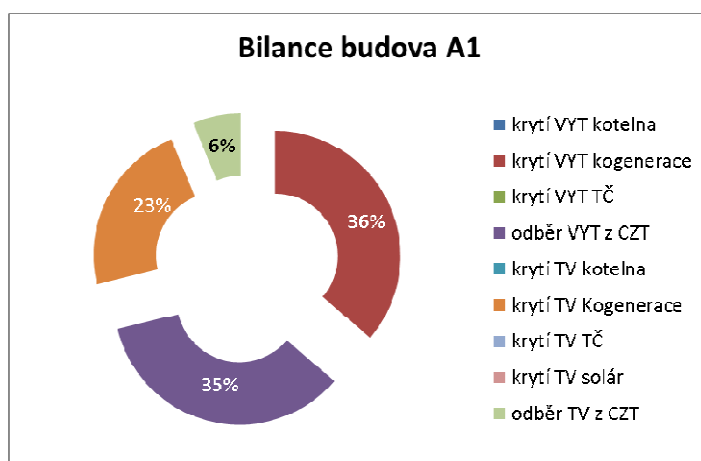
Obrázek 64: Bilance budovy po instalaci tepelného čerpadla na ohřev vody.

Systémové ztráty	9,5%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	584 Kč/GJ	17%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	1 631 239 Kč	17%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	1 016 779 Kč	-27%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	1 186 674 Kč	-15%

Tabulka 8: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov tepelnými čerpadly dimenzovanými na přípravu teplé vody.

Kogenerační jednotka na vytápění a ohřev vody

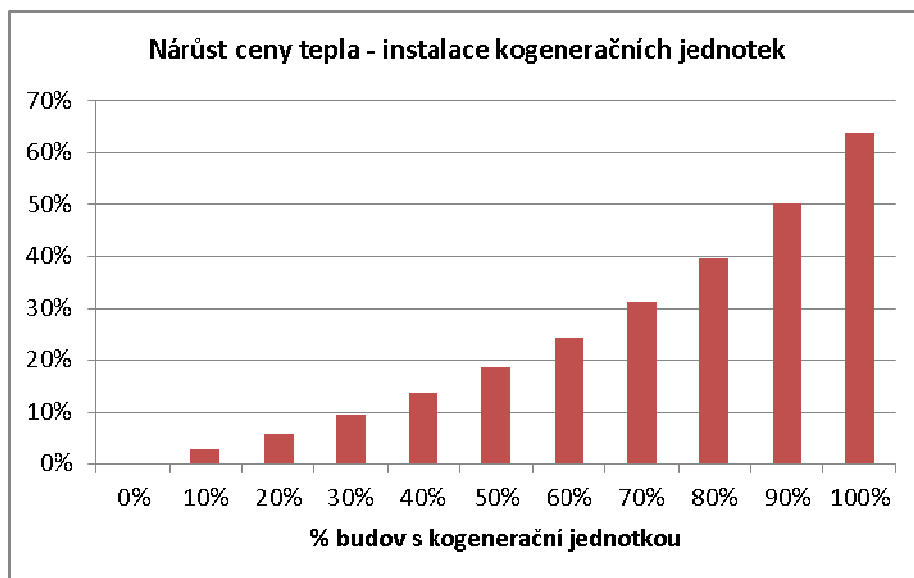
Toto opatření má podobný vliv jako odpojení budovy od CZT, ale je pro systém škodlivější v tom, že vynucuje stálou pohotovost systému jako bivalentního zdroje. Navíc budova vybavená vlastním zdrojem odebírá teplo z CZT v době extrémních zimních teplot, kdy je výroba tepla nejdražší, protože je kryta kromě bazálních také špičkovými zdroji.



Obrazek 65: Bilance budovy po instalaci kogenerační jednotky na vytápění a na ohřev vody.

Systémové ztráty	15,7%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	819 Kč/GJ	64%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	2 289 381 Kč	64%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	575 096 Kč	-59%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	941 988 Kč	-33%

Tabulka 9: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov kogeneračními jednotkami na vytápění a na přípravu teplé vody.



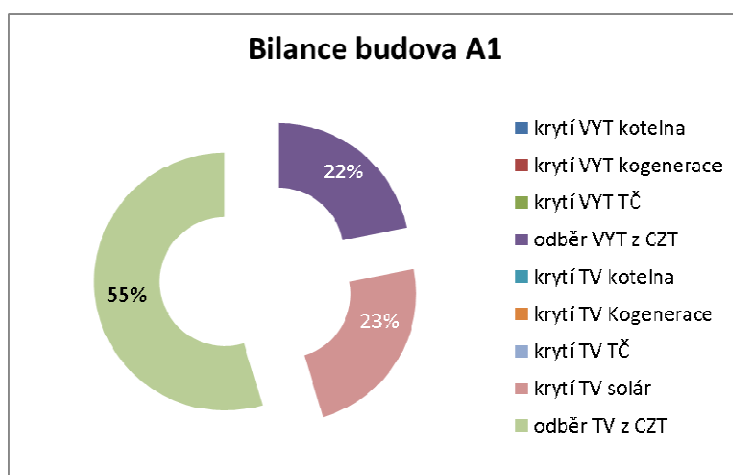
Obrázek 66: Dynamika růstu ceny tepla při rozšiřování kogeneračních jednotek.

Kombinace opatření

Je pravděpodobné, že se vyskytnou případy rekonstrukce budovy a současné instalace některého vlastního zdroje tepla. Proto bylo vyhodnoceno i několik možných kombinací.

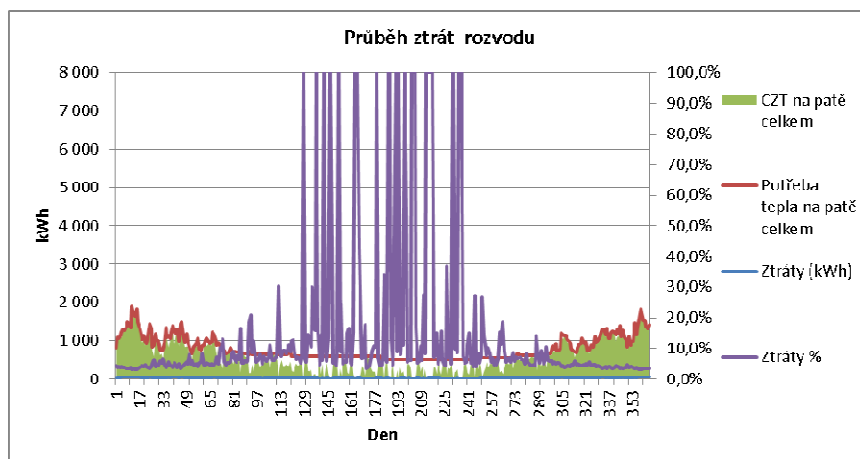
Pasivní rekonstrukce a instalace solárního systému pro přípravu TV

Tato kombinace je jednou z velmi pravděpodobných. Po rekonstrukci by se minimalizovala potřeba tepla na vytápění, která by se navíc přesunula do nejchladnějších měsíců, a asi třetinu potřeby tepla na ohřev vody by kryl solární systém.



