

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

# **Disertační práce**

*Únor 2017*

*František Macholda*



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

# Vliv úsporných opatření v budovách na cenu tepla dodávaného z CZT

Disertační práce

Mgr. František Macholda, MBA

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku

Školitel: Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

Školitel specialista: Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA



## **Poděkování**

Děkuji své rodině za podporu a trpělivost, bez které by tato práce nevznikla.

Děkuji svému školiteli, Prof. Ing. Jaroslavu Knápkovi, CSc., za odborné vedení a cenné rady.

Děkuji Ing. Marku Piskačovi, Ph.D. za čas strávený odbornými konzultacemi v oblasti teplotní praxe.

Děkuji Ing. Jiřímu Beranovskému, Ph.D., MBA za konzultace a podporu.

Děkuji Prof. Ing. Oldřichovi Starému, CSc., Doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. a Ing. Tomáši Králíkovi, Ph.D. za cennou pomoc a připomínky při formulaci této práce.

Děkuji MPO ČR a programu EFEKT za podporu výzkumu, který byl podkladem pro tuto práci.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval sám a tam, kde jsem použil výsledky jiných autorů, jsem je řádně citoval.

V rámci výpočetního modelu jsem použil dynamický výpočet topného faktoru tepelného čerpadla, jehož autorem je Ing. Karel Srdečný, a výpočet potřeby tepla budovy v software Energie, který byl převzat z energetického auditu bytového domu zpracovaného společností EkoWATT CZ s.r.o. Tyto části tvoří zanedbatelnou část objemu modelu.

Výzkum byl podpořen MPO v rámci programu EFEKT.

V Praze 21. února 2017

---

František Macholda



## Abstrakt

Tato práce se zabývá metodikou pro systémový pohled na vliv úspor tepla na celkový systém CZT a připojených odběratelů. Cílem bylo nalezení vhodného nástroje pro posouzení možných dopadů vyššího rozšíření různých opatření směřujících k úsporám tepla v budovách na cenu tepla ze systému CZT a na platby odběratelů za teplo.

Úspory tepla vedou ke snížení množství prodáváného tepla, zatímco tepelné ztráty soustavy CZT zůstávají konstantní. Promítnutím tepelné ztráty distribuční sítě do menšího množství prodaného tepla dochází k zvýšení ceny jednotky prodáváného tepla. Při vyšší penetraci radikálních úsporných opatření v množině budov napojených na systém CZT může tento efekt způsobit i velmi značné zvýšení ceny tepla a tím i nárůst nákladů na nákup tepla oproti původnímu očekávání.

Úsporná opatření směřují primárně k úspoře nákladů na nákup tepla. Předpokladem investora do úsporných opatření je stálá cena tepla. Pokud ale provede úsporná opatření více subjektů v rámci stejného systému, dojde ke zvýšení ceny tepla a původně očekávaná finanční úspora se může značně snížit.

Pro vyčíslení těchto efektů byl sestaven matematický model umožňující zjistit dopady úsporných opatření měnících odběr tepla z SCZT.

Výsledky získané aplikací modelu ukazují, že lze mezi úspornými opatřeními nalézt podle jejich dopadů dvě hlavní skupiny. První jsou tzv. kritická opatření, která v dané budově vedou k razantnímu snížení potřeby tepla dodaného z SCZT. Tato opatření vedou k nárůstu ceny tepla v soustavě CZT a tím i k negativnímu dopadu na budovy, které opatření nerealizovaly. Nemají však významný dopad na ekonomiku úsporného projektu z hlediska investora. Druhou skupinou opatření jsou ta, která vedou k relativně nižší úspoře tepla v budově. Jejich dopad na celkový systém je i při vyšší penetraci opatření v množině budov relativně nízký, ale mohou za těchto podmínek vést k rozdílu mezi plánovanou a skutečnou úsporou nákladů na nákup tepla, což může mít vliv na schopnost investora splácet případný úvěr.

**Klíčová slova:** cena tepla, CZT, SCZT, úspory energie, panelové domy, úsporná opatření, nZEB, pasivní energetický standard, dotace.

## **Abstract**

This dissertation deals with the methodology for a systemic view on impact of savings in district heating system and connected customers. The aim was finding of suitable instrument for the assessment of possible impacts of higher spreading of different energy saving measures in buildings on the price of heat from district heating and customers' payments for heat.

Energy savings lead to reduction of the quantity of heat sold, while heat losses of district heating remain constant. Projecting the heat losses in smaller quantities heat sold leads to an increase of price of the unit heat sold. With higher penetration of radical saving measures in a set of buildings connected to the district heating system, this effect can cause very considerable increase in the price of heat and thereby increase the cost of purchasing heat than originally expected.

Saving measures are intended primarily for cost savings of purchasing of heat. An assumption of investor is the constant price of heat. When more entities within the same system do the same saving measure, the price of heat increases and originally expected financial savings can be considerably reduced.

A mathematical model was constructed to quantify effects of saving measures modifying heat consumption from district heating.

The results obtained by applying the model shows that two main groups of the energy conservation measures can be identified according to their impacts. The first group called critical measures leads to a sharp reduction in the need of heat supplied from district heating. These measures lead to a price increase of heat in district heating systems and thus to a negative impact on the buildings which did not implemented the measures. However, they have no significant impact on the economy of the saving project. The second group of measures includes those that lead to relatively lower energy savings in the building. Their impact on the overall system is relatively low, but they can – from the point of view of the investor – lead to a difference between planned and actual cost savings.

**Keywords:** price of heat, district heating, energy saving, prefabricated houses, energy conservation measures, nZEB, passive energy standard, subsidies.



## **Seznam zkratk**

CZT – centrální zásobování teplem

IROP – Integrovaný regionální operační program

KJ – kogenerační jednotka

NE rekonstrukce – nízkoenergetická rekonstrukce

nZEB – Nearly zero energy standard – téměř nulový energetický standard

OZE – obnovitelné zdroje energie

SCZT – soustava CZT

SVJ – Společenství vlastníků jednotek

TČ – tepelné čerpadlo

ZZT – zpětné získávání tepla



## Obsah

1	Téma a zaměření disertační práce .....	7
1.1	Výzkumná otázka.....	8
1.2	Metodický přístup pro zpracování disertační práce.....	9
1.3	Struktura disertační práce .....	12
2	Současný stav poznání.....	13
2.1	Vývoj CZT v ČR v kontextu sídlišť panelových domů .....	13
2.2	Systémy CZT – zahraniční zkušenosti a tuzemská praxe .....	16
2.2.1	Rozšíření CZT v ČR a v okolních státech.....	16
2.2.2	Závěry Slovenského antimonopolního úřadu.....	17
2.2.3	Reálný případ zvyšování cen tepla jako důsledku úsporných opatření.....	19
2.2.4	Možné reakce dodavatele na snižování spotřeby tepla .....	21
3	Teoretická východiska energetických bilancí soustav CZT a napojených objektů .....	23
3.1	Soustavy CZT a jejich energetická bilance .....	23
3.1.1	Základní uspořádání rozvodů tepla .....	23
3.1.2	Vlastnosti rozvodů z hlediska energetické bilance .....	23
3.1.3	Tepelné ztráty rozvodů – základní principy.....	24
3.2	Energetická bilance na straně odběru tepla.....	29
3.2.1	Stanovení potřeby tepla na vytápění budovy .....	29
3.2.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody .....	30
3.2.3	Odběr tepla během roku .....	31
3.2.4	Vliv úsporných opatření na energetickou bilanci budov .....	33
3.3	Změna ceny tepla při změně množství prodaného tepla .....	37
4	Model pro stanovení energetických bilancí .....	39
4.1	Základní principy .....	39
4.2	Stanovení energetické bilance .....	41
4.2.1	Postup a logika výpočtu.....	47
4.2.2	Posouzení změny ceny tepla .....	48
4.3	Popis modelu – praktická realizace .....	50

4.3.1	Rozvod systému CZT .....	50
4.3.2	Potřeba tepla na vytápění budov .....	51
4.3.3	Příprava teplé vody.....	53
4.3.4	Uspořádání modelu – prostorové vztahy prvků.....	53
4.3.5	Klimatická data .....	54
4.3.6	Technická opatření .....	56
5	Použití modelu pro konkrétní modelový příklad.....	59
5.1	Nastavení cen tepla .....	64
5.2	Vyčíslení skutečné a očekávané ceny tepla.....	65
5.3	Instalace plynové kotelny – odpojení od SCZT .....	66
5.4	Instalace kogenerační jednotky.....	68
5.5	Rekonstrukce do nízkoenergetického standardu.....	71
5.6	Rekonstrukce do pasivního standardu .....	75
5.7	Instalace solárního termického systému pro ohřev vody .....	78
5.8	Instalace solárních systémů spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu .....	81
5.9	Instalace tepelného čerpadla .....	86
5.10	Instalace tepelného čerpadla pro ohřev vody spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu.....	86
5.11	Instalace tepelného čerpadla na vytápění a ohřev vody spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu .....	91
5.12	Diskuse výsledků aplikace modelu na konkrétním případě .....	96
6	Diskuse výsledků.....	99
6.1	Hlavní zjištění analýzy aplikace modelu .....	99
6.2	Omezující podmínky .....	100
6.3	Možné dopady zjištěných výsledků .....	102
7	Rekapitulace výsledků a výzkumné otázky.....	105
7.1	Jaký je vliv nejběžnějších opatření pro úsporu tepla v budovách na cenu tepla? .....	105
7.2	Jak individuální rozhodování odběratelů tepla ovlivňuje chod celého systému CZT a odběratelů? .....	106
7.3	Může realizace úsporných opatření vést k takové změně podmínek, která by změnila původní rozhodnutí pro jejich realizaci? .....	106
7.4	Dílčí cíle práce.....	107
7.5	Možnosti praktického využití modelu .....	108

8	Závěr – náměty na navazující výzkum .....	111
9	Citovaná literatura.....	113
10	Přehled publikací disertanta k tématu disertace .....	117

## Seznam obrázků

Obrázek 1:	Kolbův experimentální cyklus. ....	9
Obrázek 2:	Metodika práce. ....	11
Obrázek 3:	Vývoj průměrné ceny tepla v ČR .....	14
Obrázek 4:	Vývoj spotřeby tepla v objektech BD Orlová. ....	19
Obrázek 5:	Výroba energie v solárních systémech instalovaných v Orlové. ....	20
Obrázek 6:	Porovnání vývoje ceny tepla v Orlové s průměrem ČR.....	21
Obrázek 7:	Roční měrný profil spotřeby teplé vody pro bytové domy (procentní rozložení) (43). ....	31
Obrázek 8:	Potřeba tepla - měsíční průměry. ....	32
Obrázek 9:	Potřeba tepla - denní klimatická data.....	32
Obrázek 10:	Typický průběh energetické bilance solárního systému v bytovém domě během roku. .	34
Obrázek 11:	Základní schéma modelu. ....	39
Obrázek 12:	Vyjádření účelu modelu z hlediska odběratele tepla.....	40
Obrázek 13:	Odvození nové dvojsložkové ceny tepla podle původní ceny, původní energetické bilance a nové energetické bilance.....	40
Obrázek 14:	Vznik energetické bilance systému. ....	41
Obrázek 15:	Roční energetická bilance. ....	42
Obrázek 16:	Celková bilance potřeba tepla v budově.....	43
Obrázek 17:	Výpočet ztráty úseku rozvodu tepla. ....	44
Obrázek 18:	Bilance rozvodů tepla.....	45
Obrázek 19:	Vliv tepelného čerpadla. ....	46
Obrázek 20:	Vliv solárního systému. ....	47
Obrázek 21:	Pohledy na skutečnou budovu.....	52
Obrázek 22:	3D model budovy.....	52
Obrázek 23:	Myšlenkové uspořádání prvků modelu.....	53
Obrázek 24:	Průběh denních teplot během modelového roku. ....	55
Obrázek 25:	Denní hodnoty slunečního záření podle Meteonormu pro konkrétní rok. ....	56
Obrázek 26:	Měrné potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé varianty. ....	60
Obrázek 27:	Porovnání průběhu potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé varianty. ....	60
Obrázek 28:	Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - původní varianta.....	61
Obrázek 29:	Průběh tepelných ztrát a zisků - původní varianta. ....	61
Obrázek 30:	Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - nízkoenergetická varianta.....	62
Obrázek 31:	Průběh tepelných ztrát a zisků - nízkoenergetická varianta. ....	62
Obrázek 32:	Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - pasivní varianta.....	63

Obrázek 33: Průběh tepelných ztrát a zisků - pasivní varianta. ....	63
Obrázek 34: Původní energetická bilance systému.....	67
Obrázek 35: Energetická bilance systému po odpojení 50 % budov.....	67
Obrázek 36: Energetická bilance systému po odpojení 80 % budov.....	68
Obrázek 37: Průběh potřeby tepla.....	69
Obrázek 38: Dodávka tepla z SCZT v případě instalace kogenerační jednotky.....	70
Obrázek 39: Relativní ztráty tepla domovní přípojky u budovy s kogenerační jednotkou. ....	70
Obrázek 40: Rozložení potřeb tepla pro budovu - Původní stav.....	71
Obrázek 41: Energetická bilance systému - původní stav.....	72
Obrázek 42: Rozložení potřeb tepla pro budovu – NE rekonstrukce.....	72
Obrázek 43: Energetická bilance systému – NE rekonstrukce 50 %.....	73
Obrázek 44: Energetická bilance systému – NE rekonstrukce 100 %.....	73
Obrázek 45: Rozložení potřeb tepla pro budovu - Původní stav.....	75
Obrázek 46: Energetická bilance systému - původní stav.....	75
Obrázek 47: Rozložení potřeb tepla pro budovu – pasivní rekonstrukce.....	76
Obrázek 48: Energetická bilance systému – pasivní rekonstrukce 50 %.....	76
Obrázek 49: Energetická bilance systému – pasivní rekonstrukce 100 %.....	77
Obrázek 50: Potřeba tepla na ohřev vody a výroba solárního systému. ....	78
Obrázek 51: Potřeba tepla na přípravu teplé vody a její krytí z SCZT a solárního systému. ....	79
Obrázek 52: Relativní ztráty přípojky SCZT u objektu s instalovaným solárním systémem.....	79
Obrázek 53: Sumární bilance pro jednotlivou budovu – Instalace solárního systému.....	80
Obrázek 54: Sumární bilance pro celý systém - Instalace solárního systému, 100% penetrace opatření. .....	80
Obrázek 55: Průběh potřeb tepla - Pasivní varianta se solárním systémem.....	82
Obrázek 56: Průběh dodávky tepla z SCZT - Pasivní varianta se solárním systémem.....	82
Obrázek 57: Průběh bilance solárního systému - Pasivní varianta se solárním systémem.....	83
Obrázek 58: Průběh relativních ztrát domovní přípojky - Pasivní varianta se solárním systémem.....	83
Obrázek 59: Sumární bilance pro jednotlivou budovu - Pasivní varianta se solárním systémem.....	84
Obrázek 60: Sumární bilance pro celý systém - Pasivní varianta se solárním systémem, 100% penetrace opatření.....	84
Obrázek 61: Vliv penetrace opatření na cenu tepla - Pasivní rekonstrukce se solárním systémem. ...	85
Obrázek 62: Potřeba tepla na vytápění a ohřev vody.....	87
Obrázek 63: Teplo na vytápění a ohřev vody dodané z SCZT.....	87
Obrázek 64: Průběh krytí potřeby tepla na ohřev vody kombinací zdrojů.....	88
Obrázek 65: Relativní ztráty na domovní přípojce.....	88
Obrázek 66: Bilance budovy po rekonstrukci do pasivního standardu a instalaci TČ pro ohřev vody..	89
Obrázek 67: Bilance systému CZT - 50 % pasivních rekonstrukcí s TČ pro ohřev vody.....	89
Obrázek 68: Bilance systému CZT - 100 % pasivních rekonstrukcí s TČ pro ohřev vody.....	90
Obrázek 69: Nárůst ceny tepla v závislosti na podílu zrekonstruovaných budov.....	91
Obrázek 70: Bilance budovy v případě pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění a ohřev vody.....	92

Obrázek 71: Průběh relativních ztrát tepla na domovní přípojce během roku - pasivní rekonstrukce s TČ na vytápění a ohřev vody. ....	92
Obrázek 72: Bilance systému CZT - pasivní standard + TČ pro ohřev vody a vytápění, 50 %. ....	93
Obrázek 73: Bilance systému CZT - pasivní standard + TČ pro ohřev vody a vytápění, 100 %. ....	93
Obrázek 74: Nárůst ceny tepla podle penetrace opatření - pasivní rekonstrukce s TČ pro ohřev vody i vytápění.....	95
Obrázek 75: Porovnání vlivu různých kombinací opatření.....	97

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání rozdílů cen v různých lokalitách. ....	20
Tabulka 2: Měrná denní potřeba tepla podle standardu bydlení. ....	30
Tabulka 3: Přirážka na ztráty tepla při různém způsobu přípravy TV podle TNI 73 0302. ....	31
Tabulka 4: Průměrné teploty v topných obdobích 1998 – 2015 – Hradec Králové. ....	54
Tabulka 5: Porovnání klíčových parametrů variant technického standardu modelové budovy.....	59
Tabulka 6: Parametry tepelné sítě použité v modelu. ....	64
Tabulka 7: Příklad změny ceny tepla po aplikaci úsporných opatření. ....	65
Tabulka 8: Předpokádané a skutečné úspory provozních nákladů po realizaci opatření - příklad. ....	66
Tabulka 9: Změna provozních nákladů pro referenční budovu. ....	66
Tabulka 10: Odpojení objektů od CZT a zvýšení nákladů na teplo pro referenční budovu. ....	68
Tabulka 11: Návrhové parametry kogenerační jednotky. ....	69
Tabulka 12: Změny nákladů na energie v domě rekonstruovaném do NE standardu podle množství rekonstruovaných objektů. ....	74
Tabulka 13: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	74
Tabulka 14: Změny nákladů na energie v domě rekonstruovaném do pasivního standardu podle množství rekonstruovaných objektů. ....	77
Tabulka 15: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	77
Tabulka 16: Parametry návrhového solárního systému.....	78
Tabulka 17: Změny nákladů na energie v domě se solárním systémem podle množství rekonstruovaných objektů. ....	81
Tabulka 18: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	81
Tabulka 19: Změny nákladů na energie v domě rekonstruovaném do pasivního standardu se solárním systémem podle množství rekonstruovaných objektů. ....	85
Tabulka 20: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	85
Tabulka 21: Dimenzování výkonu tepelného čerpadla podle jeho účelu. ....	86
Tabulka 22: Změny nákladů na teplo dodávané z SCZT v domě rekonstruovaném do pasivního standardu a instalaci tepelného čerpadla pro ohřev vody podle množství rekonstruovaných objektů. ....	90
Tabulka 23: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	91

Tabulka 24: Změny nákladů na teplo dodávané z SCZT v domě rekonstruovaném do pasivního standardu a instalaci tepelného čerpadla pro ohřev vody podle množství rekonstruovaných objektů. ....	94
Tabulka 25: Změna nákladů pro referenční budovu. ....	94
Tabulka 26: Vliv opatření na rozdíl mezi očekávanou a reálnou úsporou nákladů a na nárůst nákladů pro referenční budovu při penetraci opatření 50 %. ....	98
Tabulka 27: Vliv opatření na rozdíl mezi očekávanou a reálnou úsporou nákladů a na nárůst nákladů pro referenční budovu při penetraci opatření 100 %. ....	98
Tabulka 28: Vliv penetrace opatření na změnu očekávaných úspor a na změnu ceny tepla. ....	98
Tabulka 29: Přehled opatření. ....	99



## 1 Téma a zaměření disertační práce

Centrální zásobování teplem vyrobeným z kogenerace je bezesporu jedním z environmentálně nejšetrnějších způsobů vytápění objektů a přípravy teplé vody. Přesto jsou teplařenské subjekty laickou veřejností často vnímány negativně, protože jednostranně stanovují cenu dodávaného tepla a odběratelé nemají možnost volby jiného dodavatele. I když jsou ceny v teplařenství státem regulovány, vnímají odběratelé tepla teplařenské subjekty nikoli jako partnera, ale jako protivníka. Právě proto je cena tepla a jakákoli její změna velmi citlivě vnímána.

Odběratelé tepla, kterými jsou nejčastěji SVJ nebo bytová družstva, hledají možnosti snížení nákladů na dodávku tepla a v řadě případů směřuje jejich snaha k úplné změně zdroje tepla spojené s odpojením od systému CZT. Na základě letitých zkušeností autora této práce s konzultační činností určené veřejnosti lze konstatovat, že v některých případech nejde o racionální ekonomickou úvahu, ale především o snahu zbavit se závislosti na dodavateli tepla. Této situace využívají dodavatelé různých alternativních technologií, například lokálních plynových kotelen, kteří nedostatečně informovaným vlastníkům budov předkládají neúplná srovnání nákladů při alternativních řešeních (např. porovnávají pouze palivové náklady a nezahrnují nutnost tvorby rezervy potřebné pro obnovu zařízení).

Z pohledu teplařenského subjektu je smluvní vztah s odběrateli tepla poměrně bezpečný. Odpojení odběratelů od SCZT brání řada technických i administrativních překážek a regulace cen umožňuje dodavateli do značné míry promítnout své náklady do koncové ceny. Situace dodavatele tepla se ale může změnit v případě, kdy je systém SCZT zcela výrazně předdimenzovaný, například po realizaci plošných úsporných opatření v budovách. V tomto případě přestávají nést zátěž spojenou s neefektivním systémem pouze odběratelé a je přenesena na dodavatele tepla. V určitých případech tento stav pak může způsobit jeho finanční a ekonomickou nestabilitu.

Z hlediska fyzického uspořádání tepelných sítí v tomto oboru nehrozí v krátkodobém horizontu přímá konkurence. Teplařenství je tak velmi konzervativním odvětvím energetiky.

V současné době nastává jistý posun. Od roku 2018 budou muset všechny budovy s podlahovou plochou větší než 1500 m<sup>2</sup> procházející významnou rekonstrukcí splňovat požadavek na téměř nulový energetický standard (nZEB). Tento požadavek bude v dalších letech rozšiřován i na menší objekty. V evropské legislativě (1) je nZEB definován takto: „Budovou s téměř nulovou spotřebou energie“ je budova, jejíž energetická náročnost určená podle přílohy I je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné“. I když je tuzemská implementace (2) velmi málo náročná ve svých požadavcích, lze očekávat, že v budoucnu přinese směřování k evropské legislativě tak, jak je požadavek formulován. Praktická aplikace rekonstrukcí budov do nZEB přinese významné snížení energetické náročnosti při každé větší rekonstrukci bytového domu.

Dalším faktorem vedoucím k rozhodování pro investice do energeticky úsporných opatření jsou dotační programy určené k podpoře úspor energií a vyššího využití OZE. V současné době je otevřená výzva Nová zelená úsporám, která nabízí dotace na zateplování budov, instalaci solárních systémů, na instalace větracích systémů se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu a systémů pro získávání tepla z odpadní vody (3) a pro mimopražské projekty je k dispozici podpora z IROP (4).

Kombinace všech těchto faktorů směřuje k podpoře trendu snižování odběru tepla ze systémů CZT, a to jak snižováním potřeby tepla (zateplování), tak i náhradou dálkového tepla výrobou z lokálních zdrojů (např. solární systémy).

## 1.1 Výzkumná otázka

Jestliže klesne množství tepla prodaného koncovému odběrateli a současně se nezmění množství tepla spojené s pokrytím tepelné ztráty distribuční sítě, lze očekávat, že teplárenský subjekt zvýší cenu prodáváného tepla pro pokrytí nákladů na celkově vyrobené teplo, pokud mu v tom nezabrání regulace trhu. (V případě, že regulace trhu znemožní zvýšení ceny tepla účtované koncovým odběratelům, půjdou náklady na pokrytí ztrát tepelné sítě k tíži dodavatele tepla. Použitý model však nezahrnuje zdroj tepla a ekonomický subjekt dodavatele, proto je přijat zjednodušený předpoklad promítnutí snížené efektivity systému do ceny tepla.) Implementace opatření snižujících potřebu tepla v budovách připojených na SCZT tak mohou vést ke zvýšení jednotkové ceny tepla dodávaného z SCZT.

Zvýšení jednotkové ceny tepla z SCZT může vést ke zvýšení nákladů na nákup dodávaného tepla na straně odběratelů. V případě vyššího rozšíření úsporných opatření se mohou náklady značně zvýšit jak pro objekty s implementovaným opatřením, tak i pro ostatní objekty.

Zvýšení celkových nákladů na nákup tepla může způsobit odchylku mezi finanční rozvahou vlastníka budovy před implementací úsporného opatření a poté, co je podobné opatření realizováno ve větším množství jiných budov.

Na základě těchto předpokladů byly výzkumné otázky formulovány takto:

- 1. Jaký je vliv nejběžnějších opatření pro úsporu tepla v budovách na cenu tepla?**
- 2. Jak individuální rozhodování odběratelů tepla ovlivňuje chod celého systému CZT a odběratelů?**
- 3. Může realizace úsporných opatření vést k takové změně podmínek, která by změnila původní rozhodnutí pro jejich realizaci?**

Na formulované výzkumné otázky navazují dílčí cíle práce:

1. Návrh modelu popisujícího energetickou bilanci soustavy SCZT a připojených spotřebičů tepla
  - a. Návrh modelové budovy a způsobu výpočtu potřeby tepla v denním kroku
  - b. Návrh výpočtu pro stanovení tepelných ztrát rozvodů tepla v denním kroku

- c. Nastavení vazeb mezi potřebou tepla v budovách a parametry tepelné sítě (teploty média, rychlosti proudění apod.)
- 2. Návrh obecného katalogu technicky a ekonomicky možných úsporných opatření
  - a. Definice opatření
  - b. Nastavení výpočtu účinků opatření v závislosti na měnících se podmínkách (výroby tepla z alternativních zdrojů)
  - c. Vztahy mezi opatřeními (priority využívání tepla z různých zdrojů podle výhodnosti)
- 3. Finanční model popisující změnu ceny tepla a její struktury postavený na finanční metodice vyvinuté pro tuto specifickou úlohu a navázaný na energetický bilanční model
  - a. Způsob zahrnutí ztrát v systému do ceny tepla
  - b. Způsob výpočtu nové ceny tepla
  - c. Způsob výpočtu nových nákladů na teplo pro budovy s opatřeními a bez nich.
- 4. Prezentace výsledků pro různé podíly budov s různými kombinacemi opatření.

Z praktického hlediska je cílem práce vytvoření simulačního modelu, který by bylo možno po úpravách použít pro simulaci skutečné, nepřilíš rozsáhlé soustavy CZT, a využít jej pro modelování možných scénářů dalšího vývoje pro strategické plánování.

## 1.2 Metodický přístup pro zpracování disertační práce

K řešení problému byla použita jak induktivní, tak i deduktivní metoda a byly využity zejména kvantitativní metody.

Deduktivní metoda je popisována v literatuře jako testování teorie prostřednictvím pozorování empirického světa, zatímco induktivní metoda spočívá ve vytváření teorie až jako výsledku pozorování (5). V případě této práce byla nejdříve stanovena teorie v širším smyslu a po zkoumání vazeb mezi jednotlivými prvky zkoumaného systému byla tato teorie dále rozvedena a upřesněna. Tento postup popisuje Kolbův experimentální cyklus (6).



**Obrázek 1: Kolbův experimentální cyklus.**

Popis metody jako kvantitativní neodpovídá úplně zcela obvyklému vnímání tohoto termínu. Kvantitativní analýza je definována například jako „množina technik, které zaznamenávají četnost nebo výskyt určitých hodnot“ (7). Tato práce není založena pouze na měření reálných hodnot, ale na analýze hodnot generovaných matematickým modelem pracujícím na základě znalostí vztahů a vnitřních principů prvků definovaného systému. Do modelu vstupují základní vlastnosti prvků systému definované na základě typických hodnot (jako je obvyklý časový průběh a obvyklá měrná potřeba teplé vody), výpočtových hodnot (jako je vypočítaná měrná tepelná ztráta, vnitřní a měrné venkovní tepelné zisky modelové budovy) a hodnot získaných na základě měření (klimatické údaje konkrétního období a lokality). Z těchto vstupů se na základě výpočetních vztahů podle norem a obvyklých výpočetních postupů stanovují další odvozené hodnoty.

Pro tento účel je podstatné vymezení hranice zkoumaného systému. Systém definují různí autoři odlišnými způsoby, nicméně pro daný účel lze použít definici „*Systém je účelově definovaná neprázdná množina prvků a množina vazeb mezi nimi, přičemž vlastnosti prvků a vazeb mezi nimi určují vlastnosti (chování) celku*“ (8).

Pro vymezený systém je stanoven účel, struktura, vlastnosti prvků, vlastnosti vazeb mezi prvky a okolí systému (9). Systém je pak popsán pomocí modelu. Obecná definice modelu říká, že „*Model je každé účelové a zjednodušené zobrazení skutečnosti*“ (8).

Systém je pro účel modelu stanoven takto:

- Tepelná síť SCZT od paty zdroje dále (není zahrnut zdroj tepla ani subjekt dodávající teplo)
- Soubor připojených budov, ve kterých vzniká potřeba tepla na vytápění a ohřev vody, a jejichž vlastníci nesou náklady na dodávku tepla a mohou realizovat různá úsporná opatření snižující dodávku tepla z SCZT.

Soubor budov může být v reálné situaci jakkoli početný, ale v modelu je použito deset pomyslných budov, které reprezentují 10% části souboru budov. Model tedy pracuje s deseti objekty, u nichž je možno navrhovat zvažované úpravy. Toto je ale třeba chápat jako 10% krok při změně v celém souboru budov.

Pokud není uvedeno výslovně jinak, termín „náklady“ ve spojení s dodávkou tepla označuje platby odběratele. Hranice zkoumaného systému nezahrnuje výrobu tepla ani subjekt dodavatele.