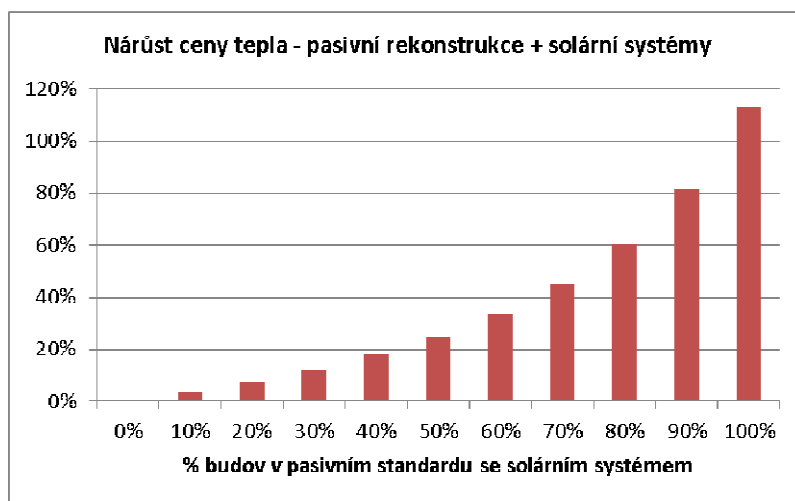
Obrázek 67: Bilance budovy po rekonstrukci do pasivního standardu a instalaci solárního systému.

Tato situace by samozřejmě měla dopad na efektivitu systému CZT, a to jak v létě, tak i v zimě.



Obrázek 68: Průběh potřeby tepla a ztrát pro pasivní budovu se solárním systémem.

Již prvních 10 % rekonstruovaných budov by způsobilo zvýšení ceny tepla o 3 %. Masivnější rozšíření této technologie by mělo velmi velký vliv na cenu tepla.



Obrázek 69: Vliv rozšíření pasivních rekonstrukcí se solárním systémem na cenu tepla.

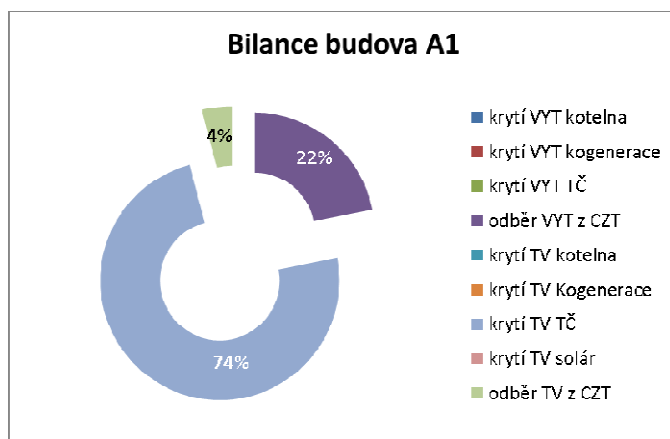
Kvůli nárůstu ceny tepla by se také zásadně měnila investiční hodnocení již realizovaných projektů. Pro budovy v původním stavu by značné rozšíření této technologie vedlo k vysokým nákladům.

Systémové ztráty	21,3%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	1 067 Kč/GJ	113%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	2 982 294 Kč	113%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	394 619 Kč	-72%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	842 007 Kč	-40%

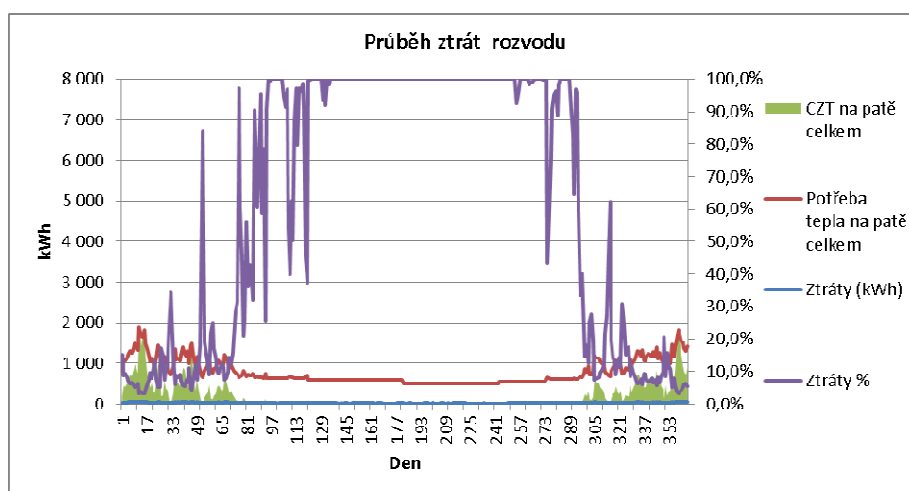
Tabulka 10: Náklady na nákup tepla se 100% rozšířením pasivních budov se solárními systémy.

Pasivní rekonstrukce a tepelné čerpadlo pro ohřev vody

V této variantě je dopad ještě silnější než u kombinace se solárním systémem, protože tepelné čerpadlo dodává teplo většinu roku.

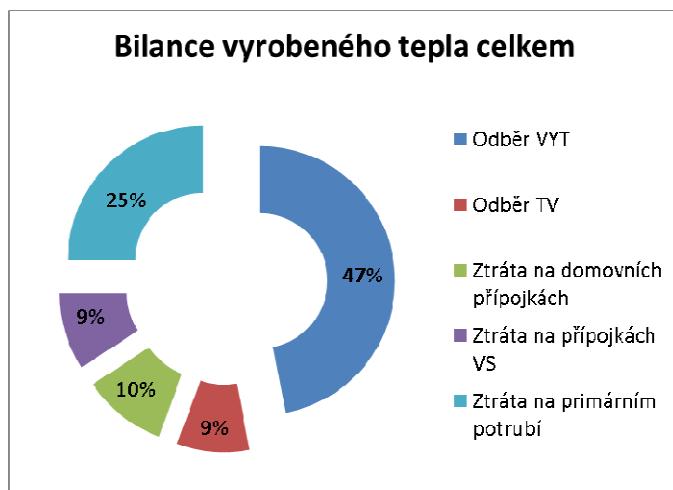


Obrázek 70: Bilance domu v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.