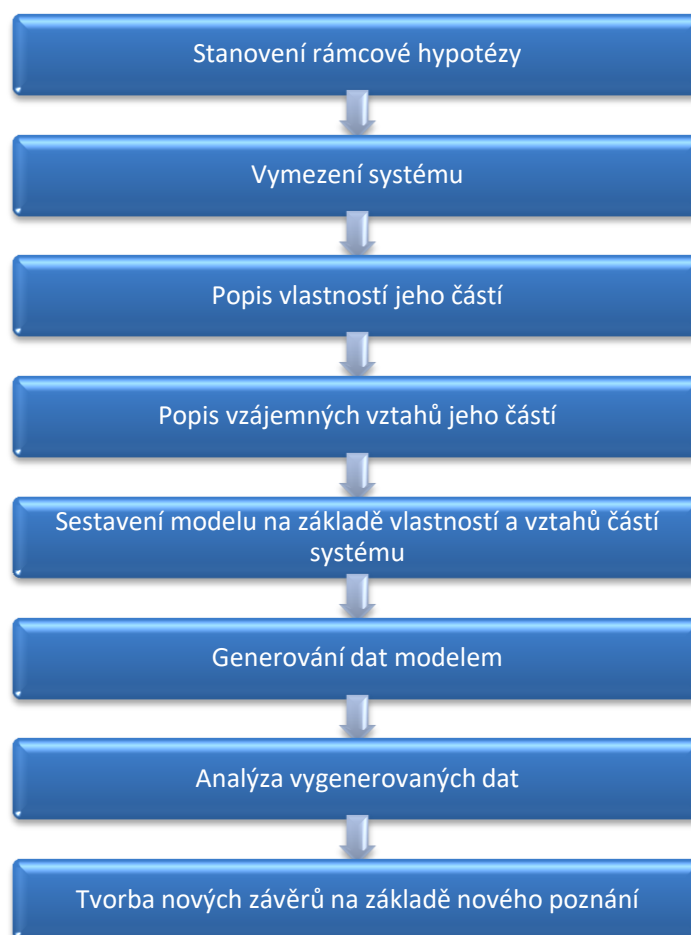
V případě implementace opatření směřujících ke snížení plateb za teplo v budovách (nákladů odběratele na nákup tepla) mohou být jedno nebo více opatření navrženo v jedné nebo více pomyslných budovách. V tomto případě je používán termín „referenční budova“, který označuje pomyslnou budovu, u které opatření nebyla implementována. Referenční budova je při výpočtech použita i při teoretické situaci, kdy je nastavena implementace změn ve všech deseti pomyslných budovách, tedy je zobrazeno nastavení úprav ve 100 % souboru budov. Tento zdánlivý rozpor je možno vysvětlit situací, kdy by byly rekonstruovány téměř všechny budovy reálného souboru budov a

je zjišťován dopad této situace na poslední nebo několik posledních, které opatření neimplementovaly. Model pracující v 10% kroku tuto situaci neumožňuje zobrazit jinak.

Vstupními daty do modelu jsou data měřená (klimatická data), data vypočtená na základě dat měřených (parametry budovy, jako jsou tepelné toky apod.) a data odvozená na základě předpokladů a obecných vztahů (tepelné ztráty rozvodů tepla). Dalším vstupním parametrem je zvolená stávající cena tepla a poměr mezi cenou za sjednané a odebrané množství. Model pracuje s dvojsložkovou cenou tepla.

Model zpracovává detailní energetickou bilanci popsaného systému v denním kroku. Na základě simulace energetické bilance lze z modelu kromě jiných informací získat údaje o změnách položek energetické bilance a jejich promítnutí do ceny tepla a jejích složek.

Metodika této práce tedy postupuje následující cestou:



**Obrázek 2: Metodika práce.**

### 1.3 Struktura disertační práce

Disertační práce má následující části:

- V kapitole 1 je vysvětlen účel práce, definován problém a je formulována výzkumná otázka.
- V kapitole 2 je provedena rešerše současného stavu poznání.
- Třetí kapitola shrnuje teoretická východiska. Tato část popisuje normy, výpočetní vztahy a logická východiska, která byla použita pro zpracování modelu a následné prezentace výsledků formou disertační práce. V této části se objevují jednak obecné popisy, informace a dále vstupy převzaté z literatury.
- V kapitole 4 je detailně popsán model od vstupních prvků, kterými jsou budovy a rozvody tepla, přes vliv jednotlivých typů opatření na energetickou bilanci, až po část navazující finanční analýzy. Ve druhé části kapitoly je popsána technická realizace modelu.
- V kapitole 5 jsou prezentovány výstupy aplikace modelu na konkrétním modelovém případě. Kapitola shrnuje výsledky pro jednotlivé varianty nastavení modelu, které zobrazují vliv různých opatření a jejich kombinací. Výčet není vyčerpávající, jsou zde zachyceny pouze zajímavé varianty. Výsledky jsou prezentovány formou celkové energetické bilance, průběhem potřeb tepla a jejich krytí během modelového roku a formou vyčíslení dopadů opatření nebo jejich kombinace na cenu tepla z hlediska rekonstruovaného objektu i objektu v původním stavu. Dále jsou v některých případech vyčísleny relativní ztráty tepla na domovní přípojce, které prezentují průběh efektivity propojení budovy se systémem CZT. Z pohledu výzkumné otázky jsou klíčovými výstupy následující hodnoty:
  - Očekávané platby za teplo po provedení opatření a očekávaná výše finanční úspory.
  - Skutečné platby za teplo po provedení opatření a skutečná výše finanční úspory.
  - Změna plateb za teplo u budov, kde nebyla realizována žádná úsporná opatření.
- Diskuse výsledků v kapitole 6 shrnuje hlavní závěry analýzy dříve shromážděných informací a rozebírá omezení a míru věrnosti modelu. Dále jsou zde probírány možné dopady zjištěných důsledků.
- Kapitola 7 – Rekapitulace výsledků – vyhodnocuje zodpovězení výzkumné otázky a konstatuje naplnění cílů práce.
- Závěrečná kapitola 8 nabízí možnosti rozvinutí tématu v několika různých směrech.

## 2 Současný stav poznání

### 2.1 Vývoj CZT v ČR v kontextu sídlišť panelových domů

Teplárenství v ČR má dlouhou tradici. Původně toto odvětví vzniklo ve třicátých letech minulého století ve spojení s rozvojem těžkého průmyslu. První systémy CZT využívaly jako médium páru – jako příklad je možno jmenovat pražskou parní soustavu napojenou na elektrárnu v Holešovicích (10).

Největší rozmach zažily systémy CZT v padesátých a šedesátých letech minulého století, kdy se po sovětském vzoru začala budovat sídliště panelových domů. Tyto nové aglomerace vznikaly pro řešení potřeby ubytování velkého množství pracovníků nově vzniklých nebo rozšiřovaných průmyslových oblastí. Sídliště vznikala souběžně s budováním průmyslových závodů a stejně jako nové byty sloužily průmyslu, obráceně i průmysl sloužil jim: domy byly zásobovány teplem z podniků. Centrální socialistické plánování tak umožnilo vznik na tehdejší dobu velmi pokrokových a kvalitních řešení, které v západní části Evropy nemají v tomto rozsahu analogii.

V sedmdesátých a osmdesátých letech se masivní rozvoj těžkého průmyslu zpomalil. Kvůli omezeným investičním prostředkům se budovaly spíše menší zdroje tepla – okrskové sídlištní výtopny. Tyto tepelné zdroje měly horší technické parametry kvůli absenci některých prvků měření a regulace a jejich provoz byl dražší v souvislosti s využíváním ušlechtilějších paliv (11).

Výstavba panelových sídlišť se zcela zastavila začátkem 90. let v souvislosti se společenskými změnami v ČR. V dnešní době jsou tepelné sítě provozovány víceméně v rozsahu, který vznikl v minulém století. I když jsou na systémy CZT napojovány i nové budovy, tepelné sítě se z hlediska rozsahu ve větším měřítku dále nerozvíjejí. Jejich vlastníci a provozovatelé se soustředí na údržbu a obnovu zařízení a na nezbytně nutnou ekologizaci.

Díky historickému procesu popsanému výše jsou největšími odběrateli tepla z SCZT soubory panelových domů. V ČR je cca 30 % celkového bytového fondu tvořena panelovou technologií a 55 % bytů v bytových domech je právě panelových. Statistiky uvádějí asi 1,2 milionu bytů ve 200 tisících panelových domů. Největší podíl panelových domů je v Moravskoslezském, Ústeckém a Zlínském kraji (více než 40 %) (12).

I když byla technická doba životnosti těchto objektů plánována na 40 let, v roce 2011 bylo 30 % panelových bytů starších než tato předpokládaná doba životnosti a dalších 40 % se jí blížilo (stáří větší než 35 let) (12). V dnešní době to tedy znamená, že celých 70 % bytů v panelových domech je za hranicí původně plánované životnosti.

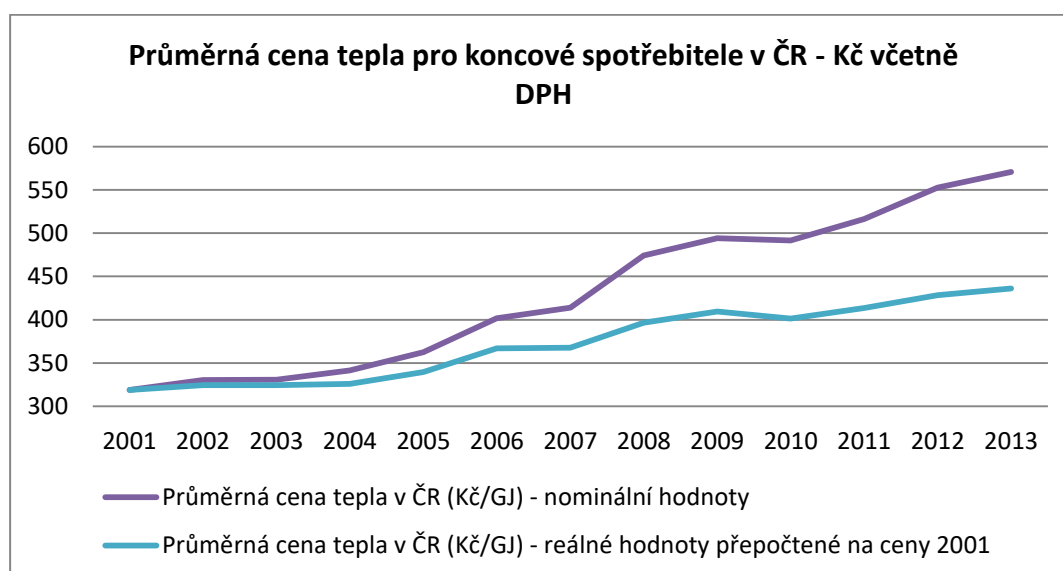
Po pádu centrálně řízeného socialistického hospodářství v roce 1989 nastal růst cen tepla. Ceny tepla za socialismu byly velmi nízké a byly součástí prezentovaných výtoků socialistického zřízení pro obyvatelstvo, stejně jako ceny základních potravin. Tyto ceny neodpovídaly skutečným nákladům na výrobu a rozdílly byly kompenzovány jinde. Např. v Praze byly náklady v roce cca 1990 cca 100 Kč/GJ,

z toho asi polovina této částky byla dotována z tržeb za elektřinu, což se odehrávalo v rámci ČEZ. Dalších asi 20-25 Kč/GJ bylo přímo dotováno z rozpočtu města, takže zákazník reálně platil asi 25 Kč/GJ. Po změně společenského uspořádání již nebylo možno peníze a hodnoty v ekonomice libovolně přelévát a stejně jako u jiných položek i cena tepla musela začít reflektovat reálné ekonomické principy. Ze sociálních důvodů byla v prvních letech cena tepla pro obyvatelstvo dotována (a do nynější doby podléhá regulaci a doзору státu). Přesto ceny tepla (i ostatních energií) rostly rychleji než příjmy obyvatel a dodávka tepla do budov se stala velmi diskutovaným tématem.

Kromě tlaku z hlediska nákladů se začal nově objevovat i zájem státu na snižování environmentálních dopadů výroby a spotřeby energií. Tento vliv vyústil na jedné straně v nové požadavky legislativy a norem a na straně druhé ve finanční podporu úsporných projektů. Výsledky se projevily na straně výroby tepla (moderní systémy spalování, odsířování zdrojů), na straně účinnosti dodávky tepla (dodatečná instalace regulačních prvků, moderních výměníků apod.), ale zejména na straně potřeby tepla.

Růst nákladů v teplárenství byl mimo jiné spojen s historickými cenami dříve pořizovaného majetku a s cenami, za které bylo možno po roce 1990 v otevřeném tržním prostředí majetek obnovovat. V účetnictví byl tento majetek veden v původních hodnotách a tomu odpovídaly i odpisy. Teprve po rekonstrukci byla v účetnictví zobrazena nová hodnota majetku a tím i reálná výše odpisů. I to bylo jedním z důvodů růstu cen tepla zejména v devadesátých letech.

Bytové domy se z majetku státu a obcí převáděly do vlastnictví jejich uživatelů. Vznikala bytová družstva a společenství vlastníků jednotek. Koncoví spotřebitelé tepla tak mohli poprvé ovlivnit množství nakupovaného tepla.



**Obrázek 3: Vývoj průměrné ceny tepla v ČR**

Na obrázku nahoře je znázorněn vývoj cen tepla v průběhu třinácti let. Ceny rostly nejen v nominálních hodnotách, ale i v reálných hodnotách. (13), (14).



Všechny výše uvedené faktory vedly k velkému rozmachu rekonstrukcí panelových budov. Komplexní rekonstrukce řešily nejen obnovu technických zařízení budovy, jako jsou rozvody vody a tepla, ale i sanaci obvodového pláště budovy. První úsporné projekty zahrnovaly výměny dosluhujících oken a zateplení obvodových stěn nepřiliš velkými tloušťkami izolace (obvykle 4 – 6 cm). Později se začaly objevovat zateplení o tloušťkách 8 a 10 cm a v dnešní době se běžně používají zateplovací systémy s 12 – 14 cm izolantu. Rozšířila se i škála opatření – kromě zateplení stěn se u komplexních projektů dodatečně izolují i střechy a strop technického podlaží, což zásadně zlepšuje tepelně-technickou kvalitu obálky budovy. U kvalitně provedené rekonstrukce klesá potřeba tepla běžně pod 50 % původní hodnoty (15). Podle (16) je při středně kvalitní renovaci rezidenční budovy pokles potřeby tepla na vytápění 45 % a při důkladné renovaci na pasivní standard 81 % původní hodnoty. Pro teplou vodu se podle stejného zdroje odhaduje úspora na 30 %.

Současná praxe rekonstrukcí panelových domů spočívá zejména v aplikaci dodatečných tepelných izolací obálky budovy. Dalším logickým krokem je instalace strojního větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu. Kombinací nadstandardních tepelných izolací a větracího systému se ZZT je možno zrekonstruovat panelovou budovu do energetického pasivního standardu (alespoň pokud jde o měrnou potřebu tepla na vytápění). Pasivní dům byl v minulosti definován právě měrnou potřebou tepla na vytápění nižší nebo rovnou 15 kWh/m<sup>2</sup>, rok, nicméně vzhledem k tomu, že se k tomuto termínu vztahují například některé certifikáty nebo dotační tituly, je v současnosti pro splnění definice pasivního domu zapotřebí splnit i další požadavky, jako je dodaná energie, dodaná primární energie, neprůvzdušnost obálky budovy nebo letní tepelná stabilita (17). Mezinárodní etalon pro hodnocení pasivních domů pomocí výše uvedených parametrů vytvořil Passivhaus Institut v Darmstadtu. V českém prostředí se tento termín objevuje v TNI 73 0329 (rodinné domy) a TNI 73 0330 (bytové domy) s poněkud mírnějšími požadavky (výpočet energeticky vztažené plochy zahrnuje celkovou plochu podlaží ohraničenou vnitřním lícem obvodových stěn, tedy plocha je větší než podle PH Institutu, a hranice je posunuta na 20 kWh/m<sup>2</sup>, rok). Tuzemská metodika také počítá s normalizovanými a nikoli skutečnými okrajovými podmínkami výpočtu. I když není termín „pasivní dům“ zakotven v legislativě, odvolával se na něj například program podpor Zelená úsporám. Pokud je v dalším textu použit termín Pasivní standard, je míněna budova s měrnou potřebou dodané energie na vytápění menší nebo rovnou 15 kWh/m<sup>2</sup>, rok, aniž by bylo zkoumáno, zda jsou splněny i všechny ostatní podmínky definice podle PH Institutu nebo TNI 73 0330.

První projekt rekonstrukce panelové budovy do (téměř) pasivního standardu proběhla v letech 2003 – 2005 v Maďarsku. V rámci projektu Solanova byl zrekonstruován panelový dům ve městě Dunaújváros do stavu, kdy byla následně naměřena měrná spotřeba tepla na vytápění 20 kWh/m<sup>2</sup>,rok (18). První tuzemské rekonstrukce proběhly v Brně – Lískovci, ale výsledky neodpovídaly očekávání (19). Podařenou kvalitní rekonstrukcí do pasivního standardu je například rekonstrukce bývalé školy v Dubňanech, ze které je nyní bytový dům (20). I když zatím rekonstrukce panelových domů do pasivního standardu nejsou v ČR běžné, je pravděpodobné, že se rozšíří v příštích letech v souvislosti s požadavky na téměř nulový energetický standard.

## 2.2 Systémy CZT – zahraniční zkušenosti a tuzemská praxe

Systémy CZT jsou obecně vnímány jako jedna z možností snižování environmentální zátěže, zejména efektu globálních klimatických změn (21). Stejně tak jsou považovány za velmi ekonomické řešení umožňující využívat zdroje s vysokou účinností (kogenerace) a odpadní teplo z průmyslových procesů.

V zahraničí jsou systémy CZT řazeny také mezi pokroková řešení typu Smart Energy System (22), která umožní skladování energie, využití solární energie a dokonce umožní propojení tepelně – energetického, dopravního a elektro – energetického systému. V ČR však v současné době podobné vize chybějí. Teplárenské subjekty se brání připojování zdrojů s nestandardními parametry do soustav, protože v současnosti tyto soustavy nejsou na podobné kombinace technologicky ani strategicky připraveny. Kromě toho nesou CZT i odpovědnost za zaručenost dodávek tepla, což neumožňuje přílišné snižování instalovaného výkonu. Při zapojení alternativního zdroje do soustavy by se změnilo pouze marginální náklady na palivo a další položky související se spotřebou, ale nikoli stálé náklady.

Z některých publikovaných informací vzniká dojem, že teplárenské subjekty trendy poklesu spotřeby energií nevnímají dostatečně a nepřipravují se na ně. MPO ČR (16) uvádí, že v roce 2011 byla spotřeba energie v rezidenčním sektoru 246 – 252 PJ, z toho 40 PJ připadalo na domácí spotřebiče. Na teplo tedy připadalo téměř 204 – 212 PJ. Výraz „téměř“ je použit proto, že bilance MPO pracují s typy spotřeb energií podle kategorizace Zákona o hospodaření energií 406/2000 Sb., což je vytápění, chlazení, větrání, ohřev vody a osvětlení. V rezidenčních budovách v ČR se v naprosté většině případů nevyužívá strojní větrání a chlazení a spotřeba energie na osvětlení je oproti spotřebě tepla na vytápění a ohřev vody relativně malá. Podle různých scénářů lze do roku 2040 očekávat úsporu energie mezi 29 a 108 PJ. Doporučený scénář pak počítá s úsporou cca 87 PJ, což znamená cílovou spotřebu tepla cca 122 PJ. Jde tedy o pokles o 41 %. (23) tuto informaci dává do souvislosti s dokumentem (24), kde je uvedeno, že optimalizovaný scénář vývoje energetiky do roku 2040 počítá s nárůstem celkové spotřeby energie z původních 1131,8 PJ v roce 2010 na 1146,4 PJ v roce 2040, přičemž spotřeba tepla klesne z původních 119,7 PJ na 113,7 PJ. (23) dovozuje, že by to znamenalo nutný nárůst tržního podílu CZT na dodávkách tepla pro rezidenční sektor o 20 %, což ale současně zpochybňuje. Tento rozpor hovoří o tom, že teplárenské odvětví dosud nezačalo vnímat trend úspor v rezidenčním sektoru, jenž je jeho hlavním odběratelem, a že nehledá cesty k změně technickoekonomického modelu.

### 2.2.1 Rozšíření CZT v ČR a v okolních státech

V ČR je podíl počtu bytů připojených na SCZT 38 % (25) a počet obyvatel napojených na SCZT je podle (26) 35 %. Je to způsobeno právě historickým vývojem, kdy teplárenský subjekt získal monopolní postavení ve svém území a v době tržní ekonomiky již existovaly pevně nastavené vazby mezi dodavatelem a odběratelem.

Porovnáme-li tuto hodnotu s evropskými státy, zjistíme velké rozdíly (26). Podobnou penetraci CZT (vzato vzhledem k počtu obyvatel) mají Rumunsko (31 %), Slovensko (40 %), a Švédsko (42 %). Větší podíl CZT mají Finsko, Bělorusko, Dánsko, Estonsko, Polsko (50- 53 %), významně vyšší pak Ukrajina, Litva, Lotyšsko a Rusko (65 – 70 %) a vzhledem ke geologickým podmínkám Island (85 %). Naopak nižší podíl CZT lze najít v Německu (12 %), Srbsku (13 %), Rakousku (14 %), Slovinsku, Chorvatsku, Maďarsku a Bulharsku (15 – 20 %). Podíl CZT v rozmezí 1 – 4 % mají Švýcarsko, Británie, Řecko, Nizozemí, Norsko a Francie. Důvody jsou v řadě případů zjevné. Vysoká nebo střední penetrace CZT je běžná v zemích s bývalými centrálně plánovanými ekonomikami a chladnějším podnebím (Rusko, Ukrajina, pobaltské státy, Polsko, bývalé Československo. Nadstandardní podíly mají i teplejší země bývalého socialistického bloku (Maďarsko, Bulharsko, Rumunsko a bývalá Jugoslávie). Zde systémy CZT vznikly s přispěním státního plánování. V malé části zemí vznikly rozsáhlé systémy CZT proto, že byly z hlediska ekonomického a lokálních podmínek výhodnější než ostatní možnosti (Finsko, Dánsko). Případy Švédska a Norska stojících na opačných pólech lze zdůvodnit tím, že Švédsko má významnou část energetiky postavenou na využívání odpadů, které sváží i z okolních zemí, zatímco Norové vsadili na hydroelektrárny, které jim dodávají levnou a čistou elektřinu, takže i v chladném podnebí Norska je většina domů vytápěna elektricky. U států jako je Itálie nebo Řecko nepřekvapí, že se systémy CZT téměř nevyskytují. Zajímavé je ale to, že u zemí podobného klimatického pásma jako je naše, tj. v Německu, Rakousku, Nizozemí, Francii a Británii jsou systémy CZT rozšířeny mnohem méně. V otevřené tržní ekonomice se mohly objevit pouze tam, kde byly i přes počáteční investiční náročnost výhodnější než ostatní možnosti. Kromě SCZT zásobujících velké budovy a jejich skupiny se v zahraničí objevuje i varianta zásobování rodinných domů (27).

Soustavy CZT ve volném tržním prostředí musejí být pochopitelně ekonomicky konkurenceschopné, což je velmi často diskutováno v odborné literatuře (28), (29), (30), (31). I když nelze popřít jejich systémovou prospěšnost (vyvedení zdrojů emisí z hustě obydlených oblastí, významná regulační funkce v oblasti vyrovnávání špiček výroby elektrické energie apod.), z hlediska odběratele je podstatná cena dodávaného tepla. Od té se odvíjí i možný podíl na trhu s teplem pro vytápění a ohřev vody pro domácnosti. V některých zemích, například v Dánsku, je CZT velmi užívaným zdrojem tepelné energie, a to i pro rodinné domy. Celkově je v Dánsku napojeno na CZT cca 60 % domácností. I zde však není zcela všude ekonomicky konkurenceschopné. Podle článku (32) je v Dánsku z ekonomického pohledu odběratele tepla potenciál tržního uplatnění SCZT oproti lokálním zdrojům pouze 9 %, což odpovídá množství případů, kdy je cena tepla z SCZT výhodnější než z jiného lokálního zdroje.

### **2.2.2 Závěry Slovenského antimonopolního úřadu**

Zajímavý byl v této souvislosti dokument slovenského antimonopolního úřadu (URSO) (33), kde je celá situace vztahů mezi provozovatelem SCZT a odběrateli tepla velmi podrobně a srozumitelně rozebrána. Systémy CZT jsou zde popsány jako přirozené monopoly, které vnikají proto, že pro zřízení

infrastruktury jsou nutné vysoké vstupní náklady, takže budování paralelní struktury jiným subjektem je neefektivní. Existence podobného monopolu znamená, že konečnému spotřebiteli mohou být účtovány ceny vyšší, než by tomu bylo v otevřeném tržním prostředí, čemuž má bránit státní regulace. Tato regulace může mít i podobu pravidel pro přístup třetích stran do sítí, což je praktikováno zejména v severských zemích. Další vlastností systémů CZT je i značná výše nákladů na změnu jako reakci na změnu na straně odběru a stejně i naopak i na straně odběratele existují vysoké náklady při přechodu na jiný zdroj vytápění. (Do nákladů na změnu se započítávají kromě vlastní investice také náklady na rozhodovací proces a náklady spojené s nejistotou úspěšnosti výsledku (34)).

Slovenský antimonopolní úřad pojmenoval důvody hlavních problémů současných systémů CZT na Slovensku – jsou jimi technická a ekonomická neefektivnost systémů CZT, dále přístup k odběratelům a chování odběratelů a konečně nedostatečné nastavení legislativních a regulačních opatření ze strany státu. Pro tuto práci jsou podstatné první dva:

Technická a ekonomická neefektivnost je spojena se zastaralostí některých systémů, které vykazují velké tepelné ztráty rozvodů. Kromě toho je značným problémem celková předimenzovanost rozvodů.

Přístup k odběratelům a chování odběratelů jsou dvě strany téže mince. Dodavatelé tepla v období 90. let museli přizpůsobit cenotvorbu liberalizovaným cenám vstupů a to vedlo ke zvyšování cen tepla pro odběratele. Díky svému přirozenému monopolu však nemuseli vůči odběratelům jednat tržně a zefektivňovat své systémy a vhodným způsobem komunikovat s odběrateli. To způsobilo v řadě případů negativní vztahy mezi oběma stranami. Odběratelé tak využívají nabídek např. dodavatelů plynových kotlů, kteří často používají neférové praktiky, a snaží se od SCZT odpojit. Dokument (33) uvádí případy, kdy kvůli nesprávným informacím prodejce kotlů vznikly po odpojení a přechodu na lokální zdroj vyšší náklady než původní, takže se objekty paradoxně opět na SCZT připojovaly.

Slovenský antimonopolní úřad uložil v řadě případů pokuty městům, která bránila vlastníků budov v odpojování od SCZT a výstavbě lokálních zdrojů. Nevydání stavebního povolení bylo interpretováno jako porušení hospodářské soutěže. V analýze však úřad uvádí, že *„každé odpojení od CZT má vždy dopad na dvě skupiny spotřebitelů. První skupinou jsou odpojující se obyvatelé, kteří od odpojení očekávají zejména snížení nákladů na tepla a TV. Odpojení však ovlivňuje i druhou skupinu spotřebitelů, a to těch, kteří nadále zůstávají napojeni na centrální tepelnou soustavu. Pro tyto odběratele se ekonomické dopady projevují změnou ceny tepla na vytápění a TV, a to zejména v její fixní části.“* (33). Následně jsou vyčíslovány hodnoty pro zvýšení nákladů ostatních spotřebitelů po odpojení případového bytového domu. URSO proto stanovuje, že při odpojení budovy od SCZT musí vlastník budovy uhradit náklady, které tím vzniknou.

Podobně i publikace (10) vyčísluje nárůst ceny tepla dodávaného z CZT po aplikaci úsporných opatření v souboru budov. Ke stejnému závěru pak dochází i (35), který uvádí, že při 50% úsporách

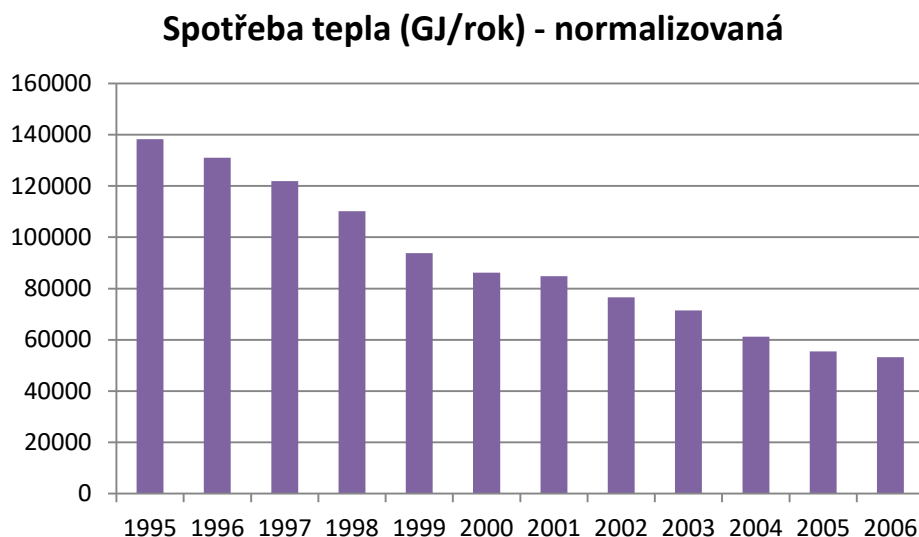
tepla v budovách napojených na SCZT může vzrůst cena tepla o 40 % z původních 500 Kč/GJ na 700 Kč/GJ. Tato cena tepla již umožňuje vstup jiným technologiím lokální výroby tepla.

### 2.2.3 Reálný případ zvyšování cen tepla jako důsledku úsporných opatření

Velmi dobře zdokumentovaným příkladem zvyšování cen tepla jako důsledku úsporných opatření je městečko Orlová v Moravskoslezském kraji. Toto městečko má asi 30 tisíc obyvatel a téměř celé je tvořeno panelovými domy. Původní historické jádro muselo ustoupit těžbě uhlí a pro ubytování horníků byla postavena sídliště.

Městský bytový fond ovládá Bytové družstvo Orlová, které vlastní a spravuje většinu budov. V roce 1997 začaly v tomto centrálně spravovaném systému velmi důkladné rekonstrukce budov, které zahrnovaly řadu opatření včetně zateplení obvodových plášťů domů. Později začaly být instalovány i solární termické systémy používané pro ohřev vody. Masivněji se rozšířily po roce 2007 a jejich instalace pokračovaly po několik následujících let. Orlová se stala ukázkou kvalitního přístupu k revitalizaci panelových sídlišť a zástupci BD prezentovali své výsledky na různých odborných setkáních.

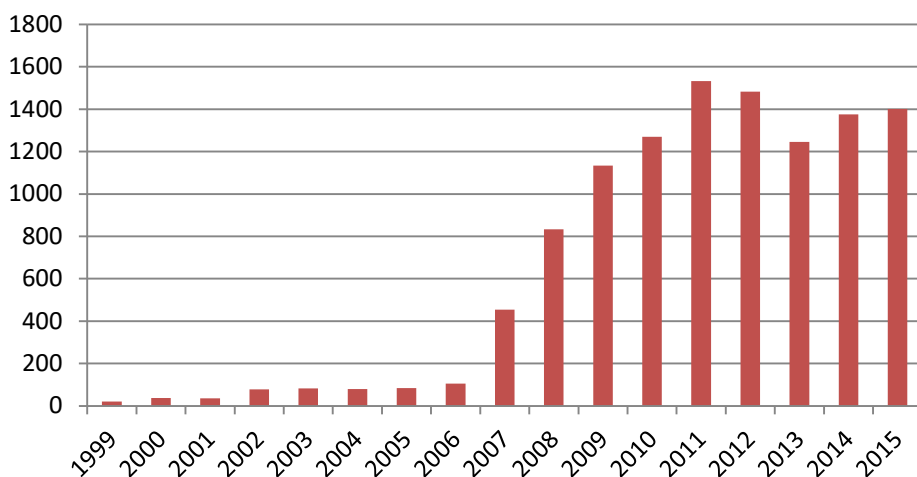
Na následujícím obrázku je ukázán vývoj spotřeby tepla. Původní data jsou převzata z webu BD (36). Hodnoty jsou převedeny podle denostupňů v jednotlivých letech na normalizovaná data, aby byl eliminován vliv počasí konkrétní sezóny.



**Obrázek 4: Vývoj spotřeby tepla v objektech BD Orlová.**

Z grafu je patrné, že se spotřeba během sledovaného období snížila o cca 61 %. Další graf ukazuje vývoj výroby tepla v instalovaných solárních systémech. Výroba víceméně kopíruje instalovanou kapacitu, samozřejmě s vlivem rozdílného chodu počasí.

### Výroba energie v solárních systémech (GJ/rok)



**Obrázek 5: Výroba energie v solárních systémech instalovaných v Orlové.**

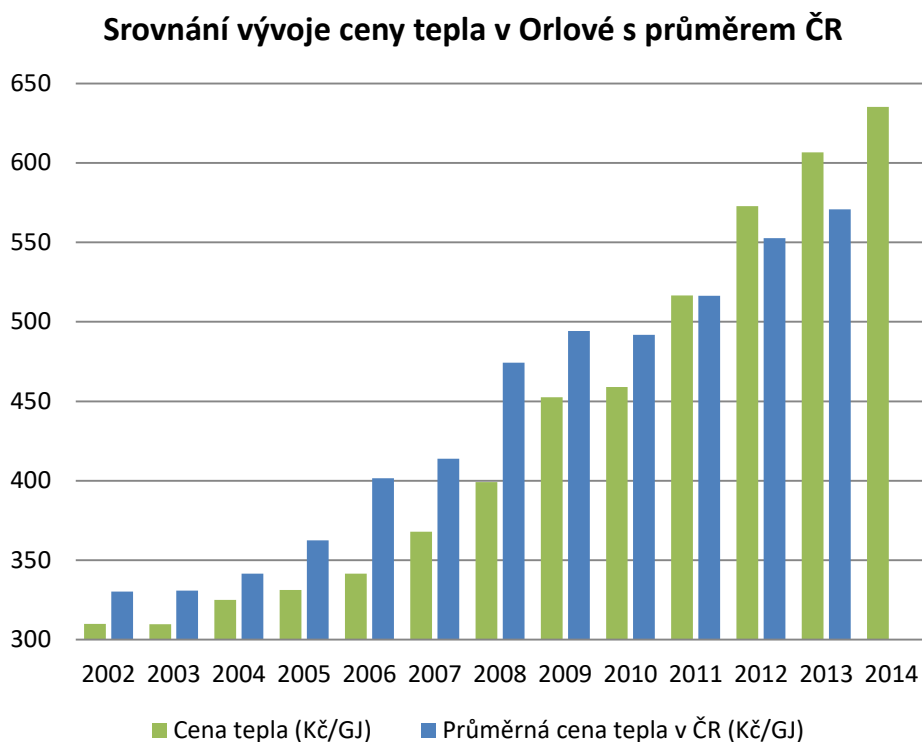
Do roku 2007 byl instalovaný výkon systémů poměrně zanedbatelný. Po roce 2009 se objevuje již značné množství instalací.

Přibližně od roku 2010 na různých odborných setkáních zástupci BD Orlová začínají projevovat nelibost nad růstem cen tepla, které jim účtuje dodavatel. Odkazují se na rozdíl mezi svou lokalitou a okolními lokalitami a vnímají nárůst ceny jako nespravedlivý a neodůvodněný. Následující tabulka byla převzata z (37) a obsahuje data z (38).

Město	Cena tepla z primárního rozvodu (Kč/GJ)	Cena tepla ze sekundárního rozvodu (Kč/GJ)	Rozdíl (Kč/GJ)	% 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 - Havířov	392,51	515,13	122,62	31%
Bohumín	417,17	490,59	73,42	18%
Frýdek - Místek	369,00	565,23	196,23	53%
Třinec	261,05	370,50	109,45	42%

**Tabulka 1: Porovnání rozdílů cen v různých lokalitách.**

Rozdíl je patrný i oproti průměrným cenám tepla v ČR.



**Obrázek 6: Porovnání vývoje ceny tepla v Orlové s průměrem ČR.**

Zatímco do roku 2010 byli obyvatelé Orlové zvyklí na spíše podprůměrné ceny tepla, od roku 2011 nastal zvrat a dodavatel tepla cenu zvýšil. Pro jednoznačnou analýzu by bylo zapotřebí znát detaily hospodaření dodavatele tepla, ale existuje zde časová shoda s omezením spotřeb tepla a navíc ještě výrobou tepla z lokálně instalovaných zdrojů, které mohly způsobit značné rozdíly v odběru tepla takto vybavených objektů v letním období. I když je průměrná tepla v ČR nepřesným ukazatelem, protože obsahuje mix různých typů zdrojů, v dlouhodobém srovnání je zřejmé, že na začátku zobrazeného období byla lokální cena tepla nižší, než byl průměr ČR a v dalších letech rostla nad srovnatelné hodnoty.

#### **2.2.4 Možné reakce dodavatele na snižování spotřeby tepla**

Cena tepla z CZT a způsob jejího účtování je spojena s otázkou sdílení rizik mezi dodavatelem a odběratelem tepla. Jednosložková cena tepla je snadněji interpretovatelná směrem k odběratelům, ale je opticky vysoká, což nahrává argumentům firem nabízejících alternativní zdroje tepla. Ti často porovnávají jednosložkovou cenu tepla s palivovými náklady alternativního zdroje maximálně navýšenými o náklady na revize, aniž by správně zohlednili potřebnou rezervu nutnou pro případy oprav a zejména obnovy zařízení po uplynutí doby jeho technické životnosti. V případě vysokých stálých nákladů je dodavatel tepla promítá do celkové jednosložkové ceny tepla, aniž by byl způsob

kalkulace srozumitelný. V případě zvýšení poměru stálých a proměnných nákladů je pro dodavatele tepla nejjednodušším řešením navýšení ceny tepla, pokud mu to umožní regulační autorita. Na druhé straně může být jednosložková cena nezanedbatelným přenesením rizika na odběratele tepla, zejména v případě extrémně chladné zimy, kdy odběratel zaplatí velké množství jednotek tepla s jednotkovou cenou obsahující i stálé náklady na výrobu a distribuci tepla, což znamená vysoké platby, v nichž dodavatel získá i značně navýšenou marži, protože ani při extrémní zimě nedojde k úměrnému navýšení stálých nákladů na straně dodavatele.

Tento problém řeší dvousložková cena tepla, kdy jsou stálé náklady odděleny a vyjádřeny cenou za sjednané množství tepla a proměnné náklady jsou vyjádřeny cenou za odebrané množství tepla. Zde se do platby za teplo spravedlivě promítají obě složky. Z hlediska komunikace s odběrateli tepla je ale tento způsob nesnadně obhajitelný, protože odběratelé bez technické znalosti problematiky nechápou, proč mají v době mimo topnou sezónu platit za teplo. Smlouvy obvykle umožňují odběrateli úpravu předpokládaného sjednaného množství tepla v případě úprav promítajících se do očekávané spotřeby tepla. Z hlediska dodavatele je tento režim smluvního vztahu riskantnější, protože odběratelé mohou žádat o snížení hodnot sjednaného množství tepla. Dodavatel pak musí řešit deficit prostředků pro pokrytí stálých nákladů, což lze (pokud regulace dovolí) provést změnou ceny za sjednané množství, nebo je dodavatel nucen tuto položku nést ke své tíži. Někteří provozovatelé CZT se snaží smluvně vázat odběratele k nesnížení sjednaného množství tepla po určitou dobu, čímž minimalizují svá rizika.



### **3 Teoretická východiska energetických bilancí soustav CZT a napojených objektů**

V následujících kapitolách jsou popsány některé aspekty ovlivňující energetickou bilanci CZT. Popis není úplný a vyčerpávající, zmíněny jsou pouze části, které měly význam při sestavování modelu CZT popsaného dále.

#### **3.1 Soustavy CZT a jejich energetická bilance**

Pro popis energetické bilance soustavy CZT a napojených objektů je nutno popsat následující prvky:

- tepelnou síť, její typ, vlastnosti, uspořádání a uložení, včetně regulace teploty teplotnosného média během roku, což je důležité pro stanovení tepelné ztráty rozvodů,
- spotřebiče tepla, kterými jsou budovy z hlediska vytápění a spotřeba teplé vody.

##### **3.1.1 Základní uspořádání rozvodů tepla**

Soustavy CZT mohou mít několik základních typů uspořádání. Nejobvyklejším je napojení primárního rozvodu na výměňkovou stanici, která pak zásobuje teplem napojené objekty. Primární rozvod má vyšší návrhové teploty, nejčastěji 130 / 70 °C. Podle uspořádání sekundárního rozvodu se dělí rozvody na dvou nebo čtyřtrubkové. U dvoutrubkového rozvodu je teplo z výměňkové stanice přivedeno do domovní předávací stanice, kde je zvlášť dodáváno médium pro vytápění a zvlášť je připravována teplá voda. Studená voda je tak přiváděna do budovy a teprve zde je ohřívána. U čtyřtrubkového rozvodu je teplá voda připravována ve výměňkové stanici a teplá voda je do budov dodávána jako hotový produkt. Zvláštním případem uspořádání je umístění výměňkové stanice v některé ze zásobovaných budov. Dalším způsobem je napojení každého objektu na primární horkovod, takže výměňkové stanice jsou uvnitř objektů.

##### **3.1.2 Vlastnosti rozvodů z hlediska energetické bilance**

Starší parní rozvody tepla pracovaly s vysokými teplotami (až 150 °C), novější pracují s horkou (do 130 °C) nebo teplou (do 110 °C) vodou. Mimo zástavbu nebo v průmyslových areálech jsou rozvody vedeny často vzduchem (zejména jsou tak řešeny hlavní přivaděče), ve městech jsou vedeny převážně pod zemí. Starší tepelné sítě byly umísťovány v průlezných nebo neprůlezných kanálech. Důvodem bylo to, že v dřívější době nebyly k dispozici kvalitní nenasákové tepelné izolace umožňující zasypání rozvodů zeminou. Tyto rozvody jsou ale po letech zpravidla ve špatném stavu – tepelná izolace bývá značně poškozená a kanály mohou být zalité vodou. Hlavní rozvody ve velkých městech bývají umístěny v kolektorech společně s dalšími inženýrskými sítěmi. Tento způsob umožňuje snadný přístup pro revize a opravy, ale je velmi nákladný.

V dnešní době se nejčastěji používají předizolovaná potrubí, která se ukládají přímo do zeminy. Tento způsob představuje nejrychlejší a nejlevnější možnost instalace tepelných sítí. Moderní izolační materiály zaručují dlouhodobě stabilní tepelně technické vlastnosti a tedy i dlouhou životnost.

### 3.1.3 Tepelné ztráty rozvodů – základní principy

Stanovení tepelné ztráty rozvodů je prvním krokem pro stanovení ročních ztrát tepla v tepelné síti. Tepelná ztráta rozvodu je stanovena na základě měrné tepelné ztráty potrubí a délky úseku. Podle ČSN 38 3360 se provádí výpočet dle následujícího vztahu:

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

**Rovnice 1**

(W)

kde

$Q_z$  je celková tepelná ztráta,

$Q_{iz}$  je ztráta povrchem potrubí

$Q_{ul}$  je ztráta uložením potrubí.

$$Q_{iz} = q_{iz} \cdot l$$

**Rovnice 2**

kde

$q_{iz}$  (W) je měrná tepelná ztráta potrubí

$l$  (m) je délka úseku.

$$Q_{ul} = Q_{iz} \cdot z$$

**Rovnice 3**

kde

$z$  (-) je koeficient způsobu uložení 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.

Měrná tepelná ztráta potrubí je stanovena podle vztahu

$$q_{iz} = \frac{t_1 - t_2}{\sum R}$$

**Rovnice 4**

(W/m)

kde

$t_1$  (K) je teplota média,

$t_2$  (K) je teplota okolního prostředí

R (m.K.W<sup>-1</sup>) je celkový tepelný odpor.

$$\sum R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

**Rovnice 5**

(m.K.W<sup>-1</sup>)

kde

$R_1$  je odpor přestupem tepla na vnitřní stranu trubky,

$$R_1 = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1}$$

**Rovnice 6**

kde

$d_1$  (m) je vnitřní průměr trubky

$\alpha_1$  (m<sup>2</sup>.K/W) je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně trubky, v praxi se zanedbává,

$R_2$  je odpor vedením tepla stěnou trubky,

$$R_2 = \frac{1}{2\pi\lambda_{ocel}} \ln \frac{d'_1}{d_1}$$

**Rovnice 7**

kde

$d'_1$  je vnější průměr trubky

$\lambda_{ocel}$  (W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) je tepelná vodivost materiálu trubky, v praxi se zanedbává,

$R_3$  je odpor vedením tepla izolací,

$$R_3 = \frac{1}{2\pi\lambda_{iz}} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

**Rovnice 8**

kde

$d_2$  je vnější průměr izolace

$\lambda_{iz}$  je tepelná vodivost izolace,

$R_4$  je odpor přestupem tepla z povrchu izolace do okolí,

$$R_4 = \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2}$$

**Rovnice 9**

kde

$\alpha_2$  je součinitel přestupu tepla na povrchu izolace.

Dále se vztah rozděluje podle typu uložení potrubí, zvláště lze vyjádřit situaci při uložení potrubí v proudícím vzduchu, v kanálovém uložení a při uložení v zemině. Složitější vztahy popisují vzájemné ovlivňování vedle sebe uložených potrubí, ať již stejných nebo rozdílných. (39).

Pro tuto práci a použitý model je důležitý vztah popisující uložení potrubí v zemině, kde se výše uvedený vztah pro  $R_3$  nahrazuje vztahem

$$R_3 = \frac{1}{2\pi\lambda_{iz}} \ln r$$

**Rovnice 10**

kde

$r$  je bezrozměrná veličina charakterizující tvar a rozměry průřezu tepelné izolace a hloubku uložení trubky.

Pro izolaci kruhového průřezu je

$$r = \frac{4h_k}{d_2}$$

**Rovnice 11**

kde

$h_k$  (m) je korigovaná hloubka osy potrubí pod terénem

$$h_k = h + \frac{\lambda_z}{\alpha_o}$$

**Rovnice 12**

kde

$h$  je hloubka uložení osy potrubí,  $\lambda_z$  je tepelná vodivost zeminy,

$\alpha_o$  je součinitel přestupu tepla ze zeminy do vzduchu (40).

Z výše uvedených vztahů vyplývá jeden velmi důležitý poznatek: Tepelná ztráta je závislá na teplotě média, na průřezu a izolaci potrubí a dále na způsobu jeho uložení. Naopak není téměř vůbec závislá na rychlosti proudění média a tedy ani na přeneseném výkonu. V případě nízké rychlosti proudění média je tedy poměr ztráty tepla a přeneseného výkonu vyšší než při vyšších rychlostech.

### 3.1.3.1 Rychlost proudění média

Pro účely modelování je nutno znát rychlost proudění média v posuzovaných úsecích tepelné sítě, aby bylo ověřeno, že se nevymyká běžným hodnotám, které jsou v praxi mezi 0,7 a 2,5 ms<sup>-1</sup>.

Hmotnostní průtok vody je stanoven podle vztahu

$$M = \frac{P}{\Delta t * c} * \frac{1}{3600}$$

**Rovnice 13**

(kg.s<sup>-1</sup>),

kde

P (W) je přenášený výkon,

c (J/kg.K) je tepelná kapacita vody

$\Delta t$  (K) je teplotní rozdíl mezi přívodním a vratným potrubím.

Z vnitřního průměru potrubí  $d$  pak vyplývá objem vody  $V$  v jednom metru jeho délky:

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

**Rovnice 14**

(l)

Zpětně je pak možno z rovnice kontinuity odvodit dimenzování potrubí,

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

**Rovnice 15**

kde

$d$  (m) je návrhový průměr potrubí,

$M$  (kg/s) je hmotnostní průtok vody

$w$  (m/s) je rychlost vody

(39).

Rychlost média v potrubí je důležitá proto, že při nižší rychlosti vzrůstají relativní tepelné ztráty oproti přenesenému výkonu, zatímco při překročení určité hranice rychlosti proudění přestává mít laminární charakter, vznikají turbulence a rostou nároky na čerpací práci.

### **3.1.3.2 Ekvitermní regulace teploty média**

Ekvitermní regulace spočívá ve změně teploty média podle venkovní teploty. U otopných soustav v budovách je jedním z hlavních způsobů efektivní regulace vytápění. Cílem je zachování optimalizovaného průtoku teplotního média při různých potřebách přenášeného výkonu, což je vhodné pro udržení hydraulických poměrů soustavy.

V horkovodních soustavách není možná plná ekvitermní regulace, protože by nebyl dostatečný prostor pro teplotní spád. V soustavě Pražské teplotní, a. s. je při výpočtové venkovní teplotě – 12 °C nastaven teplotní spád 130 / 70 °C a se stoupající venkovní teplotou se teplota přívodního potrubí snižuje o 0,6 °C na každý °C stoupající venkovní teploty. Teplota vratného potrubí se snižuje pouze mírně, až na cca 65 °C. Při venkovní teplotě 13 °C přestává otopné období a soustava se nastavuje na parametry pro přípravu TV s parametry 95 / 70 °C. Tato optimalizace směřuje ke snížení tepelných ztrát soustavy a k minimalizaci čerpací práce (41).

## 3.2 Energetická bilance na straně odběru tepla

Na straně odběru tepla koncovými uživateli je energetická bilance tvořena potřebou tepla na vytápění budov a potřebou tepla na přípravu teplé vody (TV).

### 3.2.1 Stanovení potřeby tepla na vytápění budovy

Podle běžných výpočetních postupů se potřeba tepla na vytápění stanoví podle ČSN EN ISO 13790 (potřeba tepla a chladu), 13789 (měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním) a 13370 (přenos tepla zeminou).

Norma ČSN EN ISO 13790 popisuje výpočet potřeby tepla na vytápění. Norma je poměrně obsáhlá (140 stran), takže pro účely této práce budou dále popsány pouze nejpodstatnější části, na kterých je založen výpočetní model.

Potřeba tepla na vytápění je definována pro jakýkoli zvolený časový úsek.

$$e = Q_l - Q_g$$

**Rovnice 16**

(kWh),

kde

$Q_l$  (kWh) je tepelná ztráta budovy za daný úsek času

$Q_g$  (kWh) jsou využitelné tepelné zisky.

$$Q_g = Q_i + Q_s$$

**Rovnice 17**

kde

$Q_i$  jsou využitelné vnitřní zisky

$Q_s$  jsou využitelné solární tepelné zisky.

Ty jsou pak odvozené z vnitřních ( $Q_{int}$ ) a solárních ( $Q_{sol}$ ) tepelných zisků redukováných stupněm využitelnosti tepelných zisků  $h$ .

Parametr  $h$  je stanoven podmínkou:

$$h = 0 \text{ pro } T_e > T_i$$

$$h = \frac{a}{a+1} \text{ pro } T_e \leq T_i \text{ \& } g = 1$$

$$h = \frac{1-g^a}{1-g^{a+1}} \text{ pro } T_e \leq T_i \text{ \& } g \neq 1$$

**Rovnice 18**

kde

$T_i$  (°C) je návrhová vnitřní teplota

$T_e$  (°C) je průměrná venkovní teplota

$a$  (-) je parametr zohledňující časovou konstantu a tepelnou kapacitu zóny

$g$  (-) je poměr tepelných zisků a ztrát.

Zjednodušeně řečeno, potřeba tepla na vytápění je kryta energií zdroje tepla sníženou o využitelnou část tepelných zisků, přičemž využitelnost tepelných zisků závisí na tepelné kapacitě a časové konstantě zóny a na poměru aktuální potřeby tepla pro pokrytí tepelné ztráty a tepelného zisku, který je v daný okamžik v dispozici.

Měrná tepelná ztráta budovy se vypočítá podle měrného tepelného toku konstrukcemi, větráním a zeminou na základě geometrických vlastností budovy a vlastností jejích konstrukcí. Násobením celkové měrné tepelné ztráty  $H_t$  rozdílem teplot se vypočte aktuální tepelná ztráta.

### 3.2.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Zatímco potřebu tepla na vytápění lze stanovit poměrně přesně pomocí tepelně technického výpočtu, je potřeba tepla na ohřev vody závislá na několika proměnných, jejichž hodnoty často nezbývá než odhadovat.

Podle ČSN 06 0320 určené pro dimenzování zdrojů tepla pro přípravu TV je směrná hodnota potřeby tepla na osobu a den v obytném objektu 4,3 kWh. Reálné spotřeby tepla jsou ale mnohem nižší, v praxi bývají mezi 1,4 a 2,4 kWh/os, den. Důvodem je zvyšování cen nejen tepla, ale i vody, a následně úspornější chování obyvatelstva.

Podle (42) je obvyklá potřeba tepla na ohřev vody v pásmu nízkého až středního standardu podle následující tabulky:

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 2: Měrná denní potřeba tepla podle standardu bydlení.**

Rozdíly v potřebě tepla jsou způsobeny i technickým řešením ohřevu. TNI 73 0302 uvádí přírážku z na pokrytí tepelných ztrát při různém způsobu přípravy teplé vody, o kterou se ve výpočtu navyšuje potřeba vody stanovená pro výtoková místa.

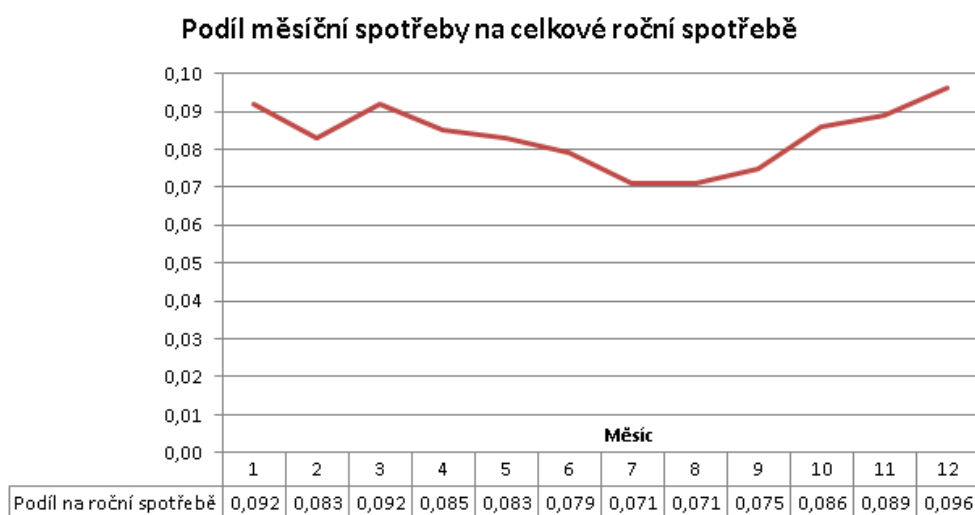


Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

**Tabulka 3: Přirážka na ztráty tepla při různém způsobu přípravy TV podle TNI 73 0302.**

V praxi to znamená, že u staršího objektu se špatně izolovaným cirkulačním rozvodem TV mohou ztráty v rozvodu převyšit množství tepla na výtakových místech. Tento poměr se dále mění s využitím TV v objektu – u hustě obydlených budov jsou relativní ztráty nižší než u budov s malým odběrem teplé vody (např. administrativní budovy, školy apod.). Zde mohou být ztráty tepla v rozvodu i několikanásobně vyšší než efektivně využitě množství tepla.

Z hlediska bilance CZT jsou dále důležité sezónní rozdíly v odběru teplé vody. Na následujícím obrázku je zřetelně vidět snížení odběru v době prázdnin, kdy obsazenost budov klesá.

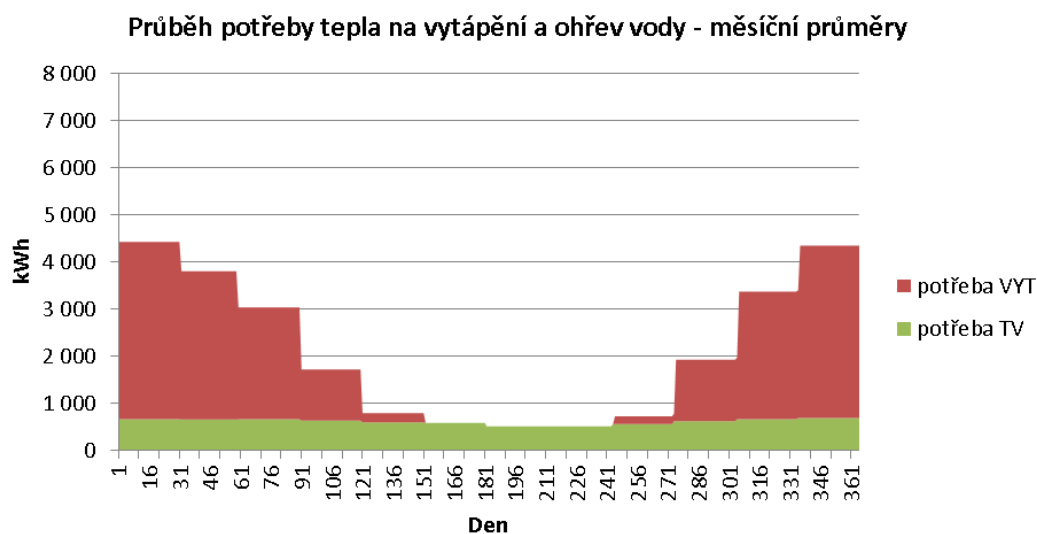


**Obrázek 7: Roční měrný profil spotřeby teplé vody pro bytové domy (procentní rozložení) (43).**

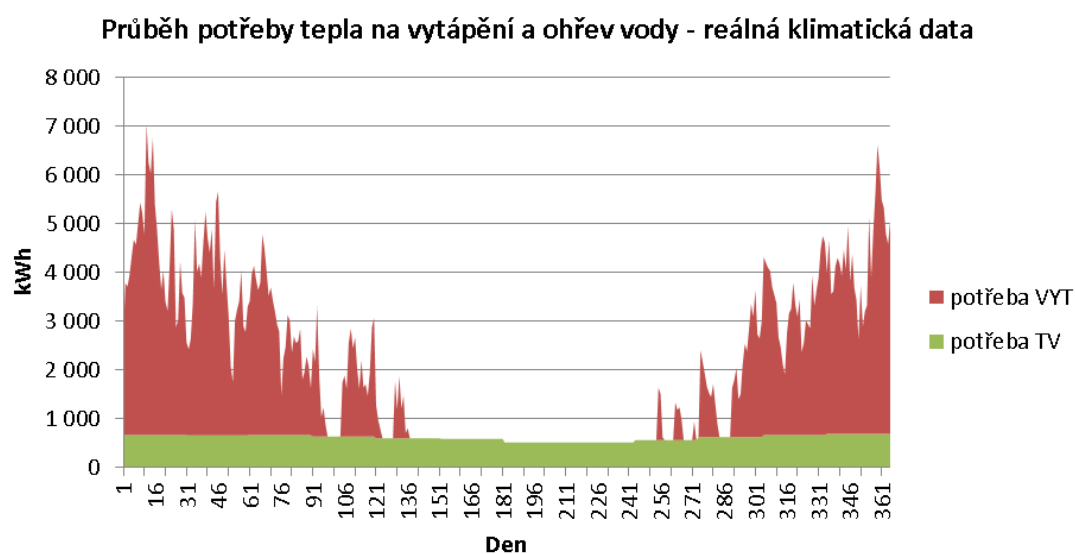
### 3.2.3 Odběr tepla během roku

Pokud použijeme průměrné měsíční hodnoty potřeb tepla na vytápění a ohřev vody, získáme hladkou křivku s maximy na začátku a na konci roku. Průměrováním hodnot do měsíčních časových úseků se však ztrácí velmi důležitá část informací o reálné energetické bilanci systému, která je potřebná pro posouzení skutečných dopadů úsporných opatření na efektivitu systému. Průměrné hodnoty měsíčních teplot a dalších klimatických dat totiž zastírají extrémní a rozdíly jednotlivých dní.

Na následujícím srovnání byla použita klimatická data roku 2005 pro Hradec Králové. Zdrojová data mají hodinový krok měření. V prvním grafu byly zobrazeny průměrné měsíční hodnoty. V druhém grafu byly použity průměrné denní hodnoty.



**Obrázek 8: Potřeba tepla - měsíční průměry.**



**Obrázek 9: Potřeba tepla - denní klimatická data.**

Uvedené grafy ukazují dvě důležité informace. První je obecný poměr mezi množstvím energie na vytápění a na ohřev vody. Druhou informací je důležitost časového rozlišení energetické bilance z pohledu vytápění; v denním kroku se objevují rozdíly počasí jednotlivých dní, které mají zásadní význam pro denní potřebu energie na vytápění. V kontextu časového rozlišení je možno získat nebo naopak ztratit informace o chování systému.

### 3.2.4 Vliv úsporných opatření na energetickou bilanci budov

V následující kapitole jsou popsána běžná i okrajově se vyskytující opatření, která se v praxi objevují jako cesta k úsporám energie v budovách.