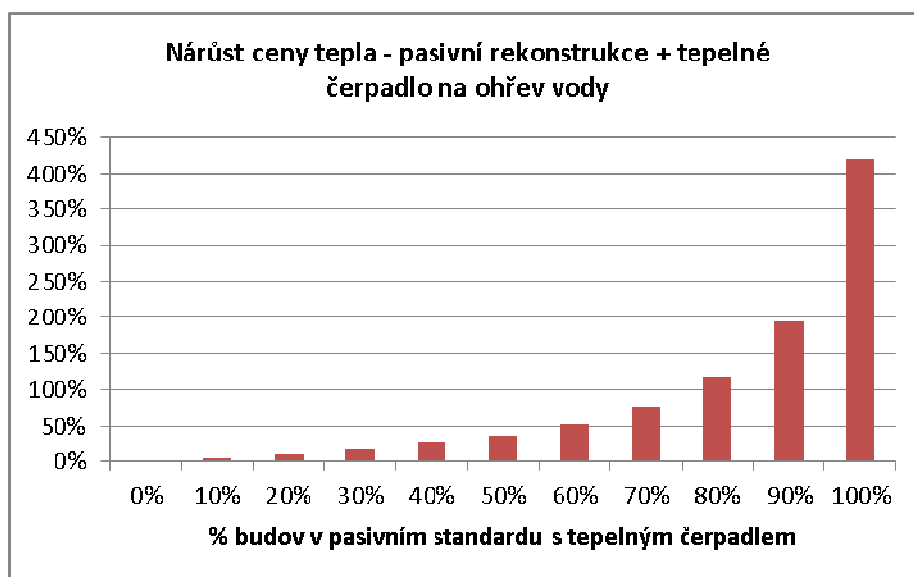
Obrázek 71: Roční průběh energetické bilance pro pasivní budovu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.

Z grafu je patrné, že CZT dodává teplo do budovy pouze v nejlhladnějších částech roku. To má negativní dopad na celkovou bilanci systému:



Obrázek 72: Bilance systému při 100 % domů v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.

Velmi silný vliv má tato kombinace i na růst ceny tepla. Při hypotetickém 100% rozšíření této technologie by cena stoupla o více než 400 %.



Obrázek 73: Růst ceny tepla při rozšiřování pasivních rekonstrukcí s instalací tepelného čerpadla pro ohřev vody.

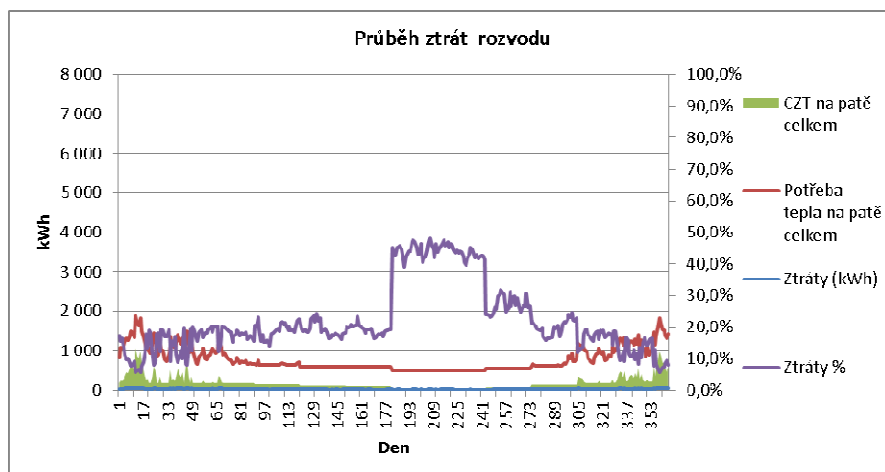
Vzhledem k dopadu na cenu tepla by zřejmě významnější rozšíření této technologie vedlo k rozpadu soustavy CZT, protože všichni ostatní odběratelé by hledali alternativní řešení.

Systémové ztráty	44,4%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	2 602 Kč/GJ	420%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	7 273 876 Kč	420%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	134 057 Kč	-90%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	697 660 Kč	-50%

Tabulka 11: Náklady na nákup tepla při 100% rozšíření pasivních domů s TČ pro ohřev vody.

Pasivní rekonstrukce a kogenerační jednotka pro vytápění a ohřev vody

Toto opatření má velmi podobný efekt jako předchozí, pouze má ještě větší dopad, protože se dále snižuje odběr tepla z CZT v chladném období roku.

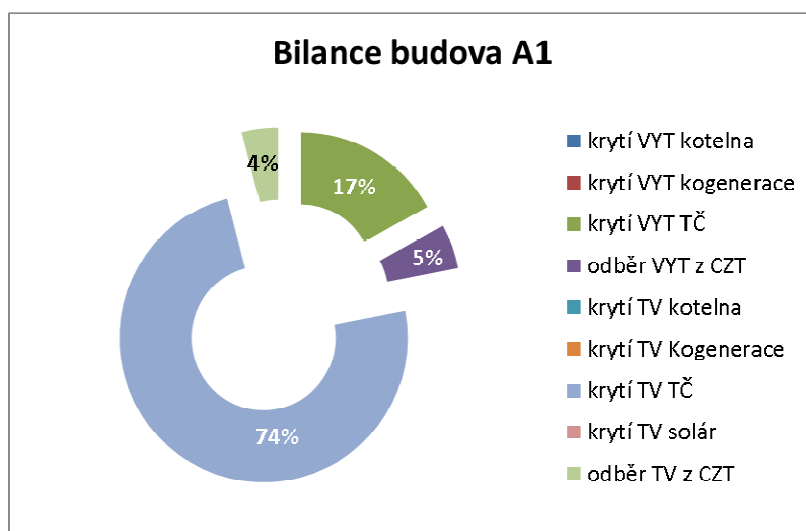


Obrázek 74: Průběh bilance pro pasivní rekonstrukci s kogenerační jednotkou.

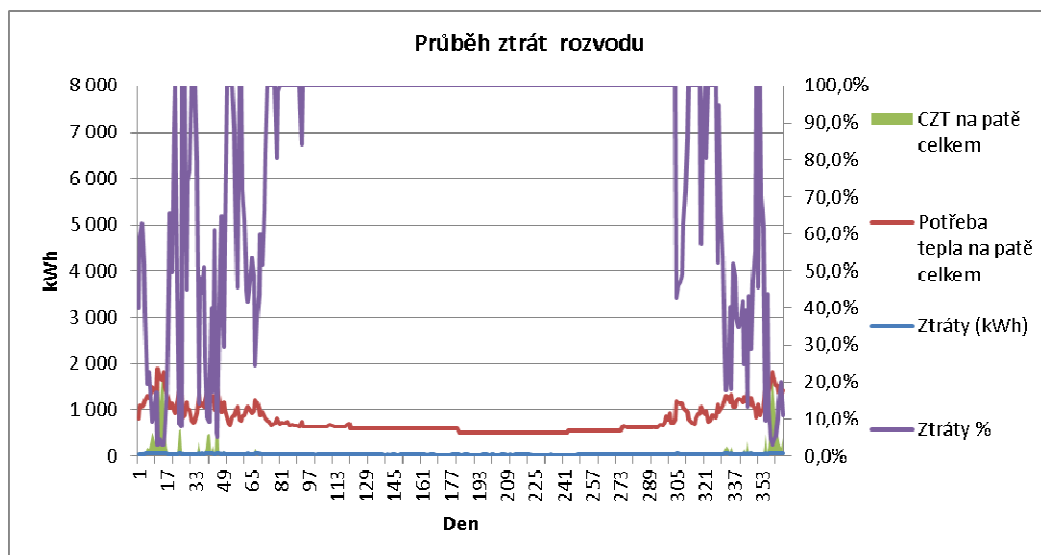
Při 100% nasazení této technologie ukazuje model navýšení ceny tepla o 468 %.

Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro vytápění a teplou vodu

Tato varianta patří mezi další pravděpodobné scénáře. Připojení na CZT by umožnilo zlevnit instalaci tepelného čerpadla a použít menší zařízení, protože v době zimních extrémních teplot by CZT sloužilo jako bivalentní zdroj. Z CZT by tak budova odebírala pouze 9 % tepla z celoroční potřeby.

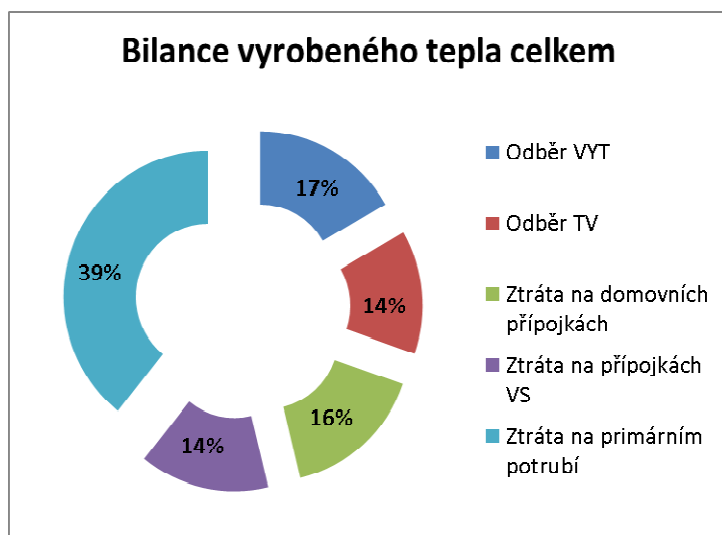


Obrázek 75: Bilance pro budovu v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na vytápění i ohřev vody.

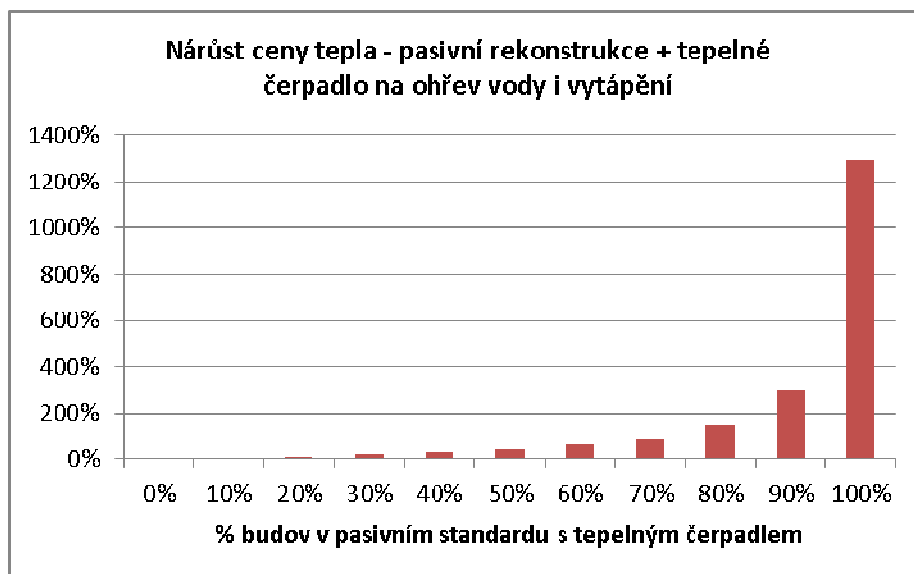


Obrázek 76: Roční průběh balance pro pasivní dům s tepelným čerpadlem pro vytápění i TV.

Na CZT by rozšíření tohoto opatření mělo devastující vliv, protože ztráty by tvořily převážnou část systémové balance.



Obrázek 77: Balance CZT pro 100 % pasivních domů s tepelnými čerpadly.



Obrázek 78: Nárůst ceny tepla při rozšiřování pasivních domů s tepelným čerpadlem pro vytápění i ohřev vody.

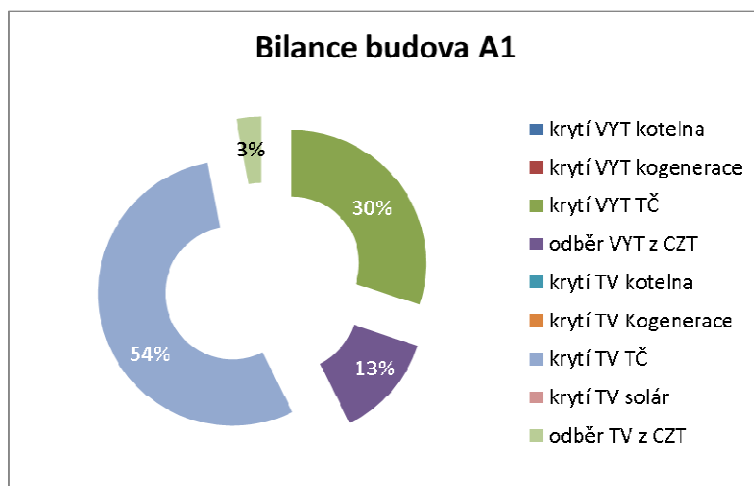
Systémové ztráty	69,7%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	6 976 Kč/GJ	1295%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	19 500 429 Kč	1295%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	46 529 Kč	-97%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	649 171 Kč	-54%

Tabulka 12: Náklady na nákup tepla při 100% rozšíření pasivních rekonstrukcí s tepelnými čerpadly pro vytápění i ohřev vody.