#### 3.2.4.1 „Zateplování“ budov

Pod tímto termínem se skrývá obvykle komplex opatření snižující tepelnou ztrátu budovy. Typicky jde o dodatečnou tepelnou izolaci obvodových stěn, střechy, stropu technického podlaží a výměnu otvorových výplní. Komplexem těchto opatření lze snížit potřebu tepla na vytápění o 40 – 60 % v závislosti na výchozím stavu a na kvalitě rekonstrukce. Tento způsob vede obvykle ke snížení měrné potřeby tepla na vytápění do nízkoenergetického standardu, který sice není formálně definován, ale obecně je jeho hranice chápána na 50 kWh/m<sup>2</sup>, rok.

Pokud je použita nadstandardní úroveň výše vyjmenovaných opatření a navíc je instalován systém mechanického větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu, lze dosáhnout pasivního energetického standardu, kdy pro pokrytí tepelných ztrát budovy ve většině provozních stavů postačují vnitřní a vnější tepelné zisky. Pouze při nízkých teplotách je zapotřebí dodat další energii na vytápění. Typickou hodnotou pasivního standardu je měrná potřeba tepla na vytápění ve výši 15 kWh/m<sup>2</sup>, rok.

#### 3.2.4.2 Solární termický systém – výpočet výroby tepla

Solární systém pro přípravu teplé vody se objevuje poměrně často. Technicky je solární systém složen z kolektorového pole, potrubí s teplonosnou látkou a akumulací nádoby. Nejčastěji je vyrobené teplo používáno k předehřevu studené vody, které může být dále ohříváno výměníkem napojeným na CZT. Tím se snižuje potřeba nakupovaného tepla. V období s dostatkem slunečního svitu může výkon solárního systému zcela pokrývat potřebu energie pro ohřev vody.

Podle ČSN 12975 se stanoví okamžitá účinnost solárního kolektoru podle vztahu

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

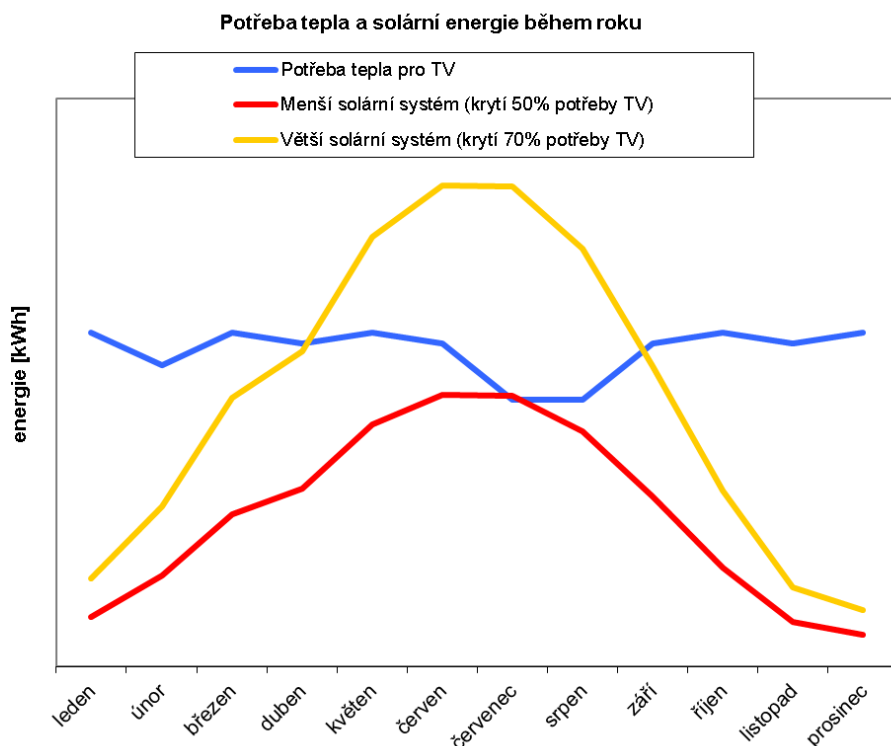
**Rovnice 19**

kde

$\eta_0$	tzv. optická účinnost - účinnost při nulovém teplotním rozdílu mezi střední teplotou teplonosné kapaliny $t_m$ a okolím $t_e$
$a_1$	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru, (W/m <sup>2</sup> .K)
$a_2$	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru, (W/m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> )
$t_e$	teplota okolí (K)
$t_m$	střední teplota teplonosné látky (teplota absorbéru) (K)

G intenzita dopadajícího slunečního záření (na plochu kolektoru) ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

V celoroční bilanci je maximum výroby energie pochopitelně v letních měsících. Z hlediska ekonomické optimalizace se v bytových domech obvykle solární systém navrhuje tak, aby vznikaly minimální přebytky nevyužitelného tepla (na rozdíl od rodinných domů, kde se solární systémy navrhuji tak, aby dodávaly významný podíl potřebného tepla po co nejdelší část roku). Na následujícím obrázku je příklad průběhu energetické bilance solárního systému během roku.



**Obrázek 10: Typický průběh energetické bilance solárního systému v bytovém domě během roku.**

Z hlediska SCZT je zařazení solárního systému komplikací, protože znamená nepředvídatelné výpadky odběru tepla z SCZT, přičemž dodávku tepla nelze pozastavit.

### 3.2.4.3 Tepelné čerpadlo vzduch – voda

Tepelné čerpadlo lze v bytovém domě využít pro ohřev vody nebo pro ohřev vody a vytápění (zejména v budovách s pasivním standardem). Z hlediska ekonomické optimalizace se tepelná čerpadla pro vytápění budov obvykle navrhuji na instalovaný výkon ve výši cca 70 % maximální tepelné ztráty objektu. Takto dimenzované tepelné čerpadlo obvykle vyrobí v celoroční bilanci více než 96 % celkově potřebného tepla a zbývající množství dodá bivalentní zdroj. U tepelných čerpadel vzduch – voda by bylo dimenzování na 100 % potřebného celkového výkonu velmi investičně náročné i proto, že topný faktor (účinnost) zařízení výrazně klesá s klesající venkovní teplotou a také se

vzrůstající teplotou výstupního topného média. Průměrný roční topný faktor bývá obvykle v rozmezí 3 – 4.

$$\varepsilon_T = k \frac{T_k}{T_k - T_0}$$

**Rovnice 20**

kde

$T_k$  (K) teplota kondenzační (topného systému)

$T_0$  (K) teplota vypařovací (zdroje)

$k$  (-) korekční součinitel pro skutečný oběh (0,4 – 0,6).

Teplota topného média se mění ekvitermně podle venkovní teploty. Výpočet probíhá také v hodinovém kroku.

Teplota přívodní topné vody se stanovuje podle vztahu:

$$t_w = t_{w,max} + n * (t_{e,min} - t_e)$$

**Rovnice 21**

kde

$t_w$  (°C) je teplota přívodu

$t_{w,max}$  (°C) je návrhová nejvyšší teplota přívodu,

$n$  (-) je koeficient teplotní křivky,

$t_{e,min}$  (°C) je výpočtová venkovní teplota

$t_e$  (°C) je aktuální venkovní teplota.

Z hlediska systému CZT je tepelné čerpadlo rušivým prvkem, protože budovy opatřené tímto zařízením odebírají teplo ze systému CZT pouze v době, kdy je celková špička odběru, tj. v nejchladnějších obdobích roku. V této době je z hlediska provozovatele SCZT výroba tepla nejnákladnější, protože se do systému zapojují špičkové zdroje (např. plynové výtopny). Větší rozšíření instalací tepelných čerpadel by tedy vedla k nižšímu využívání levných zdrojů tepla a k vyššímu využívání špičkových zdrojů.

Tepelná čerpadla nejsou zatím příliš rozšířeným úsporným opatřením, protože jejich provoz je spojen s hlukem a vibracemi, které se mohou šířit konstrukcemi budovy. Tento problém odpadá u absorpčních plynových tepelných čerpadel, která ale mají významně nižší topný faktor (1,2 – 1,4) a jsou velmi nákladná.

#### **3.2.4.4 Kogenerační jednotka**

Použití kogenerační jednotky je podobné jako aplikace tepelného čerpadla. Rozdíl je v rovnoměrnějším výkonu zařízení bez ohledu na venkovní teploty. Z hlediska systému CZT je tento zdroj tepla predikovatelný, ale platí zde stejné výhrady jako u tepelných čerpadel. Kogenerační jednotka je z hlediska energetické bilance mezistupněm k naprostému odpojení od soustavy CZT.

#### **3.2.4.5 Instalace lokální plynové kotelny**

Instalace lokální plynové kotelny znamená v praxi odpojení budovy od systému CZT. Toto opatření zcela vyřazuje dotčenou budovu ze systému CZT v celém ročním období energetické bilance. Odpojení budovy má vliv na bilanci systému včetně budov, které napojeny na systém CZT zůstaly.

### 3.3 Změna ceny tepla při změně množství prodaného tepla

Cena tepla z SCZT je ve většině případů účtována jako dvousložková. První složkou je cena za sjednané množství, do jejíž kalkulace jsou zahrnuty stálé náklady (údržba, revize, odpisy apod.). Druhou složkou je cena za odebrané množství tepla, do jejíž kalkulace vstupují proměnné náklady spojené s množstvím vyrobeného tepla (palivové náklady, čerpací práce, spotřeba vody, chemikálií, ale i náklady na pokrytí ztrát apod.). Výsledná cena tepla je součtem obou složek.

V roce 2014 byl poměr těchto položek u Pražské teplárenské, a.s. 40 : 60, což odpovídá typickému rozložení u většiny systémů CZT ( 41).

Aby byla zachována ekonomika prodeje tepla z hlediska nákladů a zisku, je třeba při změně prodaného množství tepla upravit hodnotu ceny za sjednané množství tepla tak, aby úhrn příjmů v této kategorii pokryl celkové stálé náklady. Stejně tak je zapotřebí změnit cenu za dodané množství tepla, pokud se změní poměr tepla dodaného do systému CZT a tepla prodaného.

Vztah pro výpočet nové ceny za sjednané množství je následující:

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

**Rovnice 22**

kde

Q (kWh) je množství prodaného tepla

$c_f$  (Kč/kWh) je fixní složka ceny.

Vztah pro výpočet nové ceny za odebrané množství je:

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

**Rovnice 23**

kde

$c_p$  (Kč/kWh) je primární cena,

$Q_v$  (kWh) je množství vyrobeného tepla

$Q_p$  (kWh) je množství prodaného tepla (10).

Publikace (10) ukazuje příklad, kdy se po odpojení 20 % budov od systému CZT zvýšila cena tepla o 11,5 % na základě nutnosti pokrytí nákladů, aniž by došlo ke změně cen vstupů, jako jsou ceny paliv apod.

Každé snížení prodeje tepla má tak dopad na cenu tepla pro koncové odběratele. Odpojení budov od systému CZT nebo razantní snižování spotřeby tepla tak může vést k negativním dopadům zejména na ostatní odběratele tepla.

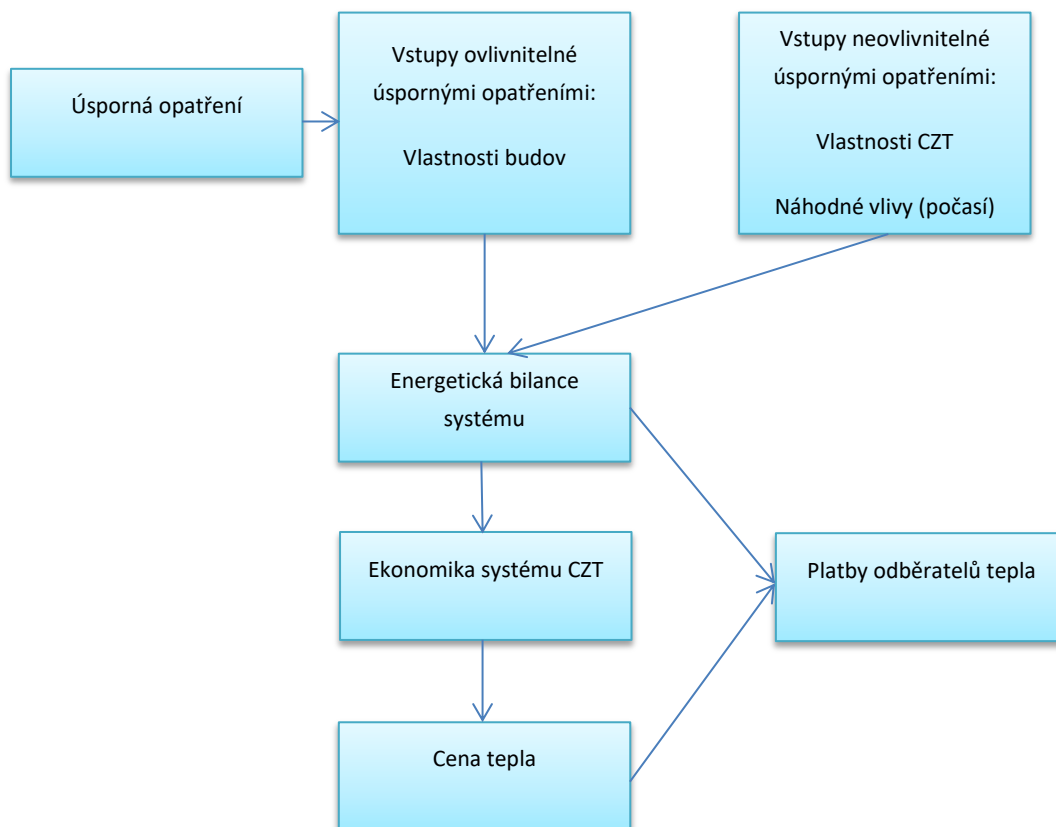


## 4 Model pro stanovení energetických bilancí

### 4.1 Základní principy

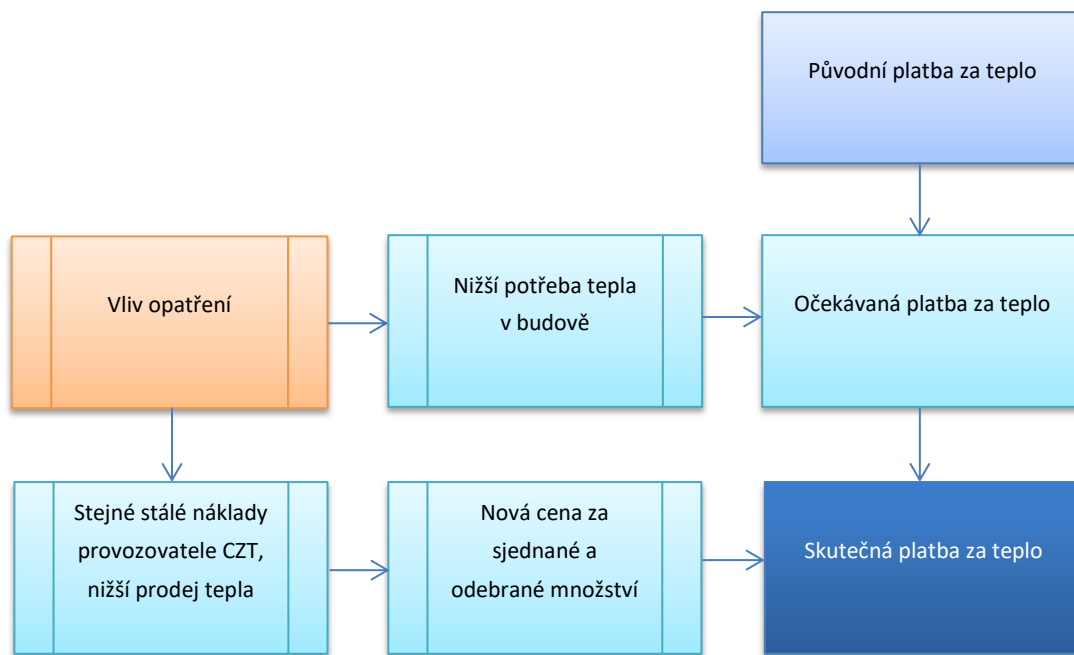
Účelem navrženého modelu je pomocí simulace energetických bilancí vyčíslit dopady úsporných opatření na systém CZT a připojené budovy z hlediska změny ceny tepla a nákladů na jeho nákup.

Model používá inovativní přístupy. Výpočet postupuje od potřeb tepla detailně stanovených na základě simulace nad reálnými klimatickými daty k celkové energetické bilanci. Na základě rozdílů v bilanci výchozího stavu a stavu po aplikaci opatření lze vyčíslit rozdíly mezi energií vynaloženou efektivně a dodanou do budov na straně jedné a energií ztracenou v systému CZT. Na základě porovnání je možno vyčíslit nárůst ceny tepla (model předpokládá, že dodavatelé tepla nic nebrání v promítnutí palivových nákladů do koncové ceny) a tedy i celkových nákladů na nákup tepla na straně odběratelů.



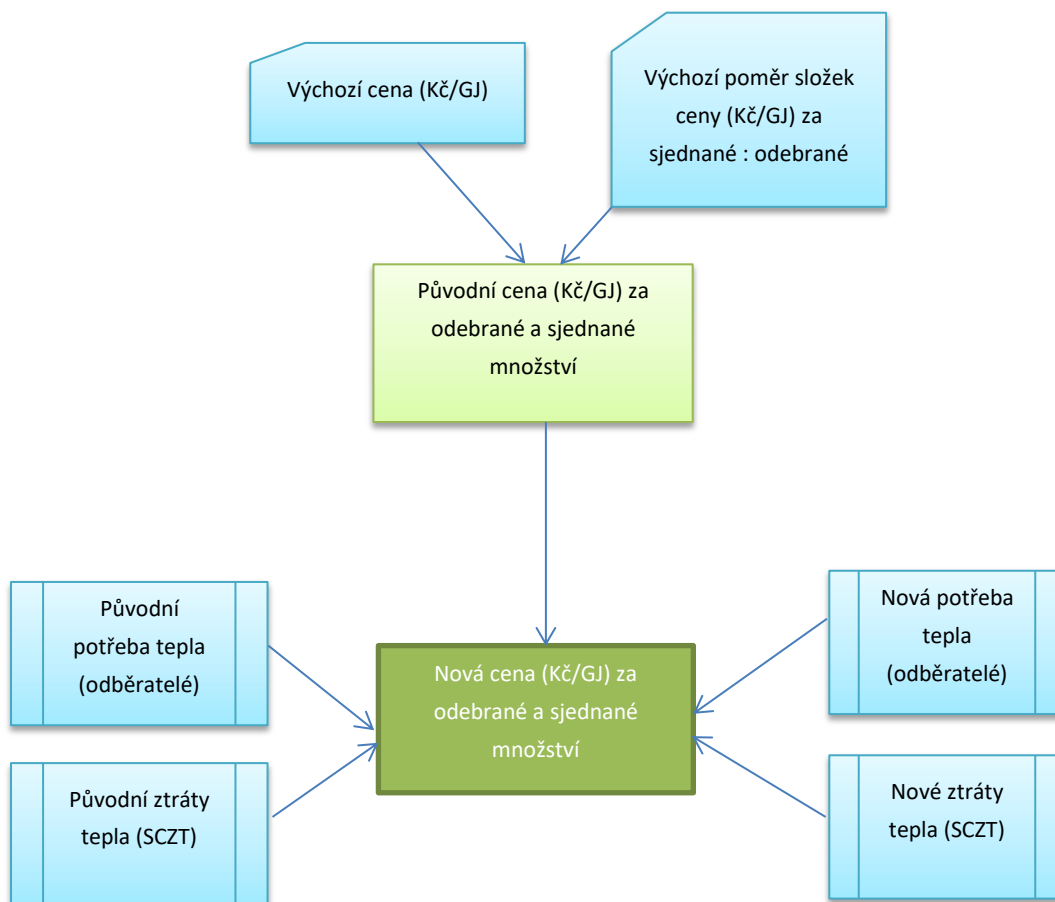
**Obrázek 11: Základní schéma modelu.**

Z hlediska odběratele tepla, který je současně i potenciálním investorem do úsporných opatření, lze schéma vyjádřit i následujícím způsobem:



**Obrázek 12: Vyjádření účelu modelu z hlediska odběratele tepla.**

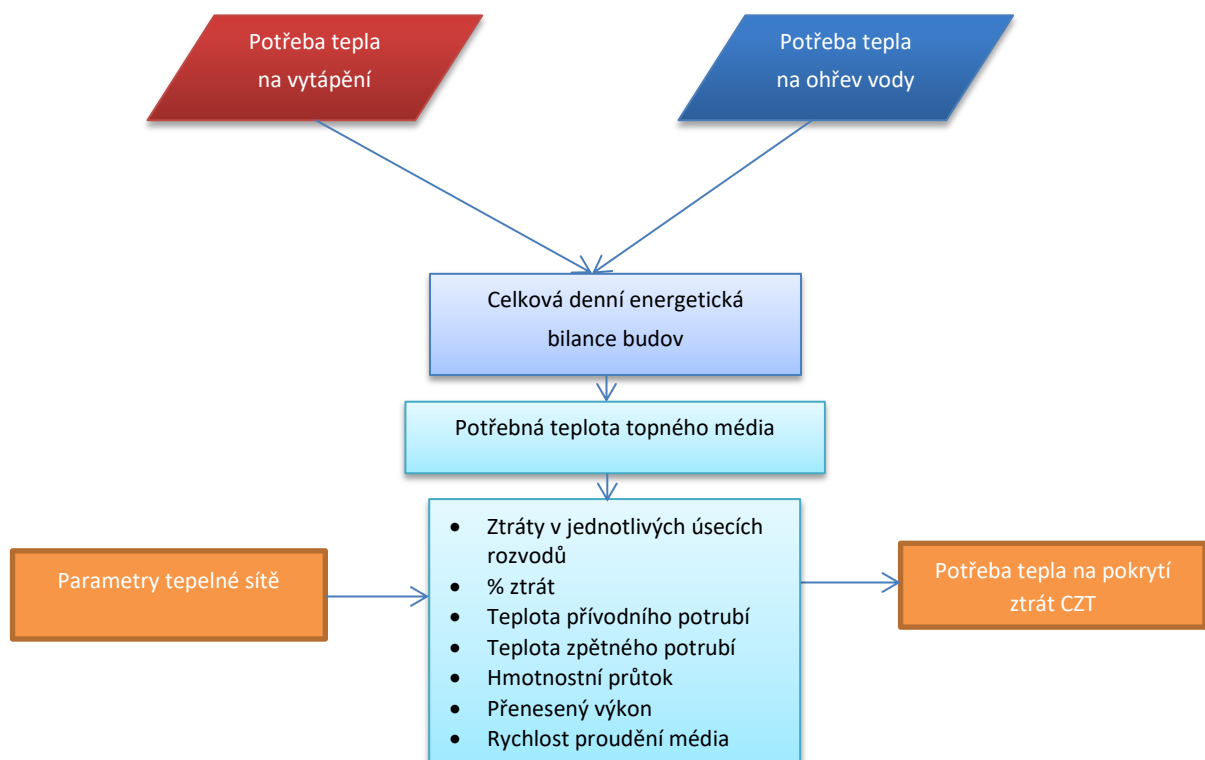
Z hlediska změny ceny tepla lze fungování modelu znázornit takto:



**Obrázek 13: Odvození nové dvojsložkové ceny tepla podle původní ceny, původní energetické bilance a nové energetické bilance.**

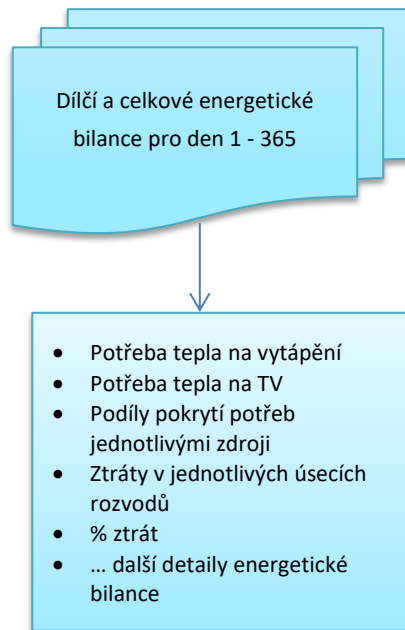
## 4.2 Stanovení energetické bilance

Základem pro stanovení změny cen tepla a nákladů na jeho nákup je detailní popis energetické bilance. Způsob simulace energetické bilance systému během roku je klíčovým a inovativním prvkem. Bilance je nejprve stanovena na denní bázi. Hlavními prvky jsou potřeba tepla na vytápění, na přípravu TV a ztráty tepla v tepelné síti. Na základě simulačních výpočtů se z potřeb tepla v objektech stanovují některé parametry ovlivňující ztráty CZT. Z těchto výsledných parametrů a z vlastností tepelné sítě lze zjistit tepelné ztráty rozvodů tepla, které jsou třetím hlavním prvkem bilance.



**Obrázek 14: Vznik energetické bilance systému.**

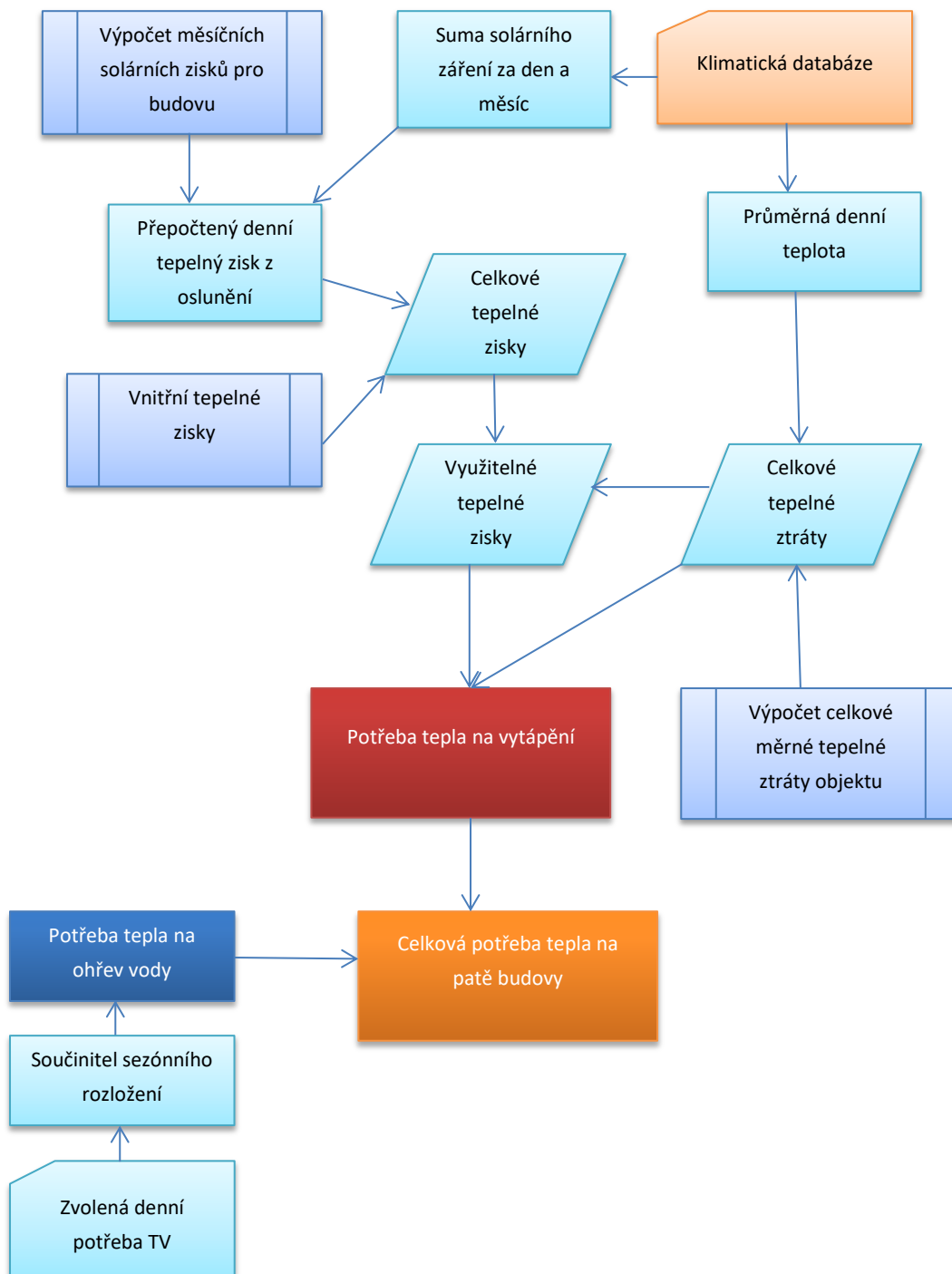
Tato denní energetická bilance se dále sumarizuje jako roční bilance:



**Obrázek 15: Roční energetická bilance.**

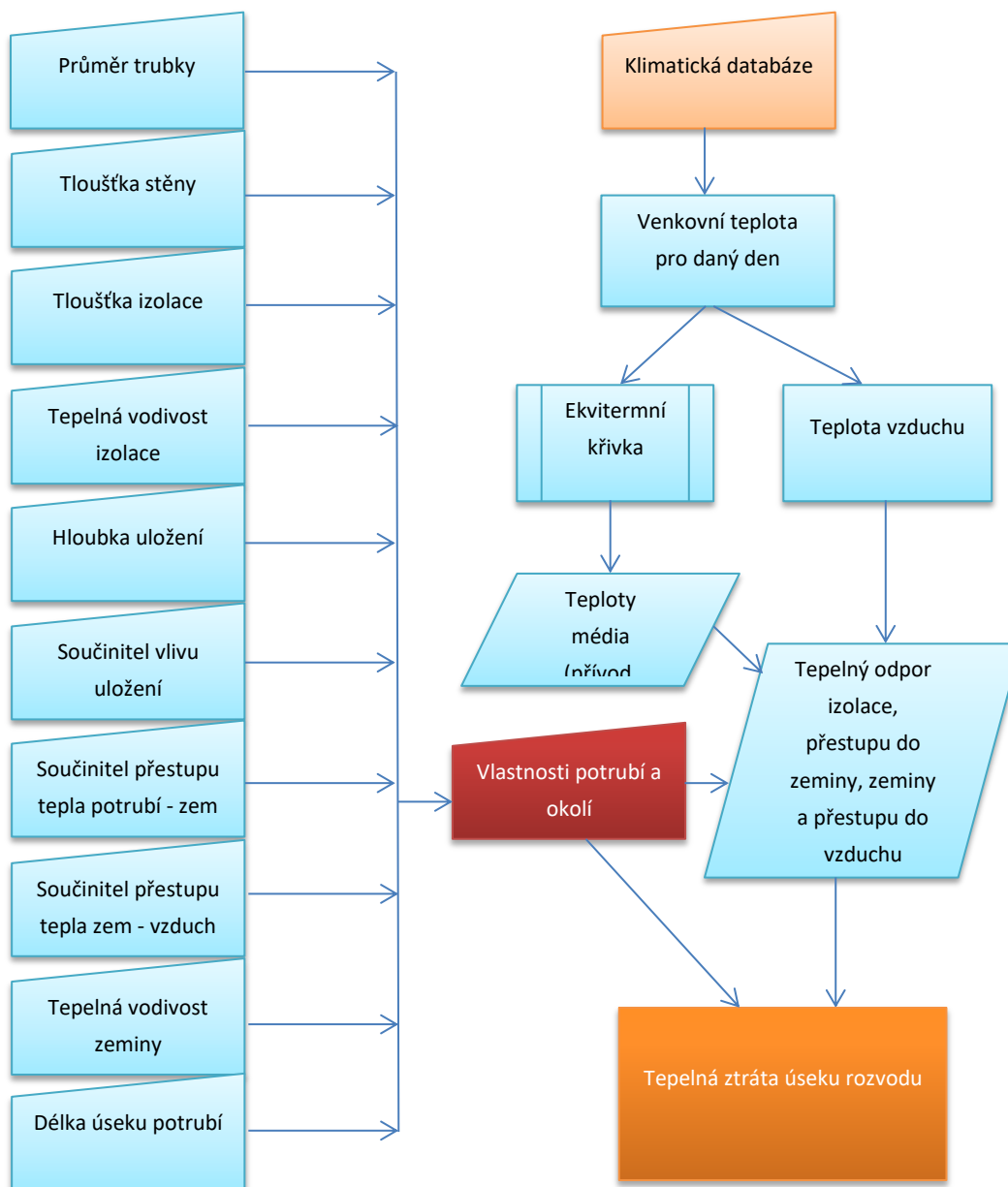
Pokud jde o hlavní prvky, nejjednodušší je stanovení potřeby tepla pro přípravu teplé vody. Ta je stanovována podle ročního měrného profilu spotřeby teplé vody pro bytové domy, viz Obrázek 7 (43) a podle nastavené měrné potřeby tepla. Z velikosti zadané budovy ve výpočtu tepla na vytápění se pak odvozuje počet osob.