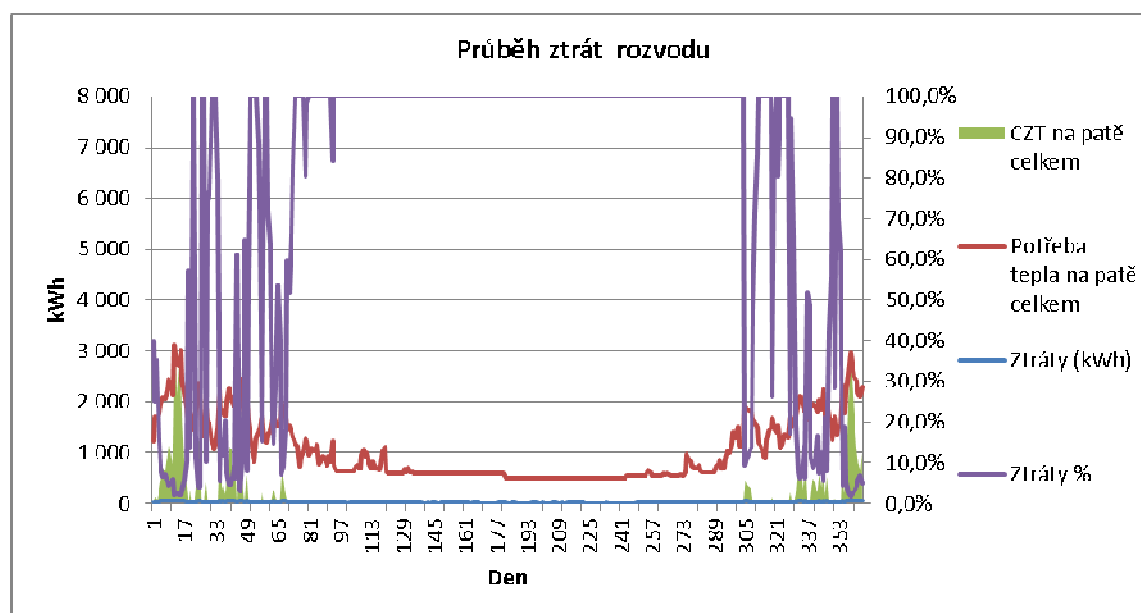
Z vlivu na cenu tepla je jasné, že i tato technologie by v krátké době zlikvidovala CZT.

Běžná rekonstrukce a tepelné čerpadlo

Pasivní rekonstrukce není v dnešní době zcela běžná, ale tepelné čerpadlo způsobí systému CZT komplikace i v případě zcela běžné rekonstrukce do nízkoenergetického standardu. Jediný rozdíl je ve větším množství dodávaného tepla v zimním extrému.



Obrázek 79: Balance budovy v nízkoenergetickém standardu s tepelným čerpadlem.



Obrázek 80: Průběh roční balance budovy v nízkoenergetickém standardu s tepelným čerpadlem.

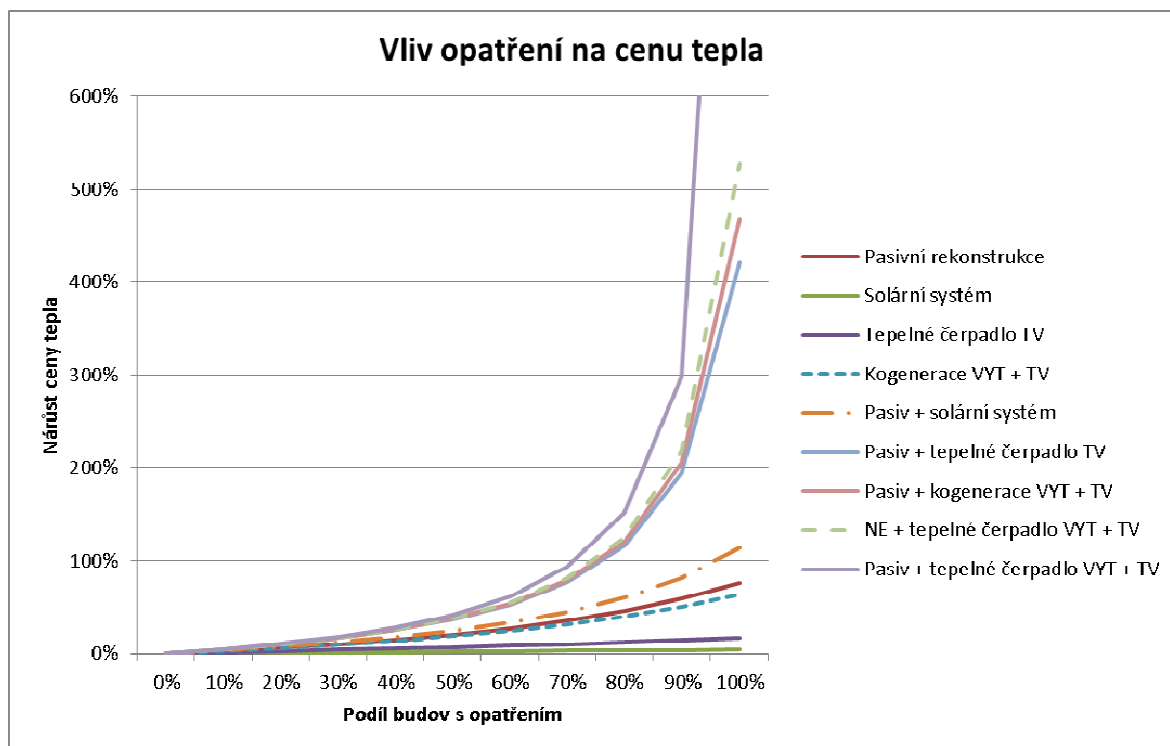
Systémové ztráty	49,5%	změna
Původní cena tepla	500 Kč/GJ	
Nová cena tepla	3 135 Kč/GJ	527%
Platba referenční budova - původně	1 397 696 Kč	
Platba referenční budova - nový stav	8 763 312 Kč	527%
Platba budova A1 - nový stav očekávaný	109 064 Kč	-92%
Platba budova A1 - nový stav skutečný	683 814 Kč	-51%

Tabulka 13: Náklady na nákup tepla při 100 % běžných rekonstrukcí s tepelným čerpadlem.

Shrnutí výsledků modelu a praktické závěry

Veškerá opatření vedoucí k úspoře tepla z CZT způsobují zvyšování ceny tepla dodávaného z CZT. Tento vliv může být poměrně malý, jako je tomu u samotných solárních systémů, ale pokud se zkombinuje celkové snížení energetické náročnosti s instalací vlastního energetického zdroje, je tento vliv patrný již při 10% výskytu opatření.

Porovnání vlivu jednotlivých kombinací je uvedeno na následujícím grafu:



Obrázek 81: Porovnání vlivu jednotlivých opatření a jejich kombinací na růst ceny tepla.

Z grafu lze vyčíst pozitivní zpětnou vazbu: čím více budov aplikuje úsporná opatření, tím více roste cena tepla a podobná nebo další opatření jsou tak ekonomicky atraktivní pro zbytek budov v původním stavu. Čím kvalitnější jsou opatření z hlediska snižování závislosti budovy na CZT, tím dříve dosáhne systém tak vysoké ceny tepla, že musí zákonitě dojít k jeho rozpadu.

Mezi zvažovanými variantami chybí odpojení domu od CZT a přechod na vlastní kotelnu. Tato varianta se ale k CZT chová nejagresivněji a není ji proto třeba dále rozebírat.

V této vývojové dynamice existuje ještě jedna méně viditelná závislost: budovy, u kterých byla úsporná opatření implementována dříve, měly nastavené předpokládané finanční toky nutné pro splácení investice na původní cenu tepla. Po její navýšení se zvýší jejich výdaje za nákup tepla z CZT a nebudou tak moci umořovat investici předpokládanou částkou.

Investice do úsporných opatření akcelerovala rozhodování pro totéž i v ostatních budovách. Od určitého okamžiku jde o vynucenou investici, protože běžné provozní náklady jsou v dané chvíli již nesnesitelné.

Pokud se tato inflační spirála roztočí, povede k situaci, kdy budou majitelé budov nuceni využít jakékoli cesty ke snižování odběru tepla z CZT a ve finále hledat cesty k odpojení se od systému. To pak s velkou pravděpodobností povede k rozpadu celého systému.

Existuje řešení?

Daný modelový příklad je příkladem extrémním, protože předpokládá, že všechny budovy napojené na systém jsou v původním stavu před rekonstrukcí, že se vlastníci objektů budou schopni mezi

sebou dohodnout na investicích a že neexistují technické a právní zábrany instalace vlastních zdrojů tepla. V některých případech to ale tak může být, jak ukazuje příklad BD Orlová.

Ve většině ostatních případů jsou budovy již částečně zrekonstruovány a některé zateplený do stavu, který odpovídá nízkoenergetickému standardu. To však problém pouze zmírňuje, ale neodstraňuje jej zcela. Principy a mechanismy popsané modelem zůstávají platné.

V některých lokalitách (např. na Liberecku a Jablonecku) dosáhla cena tepla takové výše, že existují příklady instalace kogeneračních jednotek a tepelných čerpadel. Instalace plynových kotlen je zcela běžná praxe i v lokalitách s nižší cenou tepla.

Pozitivní zpětná vazba popsaná v matematickém modelu bez pochyb existuje. Důkazem je i situace reálné lokality, BD Orlová. V přirozených procesech je zpětná vazba základním regulačním procesem, je to ale vždy zpětná vazba negativní. Vyskytne-li se někde zpětná vazba pozitivní, tj. následky posilující příčiny, vždy je to cesta do pekel. Změny mohou být zpočátku nenápadné, ale pozitivní zpětnou vazbou rostou exponenciálně, což nakonec vede ke kolapsu daného systému. Po kolapsu pak nastane nová rovnováha, která ale může být pro všechny méně výhodná. Lidská civilizace se podobným situacím může bránit přijímáním umělých opatření, které mají brzdit a neutralizovat následky těchto mechanismů. Z širšího hlediska je existence systémů CZT prospěšná, protože odvádějí znečištění mimo hustě obydlené oblasti. Kromě toho umožňují efektivnější a čistší provoz spalovacích procesů, protože u velkých zdrojů je snadnější tyto aspekty řídit. Pokud by v minulých desetiletích byla sídliště zásobována lokálními zdroji, vedlo by to k obrovské ekologické zátěži a druhotným následkům v podobě externalit. Tuto otázku je ale nutno podrobit novému zkoumání v situaci, kdy se potřeba tepla u jednotlivých budov snižuje, a to někdy i řádově, a kdy dochází k výskytu nárazové potřeby tepla namísto původní časově vyrovnané.

Jak již bylo uvedeno výše, u velkých systémů jsou změny relativně malé, takže dopad na účastníky (výrobci tepla, odběratelé) je menší. Zranitelné jsou ale právě malé a střední obce, kde nelze vlivy úsporných opatření absorbovat a rozptýlit mezi diverzifikovanou strukturu na straně dodávky i výroby tepla.

Z hlediska CZT je výhodné, že spousta domů již prošla energeticky špatnou rekonstrukcí. I když bylo možno snížit spotřebu tepla až desetkrát, tento potenciál nebyl využit. Nedostatečně zateplené domy tak mohou příštích 20 až 40 let představovat relativně stabilní odběr tepla. U domů před rekonstrukcí je však potřeba počítat s razantnějším poklesem odběru.

Možných řešení není příliš mnoho. Jedním z nich je umělá legislativní regulace zabraňující instalaci lokálních zdrojů tepla. Podobný krok by se setkal zřejmě s odporem, protože jde o zásah do vlastnických práv a posilování monopolu dodavatele tepla. Svou povahou by také odporoval proklamovaným trendům posilování využití obnovitelných zdrojů energií. Na druhé straně je ale třeba zvážit i argument, že systém CZT je svého druhu společným statkem, jehož součástí je infrastruktura, subjekty vyrábějící a dodávající teplo a všichni odběratelé. Tento společný systém byl vybudován za určitých předpokladů a okolností s plánovanou životností, během které by se měl ekonomicky amortizovat. Individuální kroky odběratelů tepla mohou vést k výhodě pro ně samotné, ale současně mohou významně poškozovat ostatní účastníky. Pokud odpojení jednoho domu od CZT povede ke zvýšení ceny tepla pro všechny ostatní domy, vzniká jim škoda. Vzniku této škody by mohlo bránit nějaké legislativní opatření. Analogií podobného kroku by mohlo být solidární

rozpočítávání nákladů na vytápění bytů uvnitř jednoho domu, kdy nevýhodně umístěné byty hradí nižší částku, než by odpovídalo skutečně měřené spotřebě, nebo omezení vlastnických práv při výstavbě rodinných domů, které nesmějí negativně ovlivňovat již existující zástavbu.

Podobné opatření, které již v dnešní době existuje (provozovatelé CZT brání odběratelům v odpojení) by však vedlo k zakonzervování neefektivního stavu, kdy je podíl ztrát systému neúměrně vysoký.

Situace má také silné ekonomické pozadí. Infrastruktura CZT je velmi nákladná a nelze ji rázem odepsat a vybudovat znovu v jiné podobě. Je však možno změnit způsob uvažování a hledat netradiční přístupy založené na změně podnikatelského paradigmatu.

Přestože vede popsáný mechanismus k velkému nárůstu ceny tepla, mohou být celkové náklady odběratelů nižší než nyní, protože tohoto velmi drahého tepla budou odebírat velmi málo. Jinými slovy, CZT by se mohlo změnit v jakýsi špičkový zdroj tepla v lokalitách, kde nelze instalovat potřebný výkon lokálního zdroje. Systém CZT by pak nemusel zkolabovat, protože náklady na údržbu, palivo a pokrytí ztrát by byly již zahrnuty v ceně tepla. Dodávka tepla by se ale stala málo zajímavým podnikatelským záměrem, protože míra zisku by byla nízká vzhledem k obratu. Proto je třeba hledat kombinaci více možností.