Složitější je popis potřeby tepla pro vytápění. Ta se stanovuje z několika předem stanovených a zvolených měrných ukazatelů charakterizujících budovy a z klimatických dat pro daný den. Celková bilance potřeby tepla tak vzniká následovně:



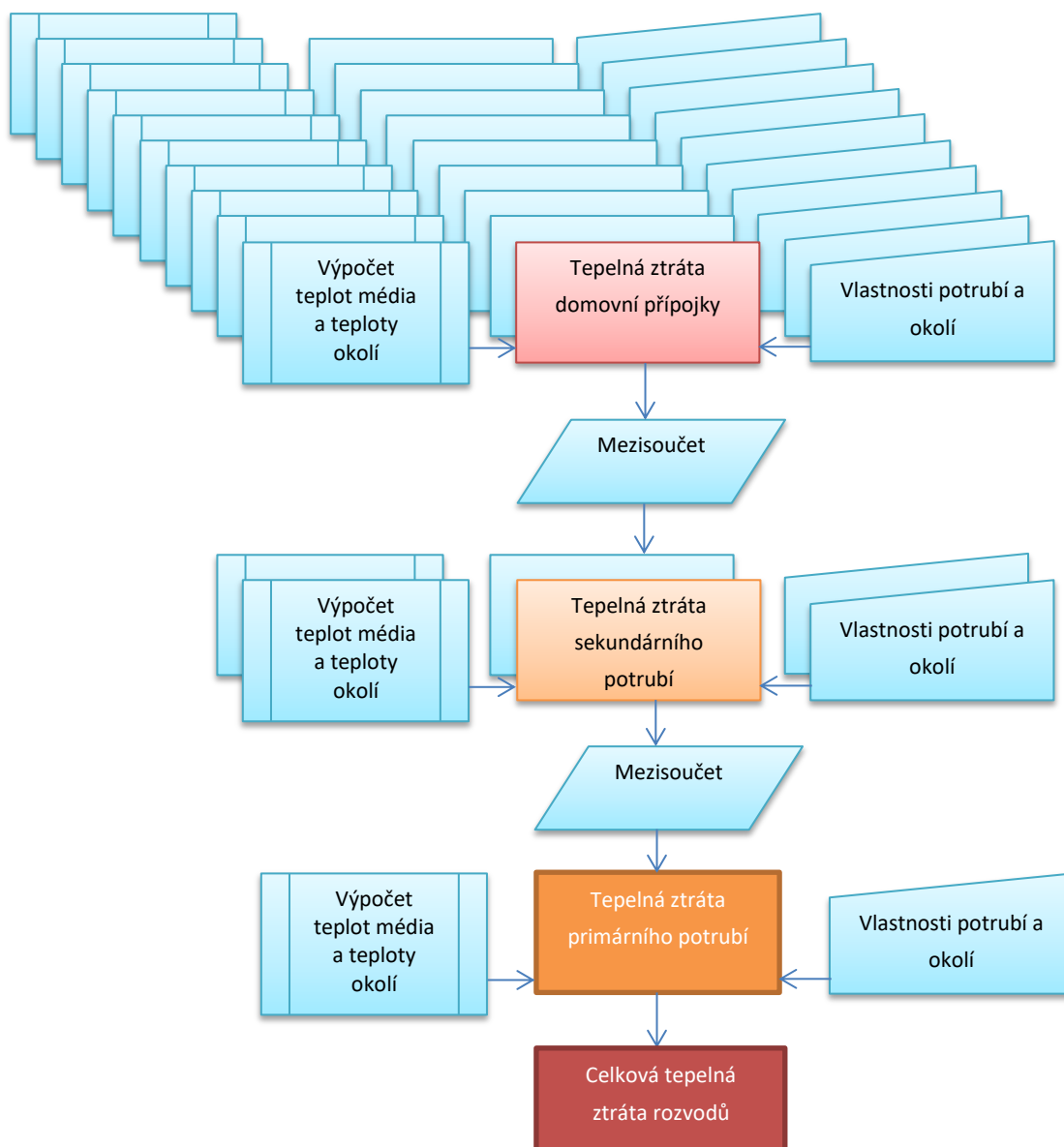
**Obrázek 16: Celková bilance potřeba tepla v budově.**

Pokud jde o ztráty tepla v rozvodech, jsou charakterizovány jednak vlastnostmi rozvodů a jednak momentálními klimatickými podmínkami. Na ztráty tepla v rozvodech nemá vliv velikost přenášeného výkonu.



**Obrázek 17: Výpočet ztráty úseku rozvodu tepla.**

Na základě vztahů mezi úseky se následně stanoví bilance rozvodů pro daný den.



**Obrázek 18: Bilance rozvodů tepla.**

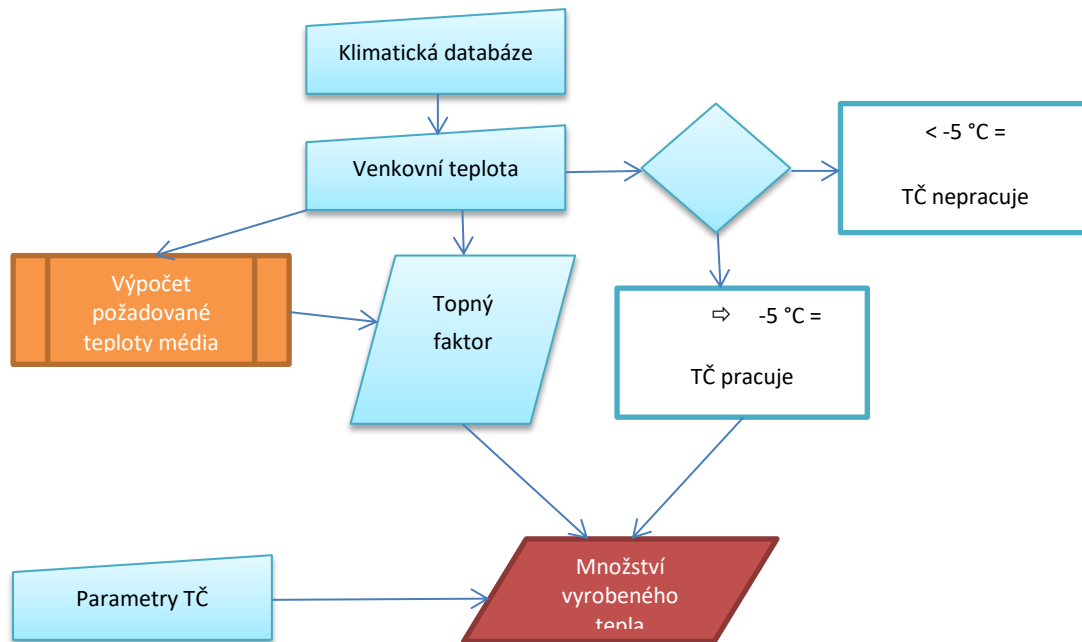
Pokud do takto sestavené energetické bilance vstoupí změna způsobená alternativním zdrojem tepla nebo změnou potřeby tepla, změní se i celá bilance a vznikne nový stav. Pro tento nový stav je stanovena i nová cena tepla, jak již bylo uvedeno dříve.

Některá úsporná opatření působí jednoduchým mechanismem, který nevyžaduje bližší komentář. Toto je například rekonstrukce budovy do úspornějšího standardu. Mění se parametr je měrný tepelný tok, který se promítá do tepelné ztráty a do stupně využitelnosti tepelných zisků. Tím se snižuje potřeba tepla na vytápění a zkracuje topné období (v době s nízkou tepelnou ztrátou ji kryjí tepelné zisky).

Ještě jednodušší jsou mechanismy působení bilančně jednoduše fungujících zdrojů tepla. Lokální kotelna zcela nahrazuje CZT a tím zcela eliminuje odběr tepla dané pomyslné budovy.

V případě kogenerační jednotky se plošně během roku vykryvá část potřeby tepla z tohoto zdroje. KJ tak působí jako alternativní zdroj tepla s konstantním průběhem výroby.

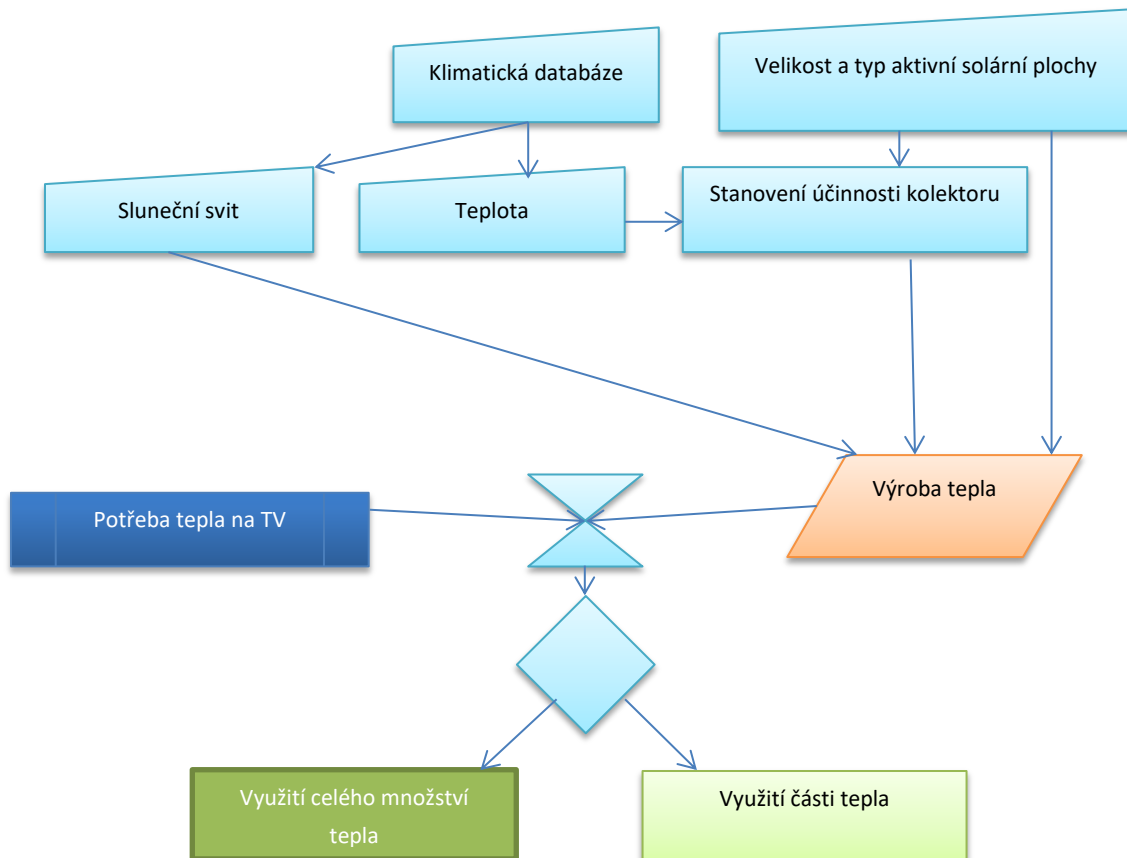
Složitější mechanismus vlivu na bilanci má tepelné čerpadlo, jehož účinnost se mění s venkovní teplotou a požadovanou teplotou výstupního média a které od určité teploty přestává pracovat. TČ do určitých podmínek pracuje jako doplňkový zdroj s nekonstantním výkonem, který se snižuje s teplotou vzduchu, a od této hranice přestává pracovat.



**Obrázek 19: Vliv tepelného čerpadla.**

O něco jednodušší je logika funkce solárního systému, jehož výroba tepla je závislá na intenzitě slunečního záření a poněkud na teplotě venkovního vzduchu. Do bilance navíc nemusí vstupovat veškerá produkce tepla; v případě, že výroba převyšuje potřebu, je využita pouze část rovná potřebě tepla na ohřev vody (předpokládá se nepřilíživá akumulace schopnost solárního systému).





**Obrázek 20: Vliv solárního systému.**

#### 4.2.1 Postup a logika výpočtu

Výpočet probíhá v následujících krocích pro každý den výpočtového roku:

1. Pro každou pomyslnou budovu je na základě nastavení jejího energetického standardu, klimatických podmínek a předpokládaného užívání stanovena potřeba tepla na vytápění a na přípravu teplé vody.
2. Pro každou pomyslnou budovu je proveden výpočet výroby tepla z alternativních zdrojů a zbytek potřebného tepla je přiřazen hlavnímu zdroji, SCZT.
3. Pro každou domovní přípojku je na základě venkovní teploty stanovena její tepelná ztráta. Teplota přívodního a zpětného potrubí je stanovena podle ekvitermní křivky SCZT, rychlost proudění, hmotnostní průtok média a přenesený výkon jsou kontrolovány podle spotřeby tepla odběrného místa. Model hlídá maximální hodnoty proudění média, aby byly vyloučeny technicky nereálné stavy.
4. Dále je stanovena tepelná ztráta sekundárních větví a primárního přivaděče. Obdobně jako u domovních přípojek jsou kontrolovány parametry proudění média.

5. Celková bilance odběru tepla z SCZT je stanovena jako součet spotřeb tepla na vytápění, ohřev vody, tepelné ztráty domovních přípojek, sekundárních větví a primárního přivaděče. Souběžně jsou vyčísleny bilance jednotlivých alternativních zdrojů tepla.
6. Bilance je znázorněna graficky a numericky pro jednu z budov (A1) a pro celý systém.

#### 4.2.2 Posouzení změny ceny tepla

Ekonomické dopady opatření jsou vyjádřeny pomocí ceny tepla, a dále pomocí očekávaných a skutečných plateb budovy s úspornými opatřeními a referenční budovy.

##### 4.2.2.1 Změna ceny tepla

Vstupní cena tepla v modelu, od které se odvíjí výpočet cenového nárůstu, je volitelná jak v absolutní hodnotě, tak i v poměru jednotkové ceny za sjednané a odebrané množství tepla.

$$c = c_p + c_s$$

(Kč/kWh)

**Rovnice 24**

Celková cena za prodané teplo (roční tržby) je součtem ceny za odebrané množství  $C_p$  a sjednané množství  $C_s$

$$C = C_p + C_s$$

(Kč)

**Rovnice 25**

Celková platba za odebrané množství se stanovuje ze vztahu

$$C_p = \frac{Q_c}{k} * c_p = Q_p * c_p$$

**Rovnice 26**

kde

$Q_c$  (kWh) je celkově vyrobené množství tepla včetně ztrát

$k$  (-) je poměr mezi vyrobeným a prodaným množstvím tepla  $Q_p$ .

Předpokládá se, že je sjednané množství smluvně nastaveno optimálně (shodně s odebraným množstvím).

$$k = \frac{Q_c}{Q_p}$$

**Rovnice 27**

Celková platba za sjednané množství tepla se počítá ze vztahu

$$C_s = Q_p * c_s$$

**Rovnice 28**

Při změně množství vyrobeného a prodaného tepla je nutno stanovit nové hodnoty ceny tepla  $c_p$  a  $c_s$  tak, aby byly pokryty náklady na tepelné ztráty CZT prostřednictvím menšího množství prodaného tepla.

$$C_{s1} = \frac{Q_{c1}}{k_1} * c_s * \frac{Q_p}{Q_{p1}}$$

**Rovnice 29**

kde

$C_{s1}$  (Kč) je nová tržba za sjednané množství,

$Q_{c1}$  (kWh) je nové množství celkově dodaného tepla včetně ztrát,

$k_1$  (-) je nový poměr celkově do systému dodaného a prodaného tepla

$Q_{p1}$  (kWh) je nové množství prodaného tepla.

Po změně energetické bilance se mění i cena tepla. Nová jednotková cena odebraného tepla je rovna původní jednotkové ceně. Nová jednotková cena sjednaného množství je vypočtena podle vztahu

$$c_{s1} = \frac{C_{s1}}{Q_{p1}}$$

**Rovnice 30**

#### **4.2.2.2 Očekávaná a skutečná cena tepla**

Subjekty investující do úsporných opatření počítají s ekonomickými parametry svého vlastního projektu, aniž by počítaly s efektem zpětného působení úsporných opatření na cenu tepla. V případě podobně masivního rozšíření úsporných opatření v celé skupině budov nebo její převážné části se cena tepla změní a tím se také změní náklady na nákup tepla, výše finanční úspory a celkové ekonomické výsledky projektu. Při značné změně cen tepla dojde sice k vypočteným úsporám energie, ale nikoli k úsporám provozních nákladů, takže investor nebude moci realizovat očekávané výnosy. V případě financování projektu úvěrem to může způsobit nečekané potíže s tokem hotovosti a schopností investora splácet úvěr.

Pro subjekty, které úsporná opatření nerealizovaly, znamená zvýšení ceny tepla zvýšení celkových nákladů oproti výchozímu stavu.

### 4.3 Popis modelu – praktická realizace

Pro posouzení dopadu úsporných opatření v budovách na systém CZT byl sestaven numerický model v prostředí MS Excel. Model pracuje s denním rozlišením, tj. pro každý den modelového roku je sestavena bilance pro každý prvek modelu. Prvky se vzájemně ovlivňují, např. hodnoty týkající se rozvodů tepla (teploty média, rychlosti proudění apod.) se vypočítávají na základě spotřeby tepla v budovách.

V modelu lze měnit vlastnosti budov a jejich technických zařízení, tj. energetický standard obálky budov, varianty instalace jednotlivých technických systémů apod.

Na straně odbytu tepla je v modelu deset pomyslných budov. Každá tato budova tak reprezentuje 10 % (jakkoli rozsáhlé) zástavby. Postupné změny vlastností budov pak umožňují získat obraz dopadů změn v celém souboru budov v 10% kroku.

Z hlediska výpočetního model zahrnuje následující části popsané v dalších podkapitolách.

#### 4.3.1 Rozvod systému CZT

Pro všechny části rozvodů se podle aktuálních podmínek vypočítává jejich tepelná ztráta. Na základě odběru tepla připojenými budovami se dále vypočítává pokles teploty teplotnosného média ve zpětném potrubí (u nadřazených úseků, primárního a sekundárních přívodů se také zohledňuje pokles teploty média způsobený tepelnou ztrátou všech předchozích prvků, tj. budov i rozvodů). Tento pokles je dále omezen podmínkou maximální teploty zpětného potrubí, kdy je požadováno, aby teplota média ve zpětném potrubí nebyla vyšší než teplota návrhová. Nedostatečně vychlazené médium vracející se do zdroje tepla by mělo negativní vliv na jeho účinnost. V případě nízkého odběru tepla se předpokládá pokles hmotnostního průtoku potrubím. Tento způsob regulace je logický, protože vede ke snížení nároků na čerpací práci.

#### Hlavní přívodní potrubí

Reprezentuje přívod od vzdáleného zdroje tepla. Je tvořeno dvěma potrubími uloženými v zemině, je možno zvolit délku, dimenzi potrubí, tloušťku stěny, tloušťku izolace a její tepelnou vodivost, hloubku uložení v zemi a vodivost zeminy, koeficient přestupu tepla mezi zeminou a vzduchem, koeficient uložení potrubí, návrhovou teplotu média (horkovod, teplovod) a způsob regulace (ekvitermní, nebo stálá návrhová teplota).

Model vrací tyto údaje: Odběr tepla na vytápění, odběr tepla na ohřev vody, ztráty úseku (přívodní a zpětné potrubí zvlášť), teplota na přívodním a zpětném potrubí při daném způsobu regulace, ochlazení zpětného potrubí, rychlost proudění média a hmotnostní průtok, tepelná ztráta úseku (izolací, uložení, celková).

## **Výměníková stanice**

Pouze pomyslný prvek oddělující hlavní a vedlejší potrubí.

### **Dvě vedlejší přívodní potrubí mezi výměňkovou stanicí a domovními přípojkami**

Zcela stejný výpočet jako pro hlavní přívodní potrubí. Nezávisle je možno měnit návrhovou teplotu (horkovod, teplovod). Způsob regulace je závislý na regulaci hlavního přívodního potrubí. Model vrací stejné hodnoty jako v přechozím případě, viz popis u odstavce Hlavní přívodní potrubí.

### **Deset domovních přípojek (pět pro každé vedlejší přívodní potrubí)**

Analogický výpočet jako pro hlavní a vedlejší přívodní potrubí. Měněnými hodnotami jsou pouze délka, dimenze, tloušťka stěny trubky, tloušťka a tepelná vodivost izolace, hloubka uložení v zemi a vodivost zeminy, koeficient přestupu tepla mezi zeminou a vzduchem, koeficient uložení potrubí. Teploty jsou závislé na teplotě přívodního potrubí.

Model vrací stejné hodnoty jako v přechozích případech, viz popis u odstavce Hlavní přívodní potrubí.

U rozvodů tepla je zanedbán pokles teploty v délce potrubí, počítá se pouze pokles teploty při spotřebě tepla. Pokles teploty tepelnou ztrátou rozvodu je ve srovnání se spotřebou tepla v odběrných místech nevýznamný a může se projevit až při velmi velkých délkách potrubí.

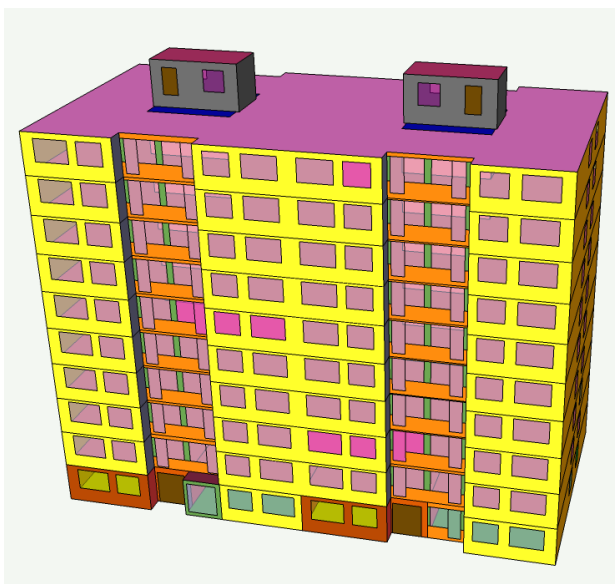
## **4.3.2 Potřeba tepla na vytápění budov**

Zástavbu napojenou na systém CZT reprezentuje deset pomyslných modelových budov popsaných dále. Smyslem tohoto uspořádání je potřeba sledovat změnu při různé penetraci úsporných opatření a jejich kombinací. 10% krok byl zvolen jako dostačující. Tyto pomyslné budovy reprezentují ideální desetiný většího počtu budov. Účelem pomyslné budovy je stanovení racionálních poměrů energetické bilance a dopadu opatření odpovídajících obvyklým hodnotám.

Modelová budova byla navržena na základě technického výpočtu pro reálně existující budovu. Jde o panelový dům o devíti obytných a jednom technickém podlaží a dvou sekcích. Tento dům je jakýmsi typickým panelovým domem z hlediska podlažnosti, tvaru i energetického standardu (44).



**Obrázek 21: Pohledy na skutečnou budovu.**



**Obrázek 22: 3D model budovy.**

Pro účely modelu byly vytvořeny tři varianty kvality budovy:

1. Původní stav: původní stav konstrukcí odpovídající době vzniku budovy, tj. stav před rekonstrukcí.
2. Nízkoenergetická varianta: dodatečné tepelné izolace obálky budovy a výměna otvorových výplní v kvalitě úrovně doporučení současné normy ČSN 73 0540.
3. Pasivní varianta: dodatečné tepelné izolace obálky budovy a výměna otvorových výplní v kvalitě úrovně hodnot pasivního standardu dle současné normy ČSN 73 0540 a instalace rovnotlakého větracího systému se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu.

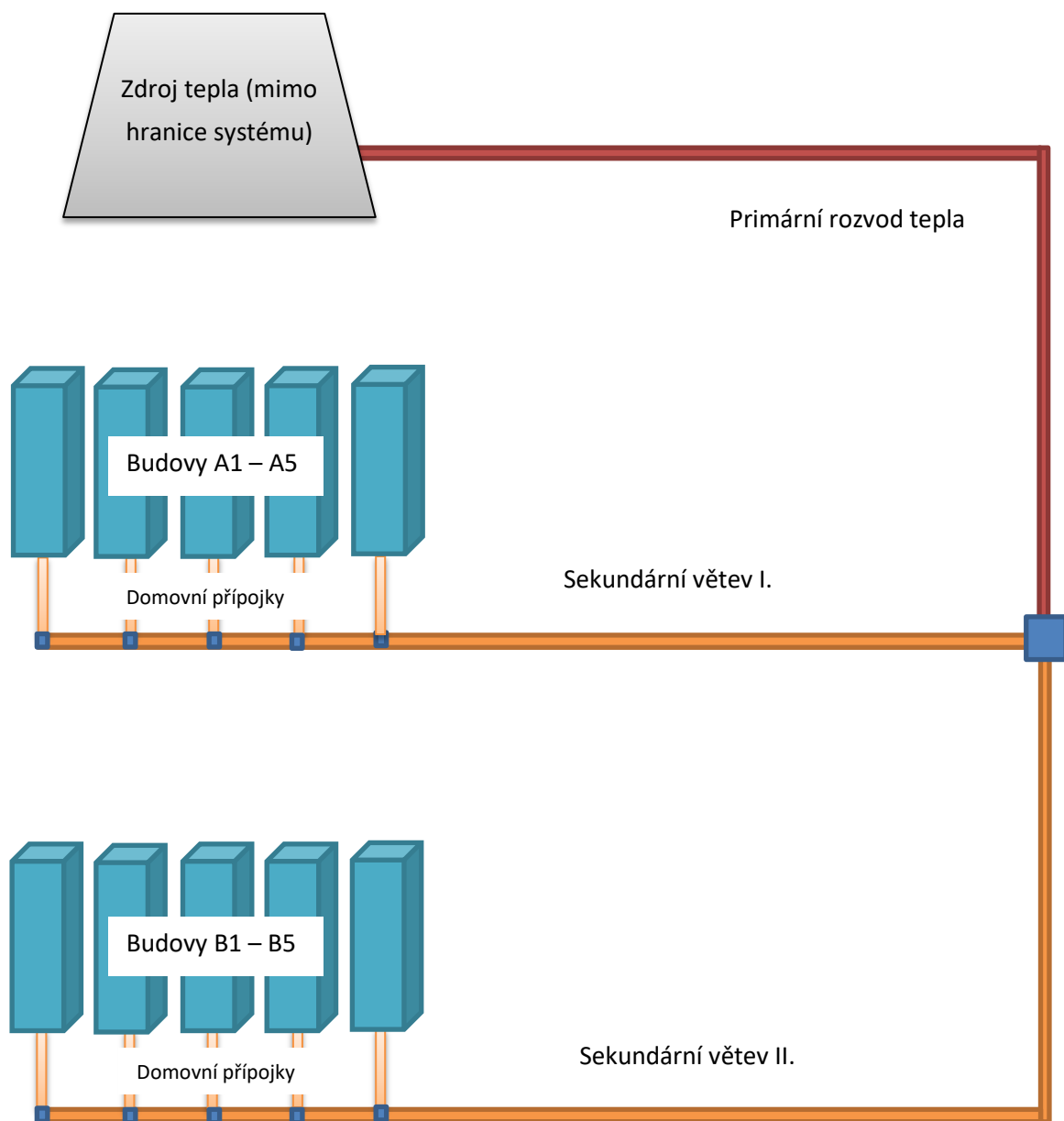
Výpočet energetické náročnosti byl proveden pomocí software Energie (45).

### 4.3.3 Příprava teplé vody

Bilance TV byla stanovena pro předpoklad potřeby tepla na osobu a den ve výši 2,4 kWh dle (42) včetně ztrát v rozvodu odhadovaných na 100 % vůči teplu obsaženému ve vodě na výtokových místech. Tato hodnota odpovídá horní hranici typické střední měrné spotřeby. Pro modelovou situaci byly ztráty poníženy na normovou hodnotu 60 %. Výsledná potřeba tepla použitá v modelu je tak 1,94 kWh/os, den. Z této hodnoty byla odvozena roční suma a ta byla rozdělena do denních hodnot podle počtu dní v měsíci a typického průběhu spotřeb uvedeného na Obrázek 7.