Samozřejmým krokem by mělo být velmi opatrné dimenzování nových tepelných sítí v případě jejich rekonstrukcí. Systém by neměl být navrhován podle zastaralého normového postupu, ale podle scénářů budoucího rozvoje území. Při návrhu je možné akceptovat i některé netradiční způsoby uvažování, např. instalaci malých místních zdrojů tepla pro období s malým odběrem tepla, kdy je neefektivní provozovat celou soustavu. V některých zemích je běžné, že se na systémy CZT napojují i nově stavěné rodinné domy, a to proto, že je to pro ně výhodnější z hlediska investičních i provozních nákladů. Tyto systémy jsou ale velmi „štíhlé“ a vysoce efektivní. Bývají napojeny na komunální zdroj tepla využívající například spalování odpadu, což zajišťuje nízkou cenu tepla, a rozvody jsou velmi precizně dimenzované a izolované, což minimalizuje ztráty.

Také je možné, aby dodavatelé tepla sami investovali do opatření na straně spotřeby tepla. Tento postup je možný například v situaci, kdy je již většina budov po rekonstrukci a bylo by možné a žádoucí snížit teplotu média, čemuž však brání poslední nezrekonstruovaný objekt. V tomto případě může dodavatel tepla podpořit úsporná opatření i v této budově, samozřejmě za předpokladu ekonomické efektivity projektu. Extrémním případem může být situace, kdy by dodavatel tepla zcela změnil svůj model podnikání a investoval by například do sítě kogeneračních jednotek umístěných v jednotlivých budovách, což by mu umožnilo zůstat dodavatelem tepla a současně operativně řídit produkci elektřiny tak, aby ji dodával do sítě v době nejvyšších cen. Tento model již některé energetické společnosti připravují.

I když jsou možnosti omezené, mohou v některých případech existovat v závislosti na místních technických a ekonomických podmínkách. V každém případě ale budou změny pro malé systémy CZT bolestné. Je ale třeba zvážit, zda je lepší vyčkávat a čekat na to, kdy se situace stane neúnosnou, nebo se již dnes snažit najít řešení. Pokud bude hledáno příliš pozdě, nemusí již žádná šance existovat.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Počty panelových bytů v jednotlivých okresech ČR. Zdroj: EkoWATT.	6
Obrázek 2: Vývoj kvality konstrukcí budov (Zdroj – EkoWATT).	7
Obrázek 3: Histogram měrné potřeby tepla na vytápění - panelové domy v roce 1999 a 2007. (Srdečný, 2011).	8
Obrázek 4: Vývoj cen tepla v ČR (ERÚ).	9
Obrázek 5: Čtyřtrubkový rozvod z výměňkové stanice.	10
Obrázek 6: Dvoutrubkový rozvod z výměňkové stanice.	10
Obrázek 7: Výměňková stanice umístěná v jednom objektu a čtyřtrubkový rozvod do ostatních.	10
Obrázek 8: Přímé napojení objektů na horkovod.	11
Obrázek 9: Tepelné ztráty a zisky - běžný dům.	14
Obrázek 10: Tepelné ztráty a zisky - nízkoenergetický dům.	14
Obrázek 11: Modelová budova	15
Obrázek 12: Původní varianta	15
Obrázek 13: Nízkoenergetická varianta	16
Obrázek 14: Pasivní varianta	16
Obrázek 15: Roční měrný profil spotřeby teplé vody pro bytové domy (procentní rozložení). (Matuška I. T., 2010)	20
Obrázek 16: Různé možnosti provedení neprůlezných kanálů.	22
Obrázek 17: Nadzemní vedení.	22
Obrázek 18: Pozemní vedení.	22
Obrázek 19: Průlezný kanál.	22
Obrázek 20: Bezkanálové uložení rozvodu.	23
Obrázek 21: Průchozí kanál.	23
Obrázek 22: Změna energetického zařazení panelového domu po zateplení různou tloušťkou izolace. (Srdečný, 2011).	30
Obrázek 23: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1964 - 1977.	31
Obrázek 24: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1977 - 1994.	31
Obrázek 25: Prostá návratnost zateplení obvodové stěny vyhovující normě platné v letech 1994 - 2002.	32
Obrázek 26: Optimální tloušťka izolace z hlediska NPV.	33
Obrázek 27: Ekvitermní křivky. (Matz, 2010).	35
Obrázek 28: Potřeby tepla - původní stav.	37
Obrázek 29: Průběh ztrát v rozvodu - původní stav.	37
Obrázek 30: Potřeby tepla - po zateplení.	38
Obrázek 31: Průběh ztrát v rozvodu - po zateplení.	38
Obrázek 32: Potřeby tepla - pasivní standard.	39
Obrázek 33: Průběh ztrát v rozvodu - pasivní standard.	39
Obrázek 34: Zásobník teplé vody. Zdroj: EkoWATT.	40

Obrázek 35: Instalace solárního systému na střeše panelového domu. Zdroj: BD Orlová.	40
Obrázek 36: Typický průběh výroby solárního systému v rodinném domě.	42
Obrázek 37: Typický průběh výroby solárního systému v bytovém domě.	42
Obrázek 38: Výroba solárního systému - reálná klimatická data.	43
Obrázek 39: Součinnost solárního systému a CZT při ohřevu vody.	43
Obrázek 40: Ztráty v rozvodu při použití solárního systému.	44
Obrázek 41: Toky energií pro tepelné čerpadlo.	45
Obrázek 42: Krytí potřeby tepla na ohřev vody tepelným čerpadlem a CZT.	46
Obrázek 43: Krytí potřeby tepla na vytápění nízkoenergetického panelového domu tepelným čerpadlem a CZT.	47
Obrázek 44: Absolutní a relativní ztráty v rozvodu při použití tepelného čerpadla.	48
Obrázek 45: Krytí potřeby tepla pro ohřev vody kogenerační jednotkou a CZT.	49
Obrázek 46: Krytí potřeby tepla na vytápění kogenerační jednotkou a CZT.	49
Obrázek 47: Absolutní a relativní ztráty v rozvodu při využití kogenerační jednotky pro vytápění a ohřev vody (nízkoenergetická budova).	50
Obrázek 48: Letecký pohled na sídliště Rohožník. (Zdroj: Mapy Apple).	53
Obrázek 49: Orlová. Autor fotografie: (Chrochnik).	54
Obrázek 50: Pokles spotřeb tepla na vytápění domů v Orlové. (BD Orlová).	55
Obrázek 51: Přínosy solárních systémů v Orlové. (BD Orlová).	55
Obrázek 52: Nárůst ceny tepla v Orlové. (BD Orlová).	56
Obrázek 53: Rozdíly ceny tepla mezi nákupem od zdroje a prodejem koncovému odběrateli. (BD Orlová).	56
Obrázek 54: Porovnání cen tepla v Orlové a okolních lokalitách. (BD Orlová).	57
Obrázek 55: Modelová budova.	58
Obrázek 56: Pracovní rozhraní simulačního nástroje.	60
Obrázek 57: Balance systému CZT pro výchozí stav.	62
Obrázek 58: Balance budovy A1 - výchozí stav.	63
Obrázek 59: Odběr tepla z CZT - budova A1, výchozí stav.	63
Obrázek 60: Balance budovy A1 po pasivní rekonstrukci.	63
Obrázek 61: Změna průběhu odběru tepla objektu A1 z CZT po pasivní rekonstrukci.	64
Obrázek 62: Nárůst ceny tepla po rekonstrukci do pasivního standardu.	65
Obrázek 63: Výroba solárního systému v bilanci budovy.	66
Obrázek 64: Balance budovy po instalaci tepelného čerpadla na ohřev vody.	66
Obrázek 65: Balance budovy po instalaci kogenerační jednotky na vytápění a na ohřev vody.	67
Obrázek 66: Dynamika růstu ceny tepla při rozšiřování kogeneračních jednotek.	68
Obrázek 67: Balance budovy po rekonstrukci do pasivního standardu a instalaci solárního systému.	68
Obrázek 68: Průběh potřeby tepla a ztrát pro pasivní budovu se solárním systémem.	69
Obrázek 69: Vliv rozšíření pasivních rekonstrukcí se solárním systémem na cenu tepla.	69
Obrázek 70: Balance domu v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.	70
Obrázek 71: Roční průběh energetické bilance pro pasivní budovu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.	70
Obrázek 72: Balance systému při 100 % domů v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na ohřev vody.	71
Obrázek 73: Růst ceny tepla při rozšiřování pasivních rekonstrukcí s instalací tepelného čerpadla pro ohřev vody.	71

Obrázek 74: Průběh bilance pro pasivní rekonstrukci s kogenerační jednotkou.....	72
Obrázek 75: Bilance pro budovu v pasivním standardu s tepelným čerpadlem na vytápění i ohřev vody.....	72
Obrázek 76: Roční průběh bilance pro pasivní dům s tepelným čerpadlem pro vytápění i TV.	73
Obrázek 77: Bilance CZT pro 100 % pasivních domů s tepelnými čerpadly.....	73
Obrázek 78: Nárůst ceny tepla při rozšiřování pasivních domů s tepelným čerpadlem pro vytápění i ohřev vody.....	74
Obrázek 79: Bilance budovy v nízkoenergetickém standardu s tepelným čerpadlem.	75
Obrázek 80: Průběh roční bilance budovy v nízkoenergetickém standardu s tepelným čerpadlem....	75
Obrázek 81: Porovnání vlivu jednotlivých opatření a jejich kombinací na růst ceny tepla.....	76

Seznam tabulek

Tabulka 1: Měrná denní potřeba TV podle standardu bydlení. (Ing. Tomáš Matuška P. , 2010), podle Richtlinie VDI 2067, Blatt 4 - Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Warmwasserversorgung, 1982.	18
Tabulka 2: Hodnoty tepelných ztrát rozvodu TV podle TNI. (Ing. Tomáš Matuška P. , 2010).....	19
Tabulka 3: Porovnání investice do výměny oken podle prosté návratnosti a NPV.....	34
Tabulka 4: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 10 % budov do pasivního standardu.	64
Tabulka 5: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 50 % budov do pasivního standardu.	64
Tabulka 6: Náklady na nákup tepla po rekonstrukci 100 % budov do pasivního standardu.	65
Tabulka 7: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov solárními termickými systémy.....	66
Tabulka 8: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov tepelnými čerpadly dimenzovanými na přípravu teplé vody.	67
Tabulka 9: Náklady na nákup tepla při vybavení 100 % budov kogeneračními jednotkami na vytápění a na přípravu teplé vody.	67
Tabulka 10: Náklady na nákup tepla se 100% rozšířením pasivních budov se solárními systémy.....	69
Tabulka 11: Náklady na nákup tepla při 100% rozšíření pasivních domů s TČ pro ohřev vody.	71
Tabulka 12: Náklady na nákup tepla při 100% rozšíření pasivních rekonstrukcí s tepelnými čerpadly pro vytápění i ohřev vody.....	74
Tabulka 13: Náklady na nákup tepla při 100 % běžných rekonstrukcí s tepelným čerpadlem.	75

Citovaná literatura

- BD Orlová. (nedatováno). *BD Orlová - data prezentace*. Získáno 10. 10 2014, z Bytové družstvo Orlová:
http://bdorlova.cz/images/20140313%20P%C5%99ehled%20cen%20v%20okoln%C3%ADch%20m%C4%9Bstech%20v%20r_%202012%20z%20ER%C3%9A.pdf
- BD Orlová. (nedatováno). *Data - prezentace*. Získáno 12. 10 2014, z Bytové družstvo v Orlové:
<http://bdorlova.cz/images/20140312%20Graf%20teplo%201995-2013.gif>

- ČSN 12975. (2006). ČSN 12975-2. *Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část 2: Zkušební metody*. ČNI.
- ČSÚ. (3. 9 2005). *ENERGO 2004*. Získáno 30. 11 2014, z Web ČSÚ:
http://www2.czso.cz/csu/tz.nsf/i/energo_2004
- ERÚ. (nedatováno). *Vyhodnocení vývoje cen tepelné energie k 1. lednu 2013*. Získáno 8. 10 2014, z ERÚ: http://www.eru.cz/documents/10540/484223/Vyhodnoceni+cen+TE+k+1_1_2013.pdf/
- Chrochík. (nedatováno). *Panoramio*. Získáno 3. 12 2014, z
http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=8&with_photo_id=2864239&order=date_desc&user=585961
- Ing. Tomáš Matuška, P. (2010). <http://panelovedomy.ekowatt.cz/>. Získáno 30. 11 2014, z www.ekowatt.cz: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/39-tepelne-ztraty-pripravy-teple-vody>
- Ing. Tomáš Matuška, P. (15. leden 2010). panelovedomy.ekowatt.cz. Získáno 30. 8 2014, z EkoWATT: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/36-potreba-teple-vody>
- Karafiát, J. (2001). *Teplárenství*. ORTEP.
- Kolektiv autorů. (2000). *Topenářská příručka*. Praha: Gas, s.r.o.
- Kysela, L., Míka, J., & Kyselová, S. (2010). *Teplárenství*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- Matuška, I. T. (15. 1 2010). panelovedomy.ekowatt.cz. Získáno 30. 11 2014, z EkoWATT: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/35-casove-rozlozeni-spotreby-teple-vody>
- Matuška, T., & Krainer, R. (2011). *Výpočtové hodnocení tepelných soustav s tepelnými čerpadly*. Praha: SFŽP.
- Matz, V. (8. březen 2010). *Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění*. Získáno 2. 11 2014, z TZB Info: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- Srdečný, K. (2011). *STANOVENÍ MĚRNÉ SPOTŘEBY TEPLA PANELOVÝCH DOMŮ*. Praha: EkoWATT.
- TNI 730320. (2009). TNI 730320. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. ÚNMZ.
- Zelený, K. (2007). *Studie problematiky snižování energetických ztrát s zvýšení spolehlivosti při dodávkách tepla*. Praha: RAEN.