### 4.3.4 Uspořádání modelu – prostorové vztahy prvků

Myšlenkové uspořádání prvků modelu a jejich návaznost je znázorněno na následujícím schématu:



Obrázek 23: Myšlenkové uspořádání prvků modelu.

#### 4.3.5 Klimatická data

Model pracuje s denním krokem po dobu jednoho roku. Pokud by byla použita normalizovaná průměrná klimatická data, byla by výsledkem hladká křivka postupného průběhu počasí během roku, která by ale setřela výkyvy mezi jednotlivými dny. Průměrné denní teploty a další klimatické hodnoty po sobě následujících dní se v dlouhodobě průměrovaných datech liší jen velmi málo. Naopak při reálném průběhu počasí nastávají velmi velké výkyvy všech měřených hodnot, které mohou být i velmi vzdálené od průměrů. Právě tyto nepravidelnosti umožňují reálně zobrazit a vyhodnotit skutečný průběh energetické bilance. Pro výpočet byly použity údaje z databáze Meteonorm (46) pro rok 2005 a lokalitu Hradec Králové. Rok 2005 byl zvolen proto, že průměrná teplota v topném období v tomto roce se velmi blíží dlouhodobému průměru (podobný charakter výsledků by však přinesl každý jiný rok, pokud by nebyl zcela extrémní) a lokalita byla zvolena ze dvou důvodů – Hradec Králové je jakýmsi průměrem lokalit České republiky a kromě toho se autor modelu obával obvinění z pragocentrismu. Zcela úmyslně nebyly použity průměrné hodnoty z několika let, protože by zanikly rozdíly mezi po sobě jdoucími dny.

V následující tabulce jsou uvedeny teploty v topném období pro danou lokalitu pro  $t_i = 20\text{ °C}$  a pro začátek a konec topné sezóny podle platné legislativy (zdroj: nepublikovaná interní data EkoWATT CZ s.r.o.).

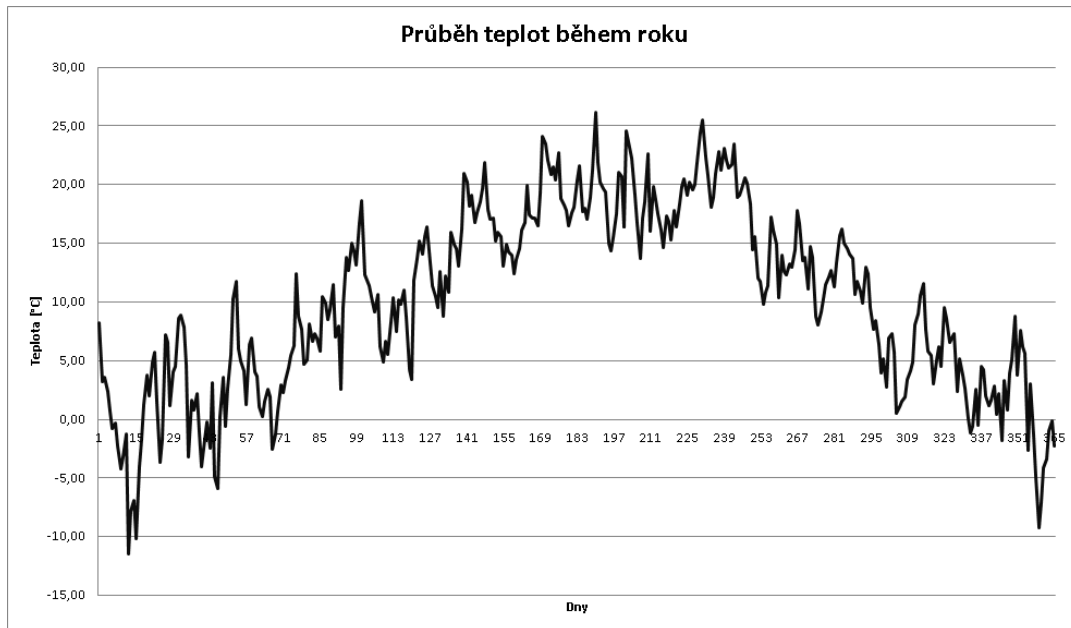
Rok	Průměrná teplota v topném období
2015	5,33
2014	4,02
2013	5,29
2012	7,30
2011	6,95
2010	4,81
2009	5,53
2008	6,73
2007	6,01
2006	4,44
2005	5,54
2004	4,92
2003	4,98
2002	4,84
2001	4,29
2000	7,26
1999	5,37
1998	5,78
Průměr	5,52

*Tabulka 4: Průměrné teploty v topných obdobích 1998 – 2015 – Hradec Králové.*

Z klimatických dat byly použity údaje o venkovní teplotě a o slunečním záření. Data z Meteonormu mají hodinové rozlišení. Proto byly údaje o hodinových teplotách průměrovány pro jednotlivé dny a údaje pro solární záření byly sumarizovány. Přejít z hodinového na denní krok neznamená

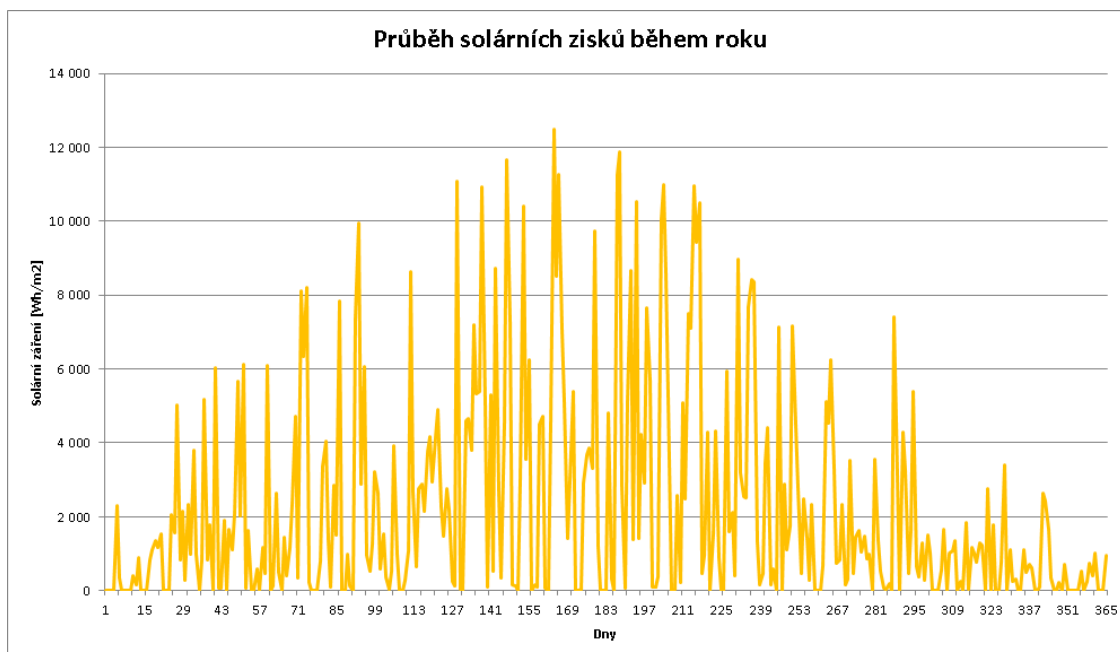


vzhledem k tepelné kapacitě a setrvačnosti budov významnou ztrátu věrnosti modelu; použití hodinového kroku by však znamenalo řádový nárůst složitosti a objemu dat.



**Obrázek 24: Průběh denních teplot během modelového roku.**

V případě solárních tepelných zisků byl použit následující postup: Hodinové hodnoty záření dopadajícího na normalizovanou plochu byly sumarizovány do denních hodnot. Pro každý měsíc byla denní hodnota pro každý den vyjádřena jako podíl na celkové měsíční sumě. Tímto korekčním koeficientem byly rozděleny do jednotlivých dní sumární měsíční solární tepelné zisky vypočítané v software Energie, kde již byly zohledněny všechny potřebné faktory (propustnost pro solární záření, orientace, čistá plocha zasklení, stínění apod.). Tímto postupem byl zachován korektní výpočtový postup podle normy a současně byly hodnoty rozděleny do denní podrobnosti podle reálných klimatických dat.



**Obrázek 25: Denní hodnoty slunečního záření podle Meteonormu pro konkrétní rok.**

#### 4.3.6 Technická opatření

Kromě opatření ve stavební části popsaných již v kapitole 3.2.4.1 model umožňuje aplikovat technická opatření, a to instalaci následujících alternativních zdrojů tepla:

- Solární termický systém pro ohřev vody
- Plynová kotelna (odpojení od SCZT)
- Kogenerační jednotka pro TV
- Kogenerační jednotka pro vytápění
- Tepelné čerpadlo pro TV
- Tepelné čerpadlo pro vytápění

Výše uvedené možnosti jsou výčtem hlavních technicky realizovatelných možností zřízení vlastního energetického zdroje produkujícího teplo. Není známo, že by v ČR byla použita aplikace, která se svým charakterem a dopadem na SCZT liší od výše vyjmenovaných opatření.

Opatření mohou být kombinována.

Technická opatření vstupují do bilance jako alternativní zdroj tepla, který má přednost před CZT. V případě volby více opatření současně se uplatňují napřed opatření s levnějšími provozními náklady a teprve po vyčerpání jejich kapacity se připojuje další opatření. Pokud momentální výroba tepla z alternativních zdrojů nepokrývá momentální potřebu tepla, je další energie dodána z SCZT.

#### **4.3.6.1 Solární termický systém**

Výroba tepla solárním systémem je počítána po dnech podle solárního záření dopadajícího na kolektorové pole a průměrné teploty (data dle databáze Meteororm) dle vztahu uvedeného v kapitole Solární termický systém. Výroba tepla je porovnána s denní potřebou a do bilance vstupuje množství, které je v daný den využitelné. Tento výpočet není zcela přesný, protože nerespektuje denní diagram spotřeby vody, ale pro daný účel toto zjednodušení vyhovuje.

Solární systém je nevyzpytatelným zdrojem. Provozovatel SCZT nemůže přijmout žádná úsporná opatření a je nucen dodávat teplo na práh objektů i v době, kdy potřebu tepla pokrývá alternativní zdroj. Z hlediska SCZT tak tento zdroj neumožňuje snížit maximální příkon, pouze snižuje odebrané množství tepla.

#### **4.3.6.2 Plynová kotelna**

Jak již bylo zmíněno, instalace lokální kotelny znamená odpojení objektu od SCZT, čímž dochází ke snížení množství tepla prodaného ze soustavy CZT a rozdělení ztrát systému a ostatních stálých nákladů mezi ostatní připojené objekty.

#### **4.3.6.3 Kogenerační jednotka**

Kogenerační jednotka navržená z hlediska investora není dimenzována na celkově potřebný výkon, ale na požadavek maximálního využití instalovaného výkonu během roku. Z hlediska SCZT to tedy znamená, že v letních měsících bude teplo odebíráno minimálně nebo vůbec a v zimním období klesne potřeba jak z hlediska odebraného množství, ale současně i z hlediska potřebného maximálního příkonu.

#### **4.3.6.4 Tepelné čerpadlo**

Model uvažuje s tepelným čerpadlem vzduch – voda, protože jiná možnost není prakticky realizovatelná. Tepelné čerpadlo je možno v modelu navrhnout pro ohřev vody nebo pro vytápění, případně pro obojí. Tepelné čerpadlo pro vytápění ale není možno použít pro vytápění v budově v původním stavu vzhledem k tomu, že výkony dostupných TČ reálně instalovatelných v objektu jsou v nepoměru k tepelné ztrátě budovy v původním stavu. Jinými slovy, aby se tepelné čerpadlo mohlo v bilanci znatelně uplatnit, muselo by být velmi výkonné, což by bylo technicky obtížně řešitelné z hlediska dostupného elektrického příkonu, prostoru, hlučnosti a vibrací.

Tepelné čerpadlo z hlediska SCZT pracuje podobně jako solární systém, ale mnohem více předpověditelně, protože jeho výroba nezávisí na slunečním svitu, ale na teplotě venkovního vzduchu. Instalace pro přípravu teplé vody snižuje množství odebraného tepla i potřebný maximální příkon. V případě instalace TČ pro vytápění se ale snižuje pouze množství odebraného tepla;

maximální příkon musí být zachován, protože v extrémních teplotách tepelné čerpadlo nepracuje efektivně.

Z hlediska přínosů je tepelné čerpadlo mnohem vyrovnanějším zdrojem tepla než solární systém. Teplo vyrábí naprostou většinu roku, v létě dosahuje vysokých účinností díky vysoké teplotě venkovního vzduchu a v zimě pracuje kromě krátké periody ledových dní téměř celou topnou sezónu (průměrná venkovní teplota během otopného období například v Praze je 4,3 °C).

Pro přípravu teplé vody musí tepelné čerpadlo dodávat vyšší teplotu, než je u podobných zařízení běžné, ale některé typy jsou konstruovány právě jako vysokoteplotní, takže mohou mít výstupní teplotu i 80 °C (např. Daikin Altherma HT). Vzhledem k relativně nízkým příkonům lze tepelné čerpadlo většinou připojit i bez nutnosti posilovat hlavní přívod elektřiny. K řešení pak zůstává už jen otázka zamezení hluku a vibrací, která je také již technicky zvládnutelná. Instalace tepelných čerpadel pro ohřev vody je tak do budoucna poměrně pravděpodobná.

V případě rekonstrukce budovy do pasivního standardu se potřeba tepla na přípravu teplé vody stává dominantní položkou energetické bilance budovy. V Evropě je kladen velký důraz na stavební část budovy, takže se zdá přirozené, že úsporná opatření začínají právě „zateplováním“ budov. V USA je to právě naopak, největší důraz je kladen na TZB a pro jejich návrh a provoz platí přísné požadavky, jako jsou maximální objemy potrubí pro rozvod teplé vody, vzdálenost výtokových míst od zdroje a také to, že cirkulační rozvod nesmí být v provozu nepřetržitě; naopak tepelné mosty stavebních konstrukcí stavitelé budov často příliš neřeší. V poslední době se názory na potřebu úspor energie i v jiné oblasti než vytápění dostávají i do našich krajin, takže lze očekávat, že po vyčerpání možností zkvalitnění tepelné ochrany budovy budou další opatření směřovat právě sem. Z praktického hlediska je příprava teplé vody neprávem opomíjena, protože z hlediska měrných investičních nákladů je například instalace vysoce efektivního lokálního zdroje často výhodnější než opatření ve stavební části.

Větší rozšíření tepelných čerpadel by bylo ale špatnou zprávou pro systémy CZT a v případě pasivní rekonstrukce možná dokonce horší než celkové odpojení objektu. SCZT by hrálo roli jen jako špičkový zdroj s malým odběrem tepla na vytápění během zkrácené topné sezóny a s velmi omezeným (cca 2 týdny ročně) odběrem tepla na ohřev vody.

## 5 Použití modelu pro konkrétní modelový příklad

V této části jsou prezentovány některé zajímavé výstupy modelu pro dále uvedené nastavení proměnných.

Při testování scénářů byla provedena rozsáhlá simulace jednotlivých přípustných variant, a to jak z hlediska individuálních opatření, tak i jejich kombinací. Kombinace byly dále zkoumány při různé míře penetrace opatření v souboru budov v 10% kroku.

Vzhledem k počtu možných kombinací opatření ve stavební části a v oblasti TZB, navíc k možnosti postupného nárůstu zastoupení dané kombinace opatření ve vzorku budov (nehledě na možnosti, kdy každá budova bude mít jinou kombinaci změn), není možno uvést vyčerpávající výčet výsledků, a to ani formou přílohy.

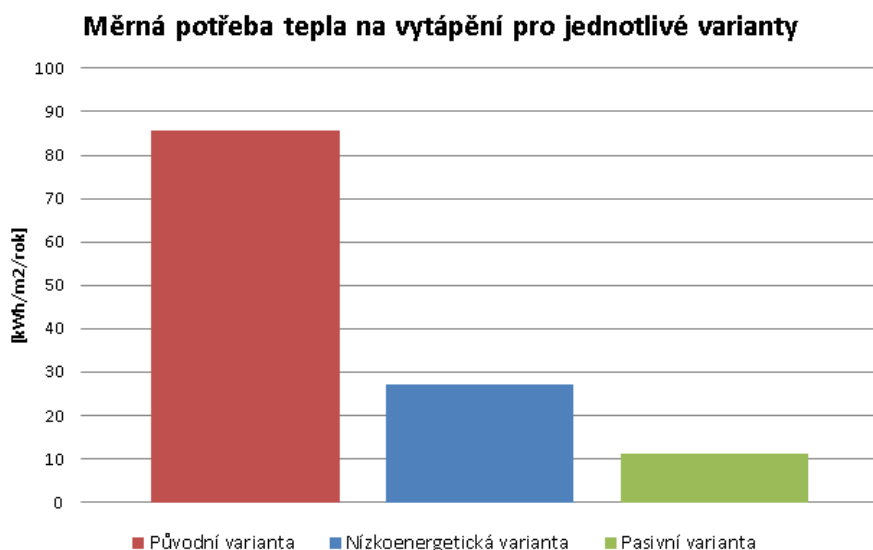
Následně byly vybrány modelové demonstrační případy, na nichž je ukázán dopad jednotlivých scénářů. Některé zajímavé kombinace jsou prezentovány formou dopadu opatření na budovu samotnou a na soubor budov s několika stupni penetrace opatření. Pro klíčové kombinace jsou ukázány sumární bilanční grafy a časové průběhy některých veličin. V některých zajímavých případech jsou uvedeny i vlivy postupné penetrace opatření.

V závěrečné podkapitole jsou sumárně porovnány vlivy postupné penetrace opatření na výslednou cenu tepla podle různých typů opatření.

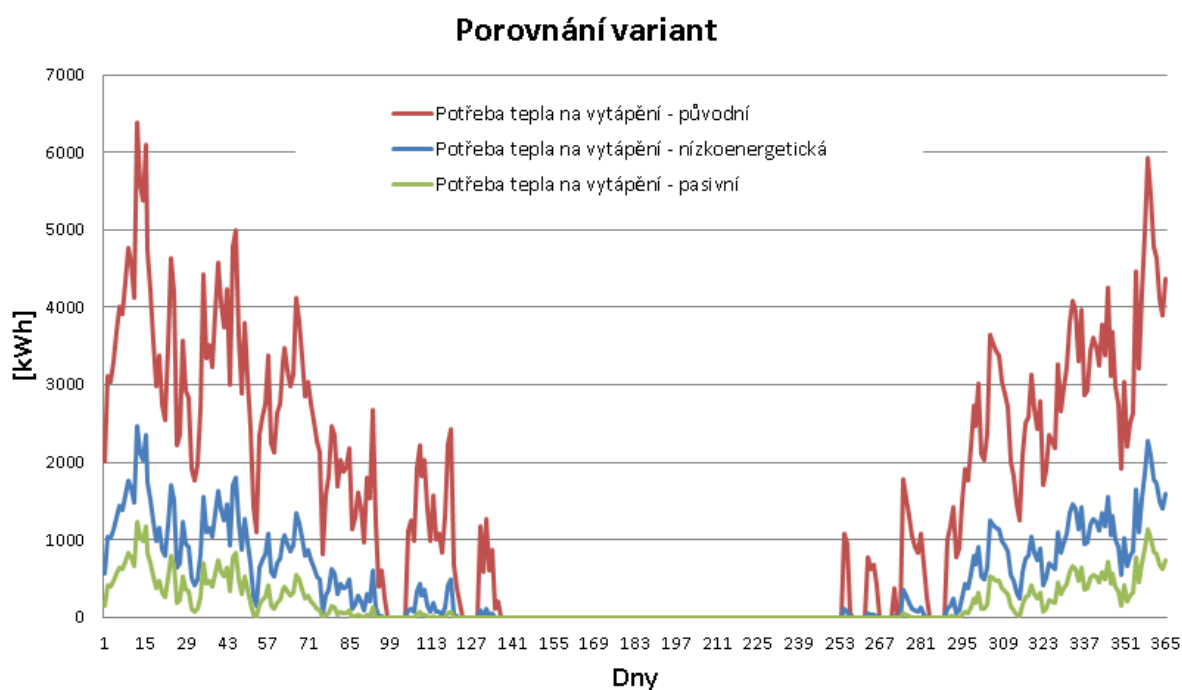
Pomyslná budova reprezentující ideální část reálné zástavby určená pro testování modelu a rozbor získaných výsledků byla odvozena z reálně existujícího objektu a byly zpracovány tři varianty možné kvality budovy, které reprezentují budovu v původním stavu, budovu po rekonstrukci do nízkoenergetického standardu a budovu po rekonstrukci do pasivního standardu.

Parametr		Původní stav	Nízkoenergetická rekonstrukce	Pasivní rekonstrukce	
<b>Vnitřní podlahová plocha</b>	$A_{,int}$	6503	6503	6503	$m^2$
<b>Celkový tepelný tok</b>	$H_c$	9186	3982	2294	W/K
<b>Tepelný tok obálkou budovy</b>	$H_t$	6045	2583	1643	W/K
<b>Tepelný tok větráním</b>	$H_v$	3141	1399	650	W/K
<b>Navrhovaná vnitřní teplota</b>	$T_i$	20	20	20	°C
<b>Tepelná kapacita na <math>m^2</math></b>	$C$	165	165	165	$kJ/m^2/K$
<b>Potřeba tepla na vytápění</b>	$e$	557648	177640	72934	kWh
		2007,5	639,5	262,6	GJ
		557,6	177,6	72,9	MWh
<b>Měrná potřeba tepla na vytápění</b>	$e_A$	85,8	27,3	11,2	$kWh/(m^2.a)$
<b>Zisky pokrývají ze ztrát</b>		27%	48%	63%	

*Tabulka 5: Porovnání klíčových parametrů variant technického standardu modelové budovy.*



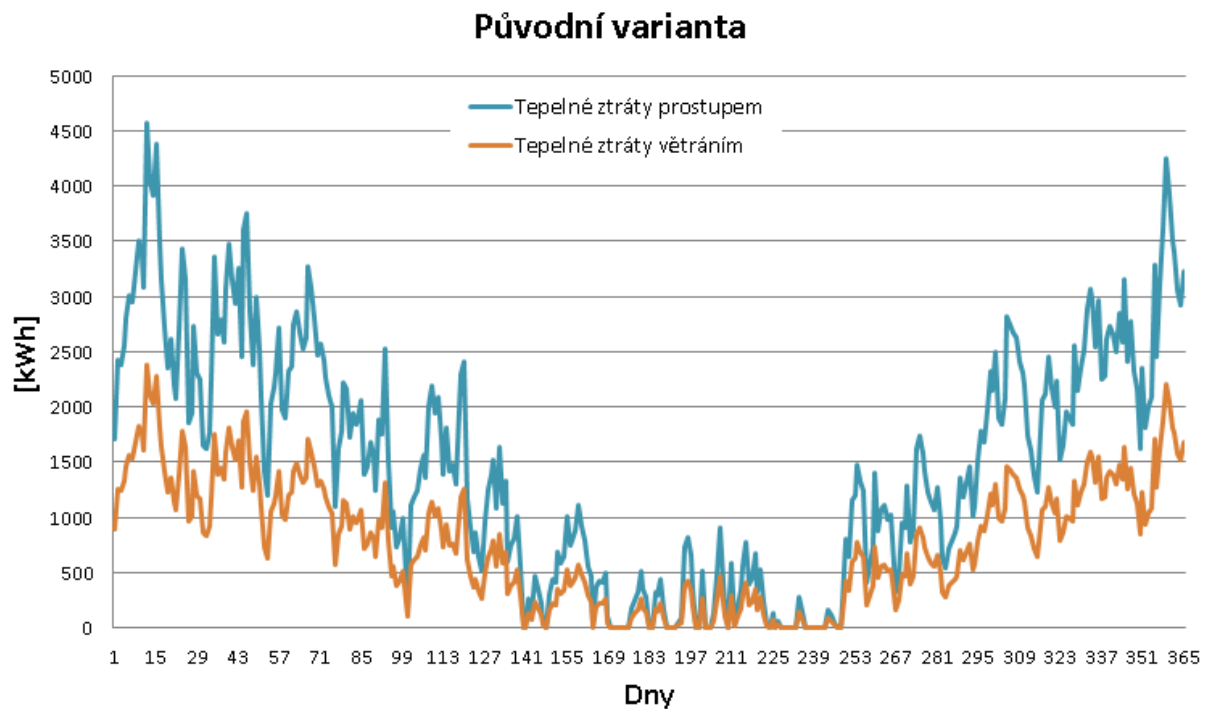
**Obrázek 26: Měrné potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé varianty.**



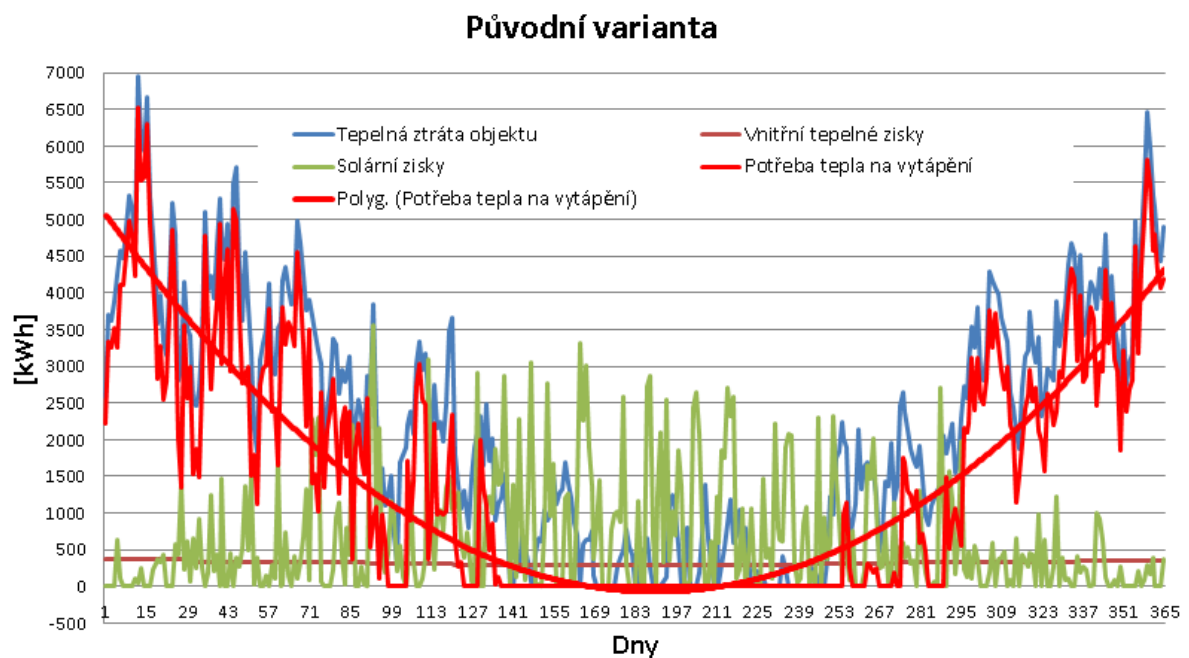
**Obrázek 27: Porovnání průběhu potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé varianty.**

Z grafu je zřetelně vidět, že kromě absolutních hodnot potřeby tepla v jednotlivých dnech topného období se liší i jeho délka. U nízkoenergetické a ještě více u pasivní varianty rekonstrukce je v přechodných obdobích tepelná ztráta pokryta dostupnými tepelnými zisky, takže budova nepotřebuje zvenčí dodanou energii.

Následující grafy ukazují porovnání tepelných ztrát a zisků pro jednotlivé varianty řešení.

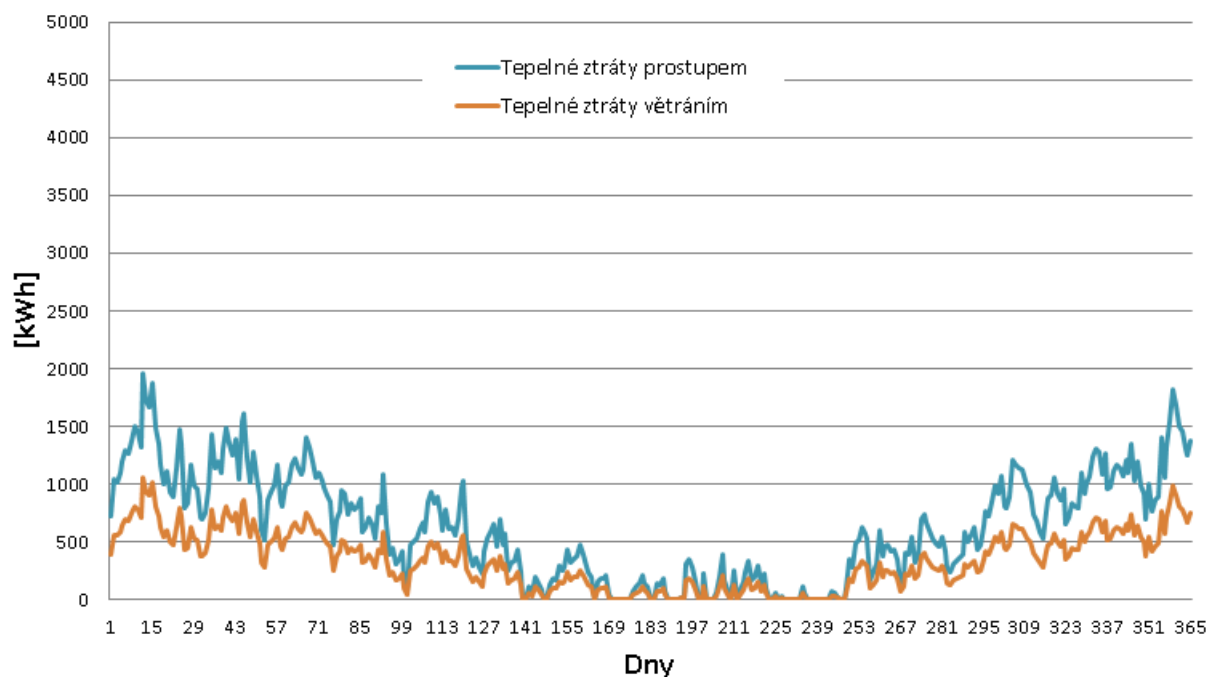


**Obrázek 28: Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - původní varianta.**



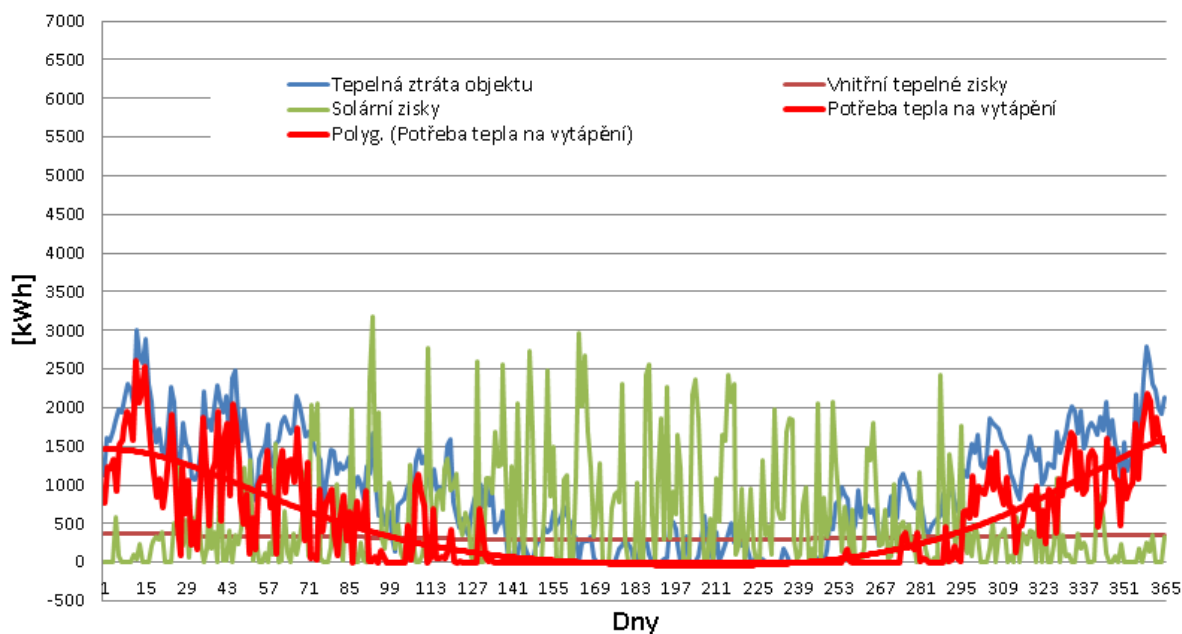
**Obrázek 29: Průběh tepelných ztrát a zisků - původní varianta.**

### Nízkoenergetická varianta



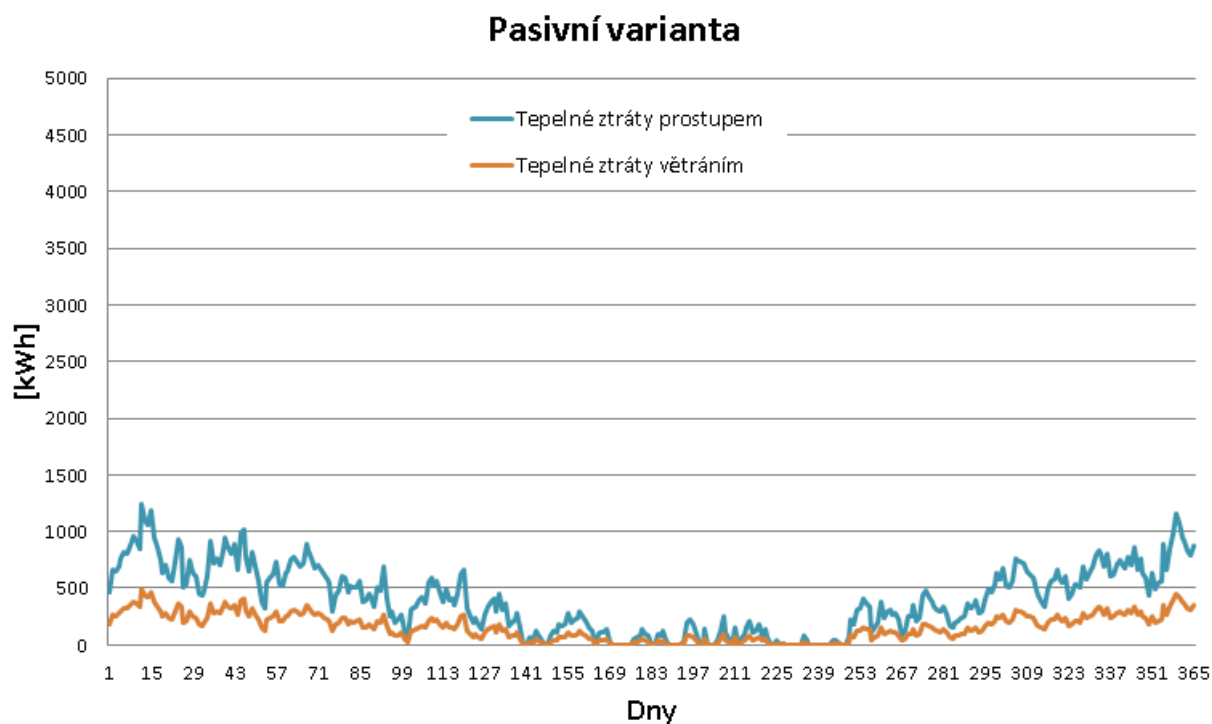
Obrázek 30: Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - nízkoenergetická varianta.

### Nízkoenergetická varianta

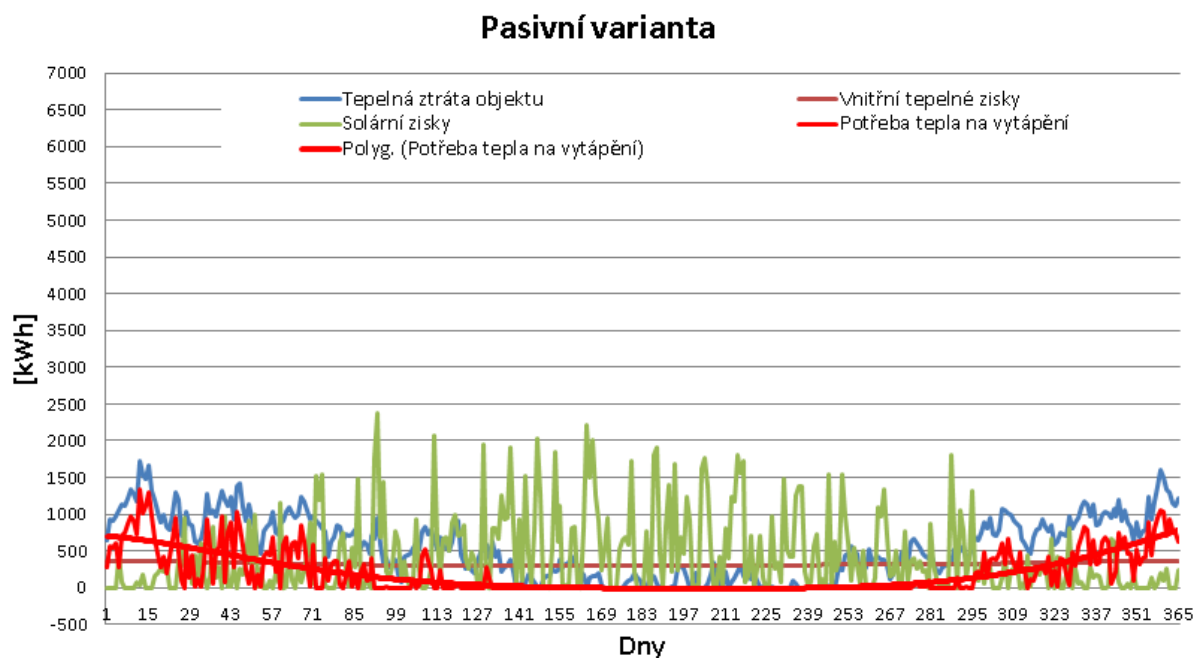


Obrázek 31: Průběh tepelných ztrát a zisků - nízkoenergetická varianta.





**Obrázek 32: Průběh tepelné ztráty větráním a prostupem - pasivní varianta.**



**Obrázek 33: Průběh tepelných ztrát a zisků - pasivní varianta.**

V grafech jsou pod označením Solární zisky a Vnitřní tepelné zisky uvedeny tepelné zisky bez započtení jejich využitelnosti. Z porovnání vyplývá, že převážná část solárních tepelných zisků probíhá v době mimo topnou sezónu. Dále stojí za povšimnutí, že solární tepelné zisky směrem k úspornějším řešením klesají. Důvodem je to, že otvorové výplně s lepším součinitelem prostupu tepla  $U_g$  mají současně i horší světelnou propustnost  $g$ .

Klíčovým zjištěním je to, že kromě snížení absolutní potřeby tepla se také mění distribuce potřeby tepla v čase. Zatímco u původní varianty začínala topná sezóna začátkem září a končila koncem května, u úspornějších variant se zkracuje. U pasivní varianty začíná topná sezóna v průběhu listopadu a končí na konci března.

Model byl pro získání výsledků uvedených v následujících částech nastaven takto:

- Všechny pomyslné budovy jsou ve srovnávací variantě v původním stavu
- Tepelná vodivost zeminy je  $1,7 \text{ (W.m}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$
- Hloubka uložení potrubí je  $0,8 \text{ m}$ , koeficient vlivu uložení  $0,15$
- Ekvitermní regulace teploty média je nastavena dle optimalizačního výpočtu PT, a.s., tj. výpočtová hodnota horkovodu je  $130 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$  v extrémních podmínkách, na začátku a na konci topného období  $110 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , v mezilehlých časových úsecích je regulována plynule podle aktuální teploty. V letním období je nastavena teplota  $95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pro teplovod je teplota řízena ekvitermně od  $95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $65 / 45 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Parametry rozvodů jsou nastaveny dle následující tabulky:

Část rozvodu	Návrhový teplotní spád	Délka úseku (m)	Průměr potrubí DN (mm)	Tloušťka izolace (mm)	Tepelná vodivost izolace ( $\text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
<b>Primární přívod</b>	Horkovod	800	100	52	0,030
<b>Sekundární větve I. a II.</b>	Horkovod	2x 150	80	43	0,030
<b>Domovní přípojky</b>	Teplovod	10x 50	50	30	0,030

*Tabulka 6: Parametry tepelné sítě použité v modelu.*

Použitá klimatická data jsou převzata z databáze Meteonorm pro Hradec Králové a rok 2005.

## 5.1 Nastavení cen tepla

Pro výpočet byla nastavena základní cena tepla následovně:

Celková cena tepla  $500 \text{ Kč/GJ}$  (včetně DPH), poměr jednotkové ceny za sjednané a odebrané množství tepla  $40,4/59,6 \%$  (podle reálné ceny PT, a.s. v roce 2014).

Níže je uveden příklad výpočtu změny ceny pro významný pokles spotřeby tepla a nárůst systémových ztrát po teoretickém scénáři razantního zateplení celého souboru budov do pasivního standardu a instalaci solárních systémů:

Teplo	Původní (kWh)	Aktuální (kWh)
<b>Dodávka tepla do CZT včetně ztrát</b>	8 403 114	2 887 330
<b>Prodej tepla</b>	7 808 990	2 293 206
<b>Výroba / prodej</b>	1,08	1,26

Peníze	Původní tržby (Kč)	Nové tržby (Kč)
<b>Tržba za sjednané množství</b>	5 673 470	5 673 470
<b>Tržba za odebrané množství</b>	8 382 711	2 461 686
<b>Tržba celkem</b>	14 056 181	8 135 156

Cena za jednotku	Původní cena Kč/kWh	Nová cena Kč/kWh
<b>Celková jednotková cena</b>	1,80	3,55
<b>Jednotková cena za sjednané množství</b>	0,73	2,47
<b>Jednotková cena za odebrané množství</b>	1,07	1,07

*Tabulka 7: Příklad změny ceny tepla po aplikaci úsporných opatření.*

V tomto případě se ztráty systému zvýšily z původních 8 % na 26 % a celková cena tepla vzrostla z 500 Kč / GJ na 985 Kč / GJ.

## 5.2 Vyčíslení skutečné a očekávané ceny tepla

V následujícím případě je prezentován modelový příklad odchylky vzniklé mezi očekávanou cenou tepla a náklady na jeho nákup a novou cenou vzniklou v důsledku opatření ve velkém množství budov.

Na tomto (poměrně extrémním) příkladu je ukázáno, že projekt snížil potřebu tepla na vytápění na 13 % původní hodnoty a potřebu tepla na ohřev vody na 70 % původní hodnoty. Tyto úspory nejsou technicky nereálné. Současně ale předpokládáme, že se tak stalo současně ve všech budovách napojených na stejnou soustavu CZT.

	Budova před opatřením		Budova po opatření					
	Spotřeba	Platby - původní ceny	Spotřeba	Očekávané platby – původní ceny	Očekávaná úspora	Skutečné platby - nové ceny	Skutečná úspora	Rozdíl oproti očekávání
	kWh	Kč	kWh	Kč	Kč	Kč	Kč	Kč
<b>Vytápění</b>	557 648	1 003 767	72 934	131 281	-872 486	258 734	-745 033	127 453
<b>Teplá voda</b>	223 250	401 851	156 387	281 496	-120 355	554 782	152 931	273 286
<b>Celkem</b>	780 899	1 405 618	229 321	412 777	-992 841	813 516	-592 103	400 739

**Tabulka 8: Předpokládané a skutečné úspory provozních nákladů po realizaci opatření - příklad.**

Investoři předpokládali, že se stejným procentem sníží provozní náklady. Kvůli změně ceny tepla se ale v případě vytápění dostavila pouze částečná úspora a v případě ohřevu vody se náklady dokonce zvýšily. Celková úspora je tak poloviční oproti očekávání.

Změny ceny tepla se promítnou i do nákladů referenční budovy. Referenčním objektem je myšlena budova, která zůstane v původním stavu poté, co byly v souboru budov učiněny změny ovlivňující celkovou spotřebu tepla a systémové ztráty SCZT.

Referenční budova				
	Spotřeba	Platby – původní ceny	Platby – nové ceny	Rozdíl nákladů
	kWh	Kč	Kč	Kč
<b>Vytápění</b>	557 648	1 003 767	1 978 260	974 493
<b>Teplá voda</b>	223 250	401 851	791 982	390 131
<b>Celkem</b>	780 899	1 405 618	2 770 242	1 364 624

**Tabulka 9: Změna provozních nákladů pro referenční budovu.**

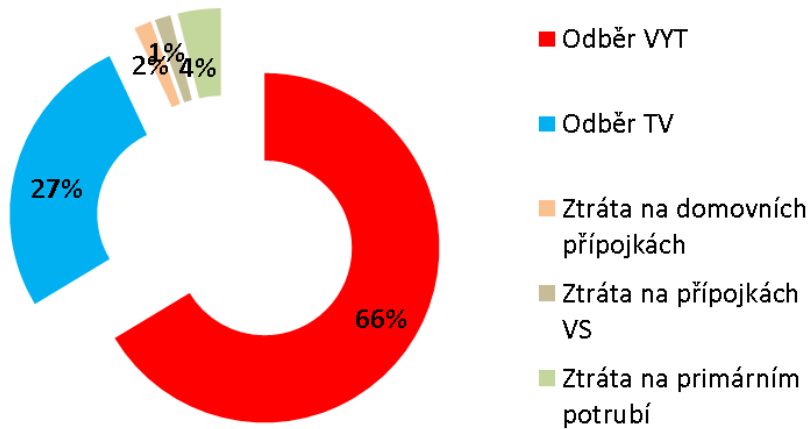
Z výpočtu vyplývá, že budova, která nebyla nijak rekonstruována, je kvůli vlivu ostatních budov na systém CZT v dalších obdobích zatížena téměř dvojnásobnými provozními náklady.

### 5.3 Instalace plynové kotelny – odpojení od SCZT

Instalace plynové kotelny znamená praktické odpojení budovy od SCZT. Odpojením se však navyšuje poměr systémových ztrát vůči teple prodanému zbývajícím odběratelům, kteří pak musejí systémové ztráty uhradit sami.

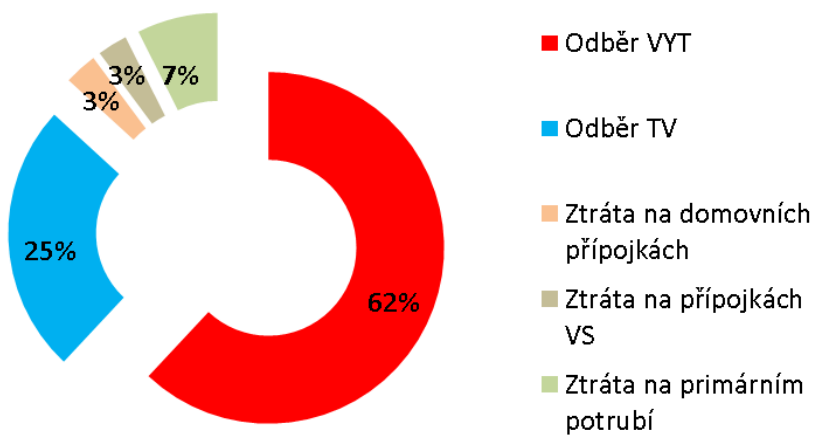
V následujících grafech je ukázán nárůst poměrných systémových ztrát vůči celkově dodanému teple.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



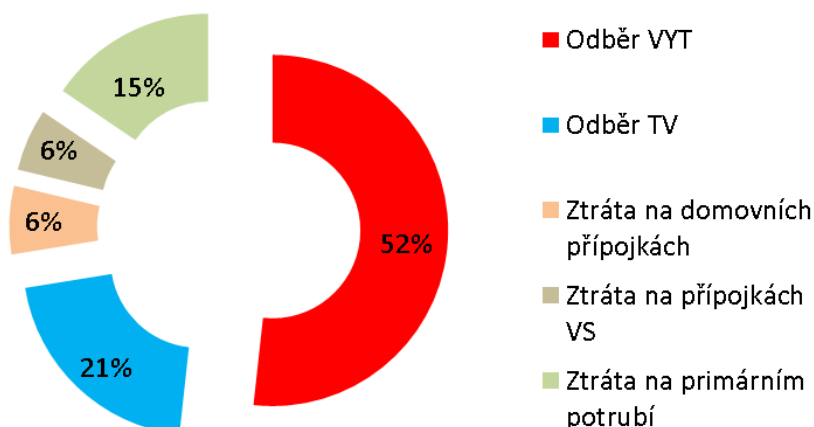
Obrázek 34: Původní energetická bilance systému.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 35: Energetická bilance systému po odpojení 50 % budov.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 36: Energetická bilance systému po odpojení 80 % budov.

Grafy ukazují značný nárůst systémových ztrát oproti prodanému teplu. Ztráty systému musejí být uhrazeny v ceně tepla ostatních odběratelů. V tabulce níže je uveden dopad, který má postupné odpojování budov na ostatní budovy, které zůstaly k SCZT připojeny.

Procento odpojených budov	Původní platby	Nové platby	Navýšení oproti původnímu stavu - Kč	Navýšení oproti původnímu stavu %
10%	1 405 618	1 468 657	63 039	4,5%
30%	1 405 618	1 648 767	243 149	17,3%
50%	1 405 618	1 972 965	567 347	40,4%
80%	1 405 618	3 675 006	2 269 388	161,5%

Tabulka 10: Odpojení objektů od CZT a zvýšení nákladů na teplo pro referenční budovu.

Z výše uvedených simulací vyplývá, že rozhodnutí odběratele odpojit se od SCZT skutečně poškozuje ostatní odběratele tepla. Efekt je u prvních odpojených objektů malý, ale postupně exponenciálně roste.

### 5.4 Instalace kogenerační jednotky

Kogenerační jednotku lze v modelu „instalovat“ buď pro ohřev vody nebo pro vytápění nebo pro obojí. Dimenze zařízení je navržena z hlediska investora.

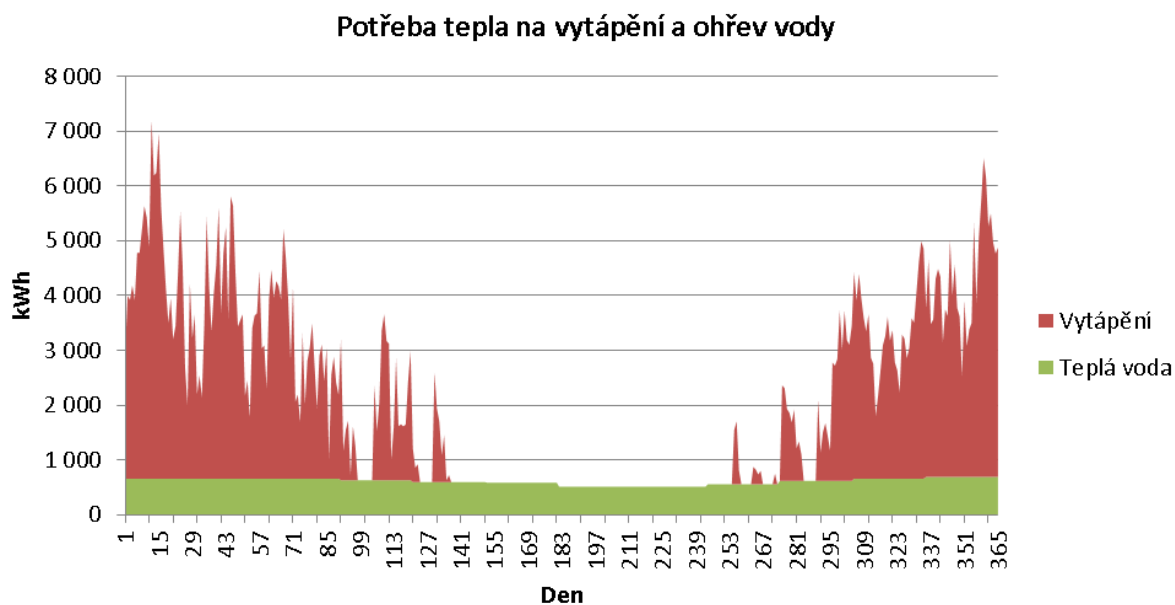
Kogenerační jednotka byla dimenzována optimalizačním výpočtem tak, aby měla maximální proběh během roku. V průběhu modelování se volí návrhový výkon podle vybraného energetického standardu budovy.

Typ instalace	Výkon kW <sub>t</sub>
Pouze TV	20
TV a vytápění současný stav	60
TV a vytápění - nízkoenergetický standard budovy	25
TV a vytápění - pasivní standard budovy	15

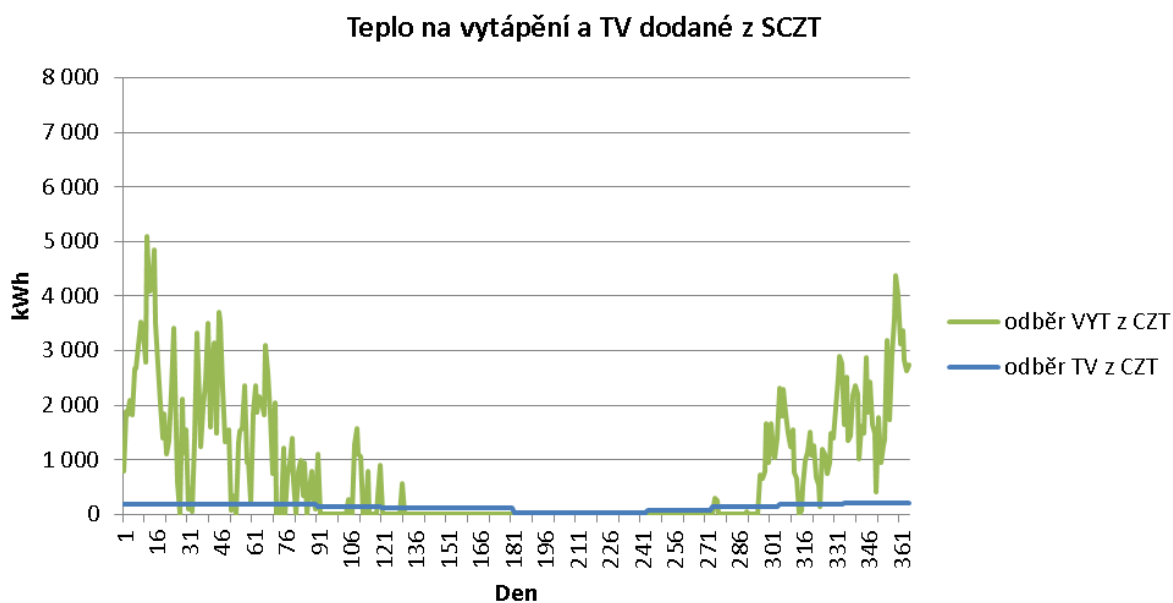
**Tabulka 11: Návrhové parametry kogenerační jednotky.**

Výkon kogenerační jednotky je navržen vždy tak, aby bylo dosaženo optimálního provozu, tj. maximální počet provozních hodin ročně.

Na následujících obrázcích je ilustrována potřeba tepla a její pokrytí u budovy s kogenerační jednotkou na přípravu TV i vytápění.



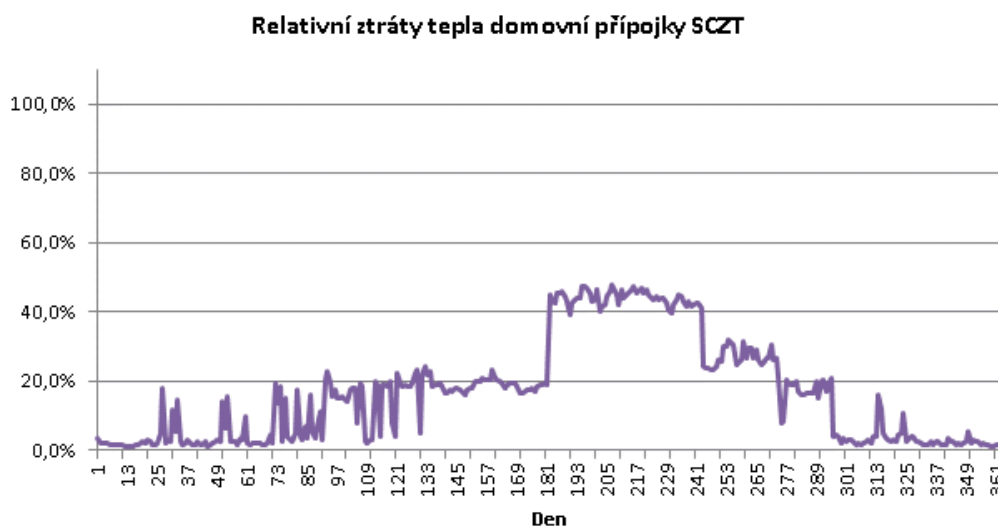
**Obrázek 37: Průběh potřeby tepla.**



**Obrázek 38:** Dodávka tepla z SCZT v případě instalace kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotka snižuje během celého roku odběr tepla z CZT. V daném případě grafy ukazují modelové výstupy pro použití KJ pro vytápění i ohřev vody, ale lze nastavit i použití pro každý tento účel samostatně.

Následující graf prezentuje relativní tepelnou ztrátu domovní přípojky po realizaci uvedeného opatření. Tyto neefektivnosti se následně přenášejí do celého systému.



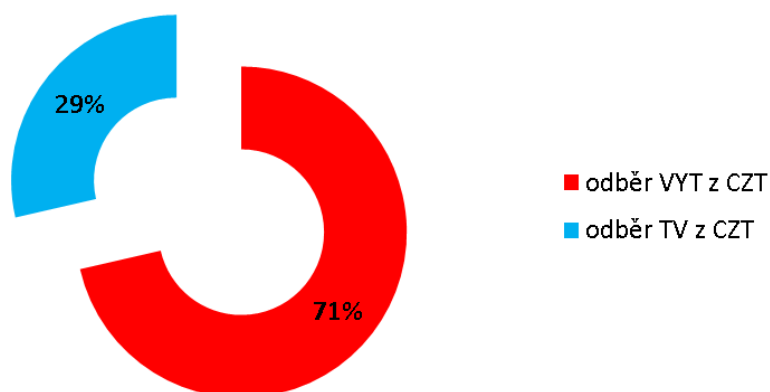
**Obrázek 39:** Relativní ztráty tepla domovní přípojky u budovy s kogenerační jednotkou.



## 5.5 Rekonstrukce do nízkoenergetického standardu

Rekonstrukce do nízkoenergetického standardu je to, co se běžně děje při revitalizacích panelových objektů. Na rozdíl od rodinného domu je u velkého bytového domu poměr velikosti ochlazovaných ploch chránících vytápěný prostor oproti tomuto prostoru mnohem nižší. Většina stěn jednotlivých bytů sousedí s jinými vytápěnými prostory, takže objekt má díky své velikosti sám s sobě relativně nízkou měrnou potřebu tepla na vytápění. Proto stačí poměrně malé a technicky i ekonomicky zcela dostupné zlepšení obalových konstrukcí a nízkoenergetického standardu může být dosaženo. I měrné investiční náklady na jednotku obytné plochy jsou výrazně menší než u malých objektů, jako jsou rodinné domy.

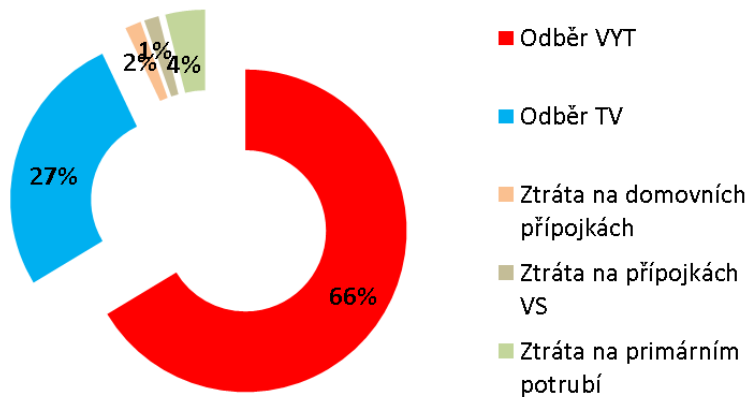
### Bilance budova A1



**Obrázek 40: Rozložení potřeb tepla pro budovu - Původní stav.**

V původním stavu před rekonstrukcí je cca 70 % tepla spotřebováno na vytápění. Příprava teplé vody je minoritní položkou.

## Bilance vyrobeného tepla celkem

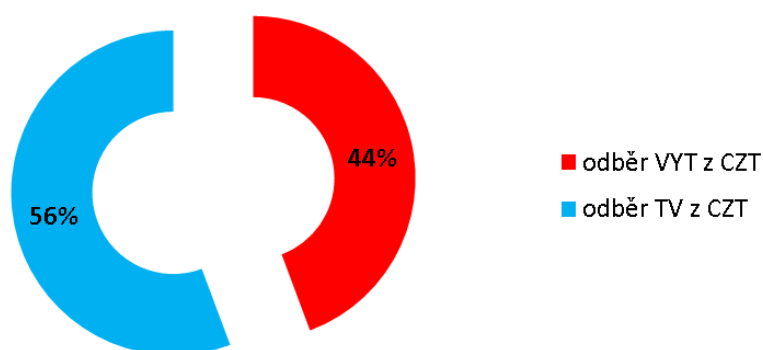


Obrázek 41: Energetická bilance systému - původní stav.

V celkové bilanci systému je poměr podobný, pouze je zde možno pozorovat cca 7 % ztrát v rozvodech. Tato hodnota je spíše nízká a odpovídá malému rozsahu tepelné sítě.

Po rekonstrukci do nízkoenergetického standardu se bilance budovy mění. Potřeba tepla na vytápění již tvoří menšinu celkové potřeby tepla.

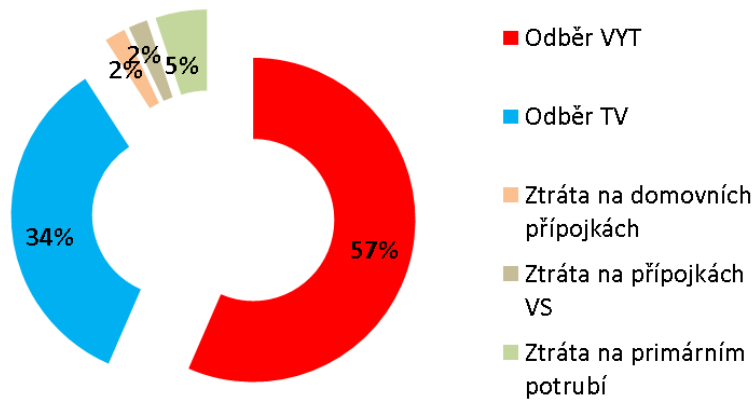
## Bilance budova A1



Obrázek 42: Rozložení potřeb tepla pro budovu – NE rekonstrukce

Každý rekonstruovaný objekt způsobuje pokles spotřeby tepla účtovatelné odběratelům při konstantní ztrátě tepelné sítě. Následující graf ilustruje nárůst podílu ztrát při 50% penetraci opatření.

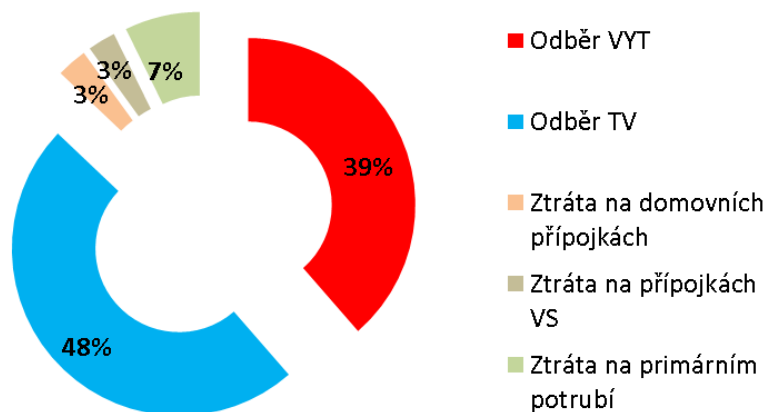
### Bilance vyrobeného tepla celkem



**Obrázek 43: Energetická bilance systému – NE rekonstrukce 50 %.**

100% penetrace opatření vede k dalšímu nárůstu podílu ztrát.

### Bilance vyrobeného tepla celkem



**Obrázek 44: Energetická bilance systému – NE rekonstrukce 100 %.**

Zajímavou informací nese i analýza změn ceny tepla:

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 405 618	721 602	815 258	684 016	49%	590 361	42%	-93 655
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	1 405 618	721 602	997 690	684 016	49%	407 928	29%	-276 088

**Tabulka 12: Změny nákladů na energie v domě rekonstruovaném do NE standardu podle množství rekonstruovaných objektů.**

Z výsledků vyplývá, že plošná rekonstrukce objektů do nízkoenergetického standardu (tj. běžná kvalitní praxe) může způsobit nárůst ceny tepla a ovlivnit ekonomiku úsporného projektu. Při 50 % rekonstrukci je skutečná úspora nižší o 14 % (vzhledem k původně předpokládané úspoře) než předpokládaná.

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
<b>Původní platby</b>	1 405 618		
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 588 051	182 433	13%
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	1 943 414	537 796	38%

**Tabulka 13: Změna nákladů pro referenční budovu.**

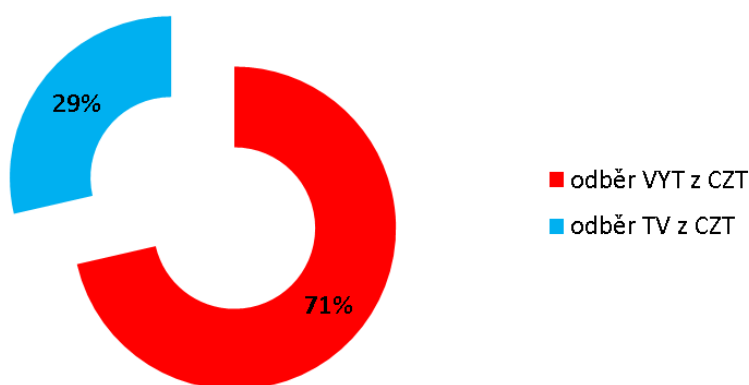
Pozorovatelná je i změna nákladů pro nezrekonstruované budovy. V případě rekonstrukce 50 % budov by byly náklady na nákup tepla poslední nezrekonstruované budovy o 13 % vyšší než ve výchozím stavu.

## 5.6 Rekonstrukce do pasivního standardu

Rekonstrukce budov do pasivního standardu není v současnosti ve větším měřítku obvyklá, ale nadcházející požadavky na „Nearly Zero Energy Building“ standard mohou tento trend vyvolat.

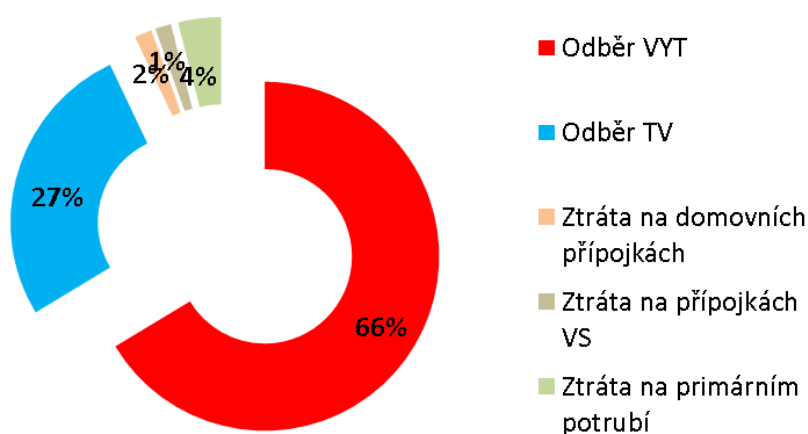
Energetická bilance se od převažující potřeby tepla na vytápění v původním stavu mění k převažující potřebě tepla na přípravu teplé vody, a to jak z hlediska budovy, tak i z hlediska systémového.

### Bilance budova A1



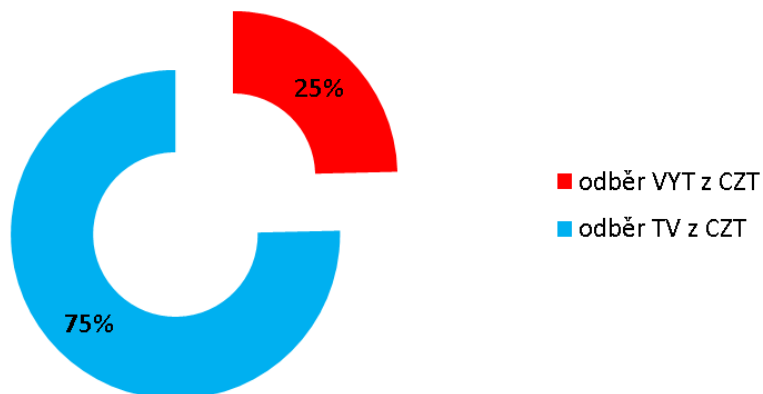
Obrázek 45: Rozložení potřeb tepla pro budovu - Původní stav.

### Bilance vyrobeného tepla celkem



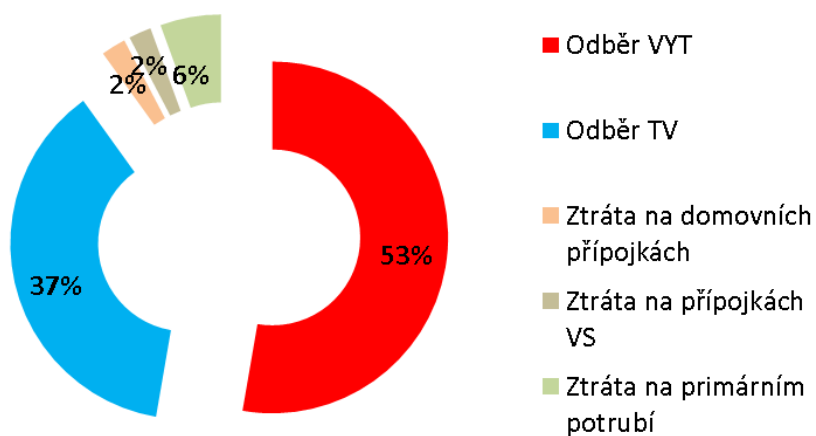
Obrázek 46: Energetická bilance systému - původní stav.

## Bilance budova A1



Obrázek 47: Rozložení potřeb tepla pro budovu – pasivní rekonstrukce.

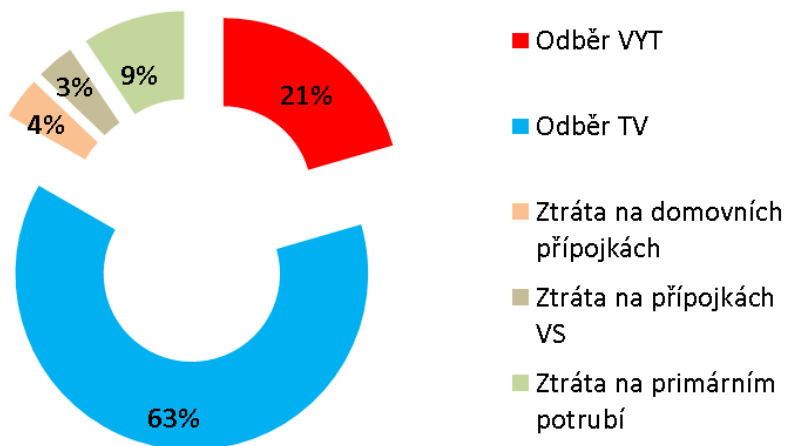
## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 48: Energetická bilance systému – pasivní rekonstrukce 50 %.

V grafu výše je situace při rekonstrukci 50 % budov do pasivního standardu.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 49: Energetická bilance systému – pasivní rekonstrukce 100 %.

Při 100% penetraci opatření je situace ještě výraznější. Zajímavou informaci nese i analýza změn ceny tepla:

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 405 618	533 132	629 972	872 486	62%	775 646	55%	-96 840
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	1 405 618	533 132	885 292	872 486	62%	520 326	37%	-352 160

Tabulka 14: Změny nákladů na energie v domě rekonstruovaném do pasivního standardu podle množství rekonstruovaných objektů.

Plošnější rekonstrukce do pasivního standardu by změnila původní předpoklady investorů méně než rekonstrukce do NE standardu. Předpokládaná úspora by se při penetraci opatření 50 % vlivem ostatních rekonstruovaných budov snížila asi o 11 %.

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
<b>Původní platby</b>	1 405 618		
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 660 938	255 320	18%
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	2 334 098	928 480	66%

Tabulka 15: Změna nákladů pro referenční budovu.

Významná je ovšem změna nákladů pro nezrekonstruované budovy. V případě rekonstrukce (téměř) 100 % budov by byly náklady na nákup tepla poslední nezrekonstruované budovy o 66 % vyšší než ve výchozím stavu, v případě 50% penetrace o 18 %, což je již znatelný nárůst.

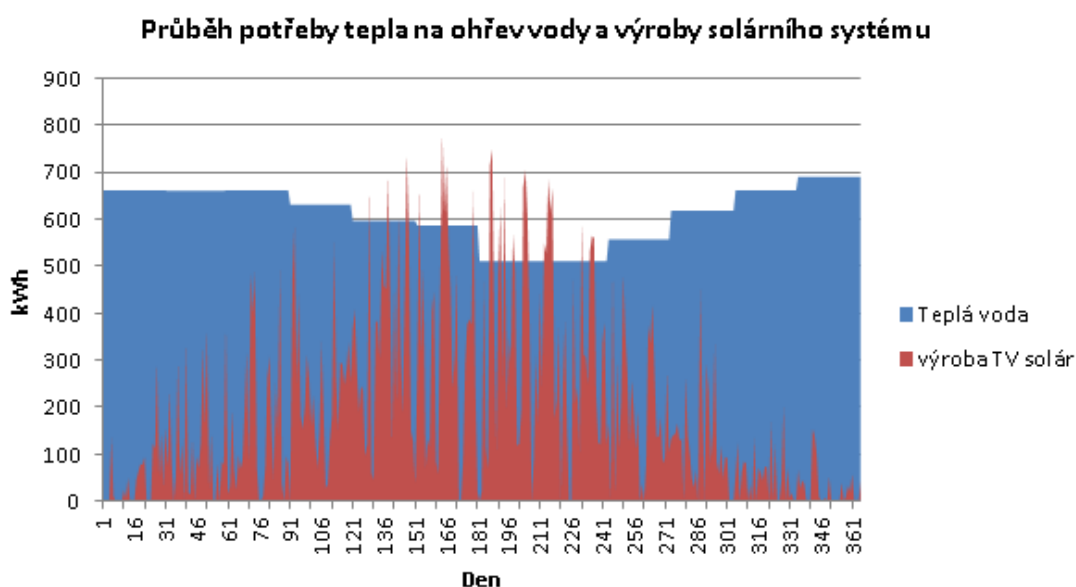
Z předchozích dvou případů, kdy šlo pouze o stavební úpravy, je zřejmé, že i toto jednoduché opatření významně zvyšuje ceny tepla a s rostoucí penetrací opatření v souboru budov postihuje stále více budovy bez opatření. Tím se samozřejmě zvyšuje jejich motivace k realizaci stejného opatření.

## 5.7 Instalace solárního termického systému pro ohřev vody

V případě solárního termického systému byly uvažovány vakuové trubicové kolektory, byla uvažována plocha kolektorového pole 1226 m<sup>2</sup> s plochou apertury 144,5 m<sup>2</sup>. Plocha střechy je 723 m<sup>2</sup>, takže instalace je technicky možná.

	Plocha (m <sup>2</sup> )
Plocha střechy	723,0
Plocha kolektorového pole	1226,0
Efektivní plocha teplosměnných elementů	144,5

Tabulka 16: Parametry návrhového solárního systému.

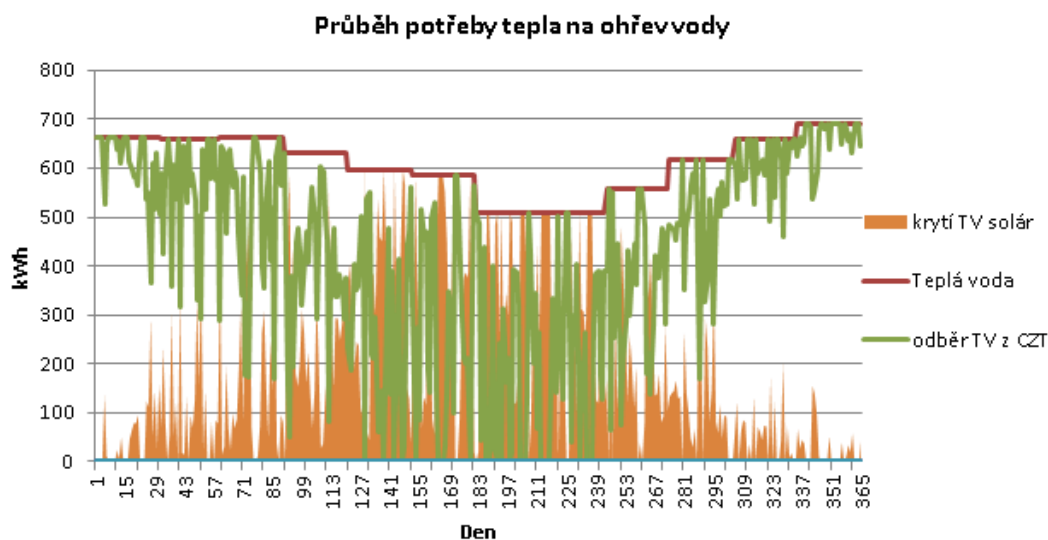


Obrázek 50: Potřeba tepla na ohřev vody a výroba solárního systému.



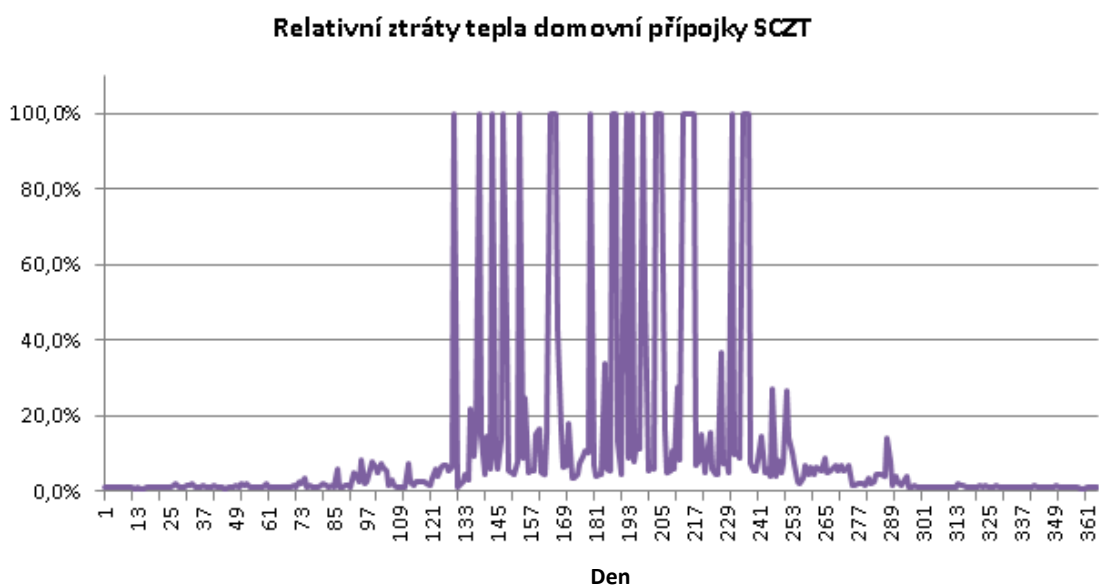
Obrázek ukazuje průběh potřeby tepla na ohřev vody a výrobu tepla v solárním systému. Právě využití reálných denních dat o slunečním záření ukazuje nepravidelnost výroby tepla se slunečního záření. V nejslunečnějším období roku zůstávají přebytky nevyužity.

Další graf prezentuje pokrytí potřeby tepla z obou dostupných zdrojů, solárního systému i SCZT.



**Obrázek 51: Potřeba tepla na přípravu teplé vody a její krytí z SCZT a solárního systému.**

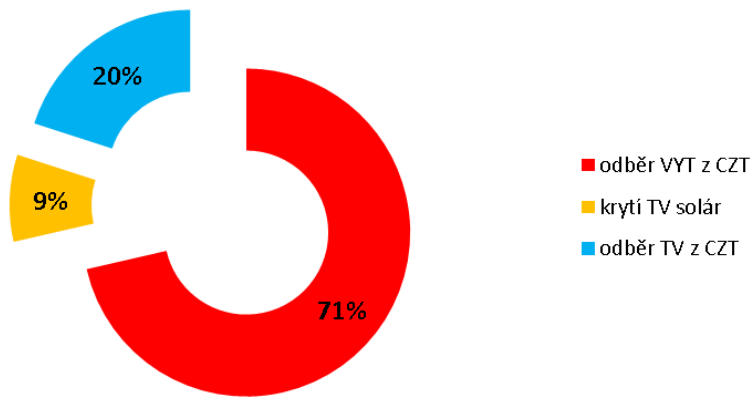
Tento stav pochopitelně vyvolává značné zvýšení ztrát v SCZT. Na následujícím obrázku jsou znázorněny relativní ztráty tepla (ztráty vůči dodané energii) na domovní přípojce v případě instalace solárního systému.



**Obrázek 52: Relativní ztráty přípojky SCZT u objektu s instalovaným solárním systémem.**

V roční bilanci dodává systém cca 9 % tepla.

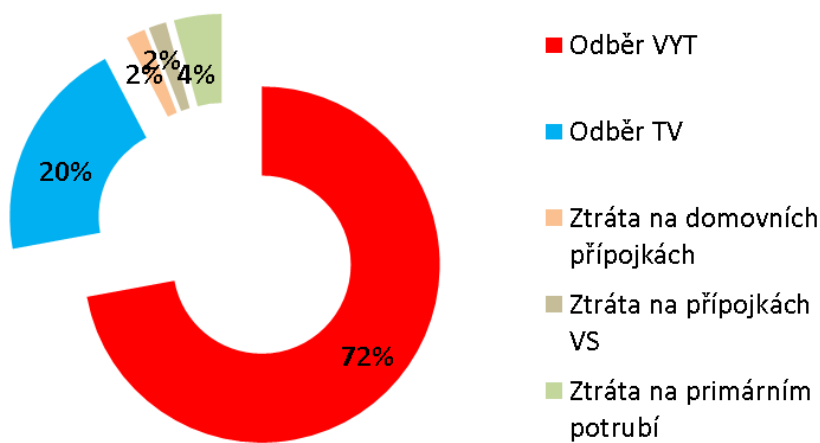
### Bilance budova A1



Obrázek 53: Sumární bilance pro jednotlivou budovu – Instalace solárního systému.

Systémová bilance ukazuje, že i tak relativně málo účinné opatření může mírně ovlivňovat systémové ztráty, ale tento dopad je malý. Dále je zřetelný posun bilance k teplu na vytápění.

### Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 54: Sumární bilance pro celý systém - Instalace solárního systému, 100% penetrace opatření.

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
Rekonstrukce 50 %	1 405 618	1 285 263	1 308 466	120 355	9%	97 152	7%	-23 203
Rekonstrukce 100 %	1 405 618	1 285 263	1 333 842	120 355	9%	71 776	5%	-48 579

**Tabulka 17: Změny nákladů na energie v domě se solárním systémem podle množství rekonstruovaných objektů.**

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
Původní platby	1 405 618		
Rekonstrukce 50 %	1 430 994	25 376	2%
Rekonstrukce 100 %	1 458 746	53 128	4%

**Tabulka 18: Změna nákladů pro referenční budovu.**

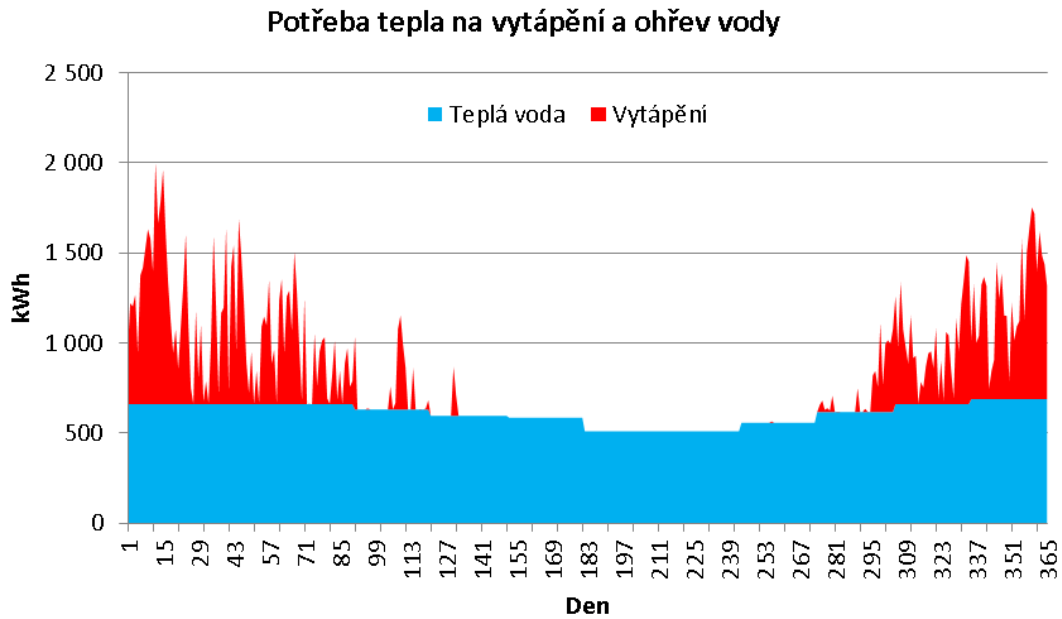
Plošná instalace solárních systémů by mohla vést ke značné změně úspor oproti očekávání, při 50% penetraci by klesly provozní úspory asi o 19 % oproti předpokladům, což by mohlo zkomplikovat splácení úvěru.

Na druhé straně, toto opatření má minimální dopady na systémovou cenu tepla a ostatní objekty by zatížilo zcela minimálně.

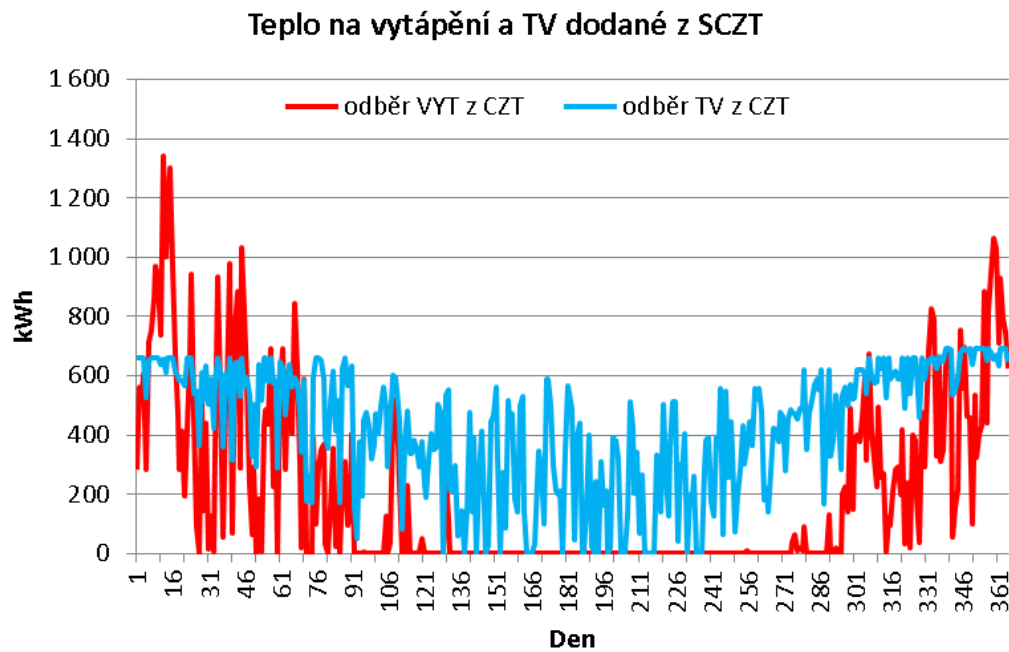
## 5.8 Instalace solárních systémů spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu

Tato kombinace patří k velmi pravděpodobným scénářům. Jak již bylo zmíněno na případu BD Orlová, instalace solárních systémů jsou vnímány jako vhodný doplněk rekonstrukce obálky budovy. I když jsou dosavadní rekonstrukce panelových domů dotaženy do pasivního standardu jen zřídka, současný trend k nim směřuje.

Po této úpravě se z hlediska potřeby tepla stává teplá voda významnější než vytápění.



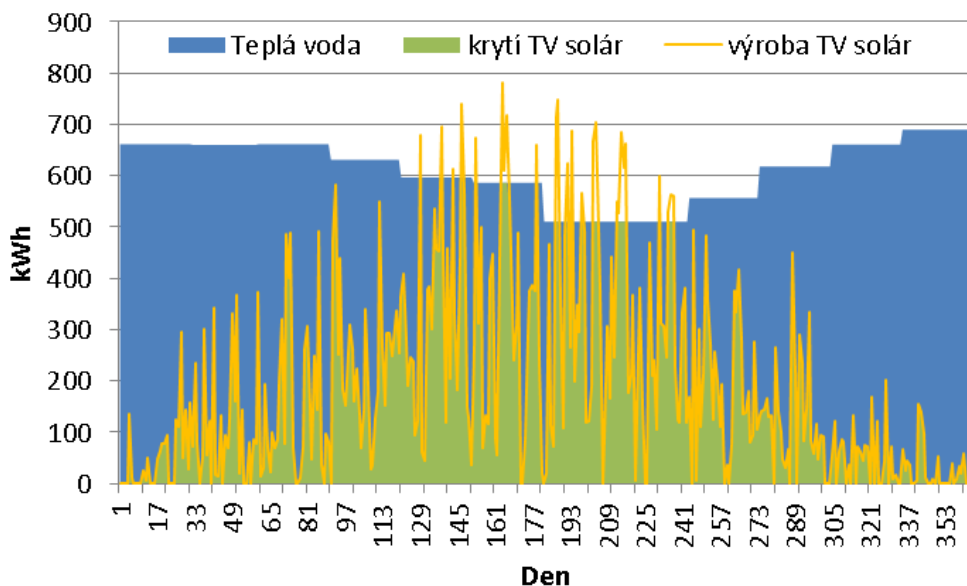
**Obrázek 55: Průběh potřeb tepla - Pasivní varianta se solárním systémem.**



**Obrázek 56: Průběh dodávky tepla z SCZT - Pasivní varianta se solárním systémem.**

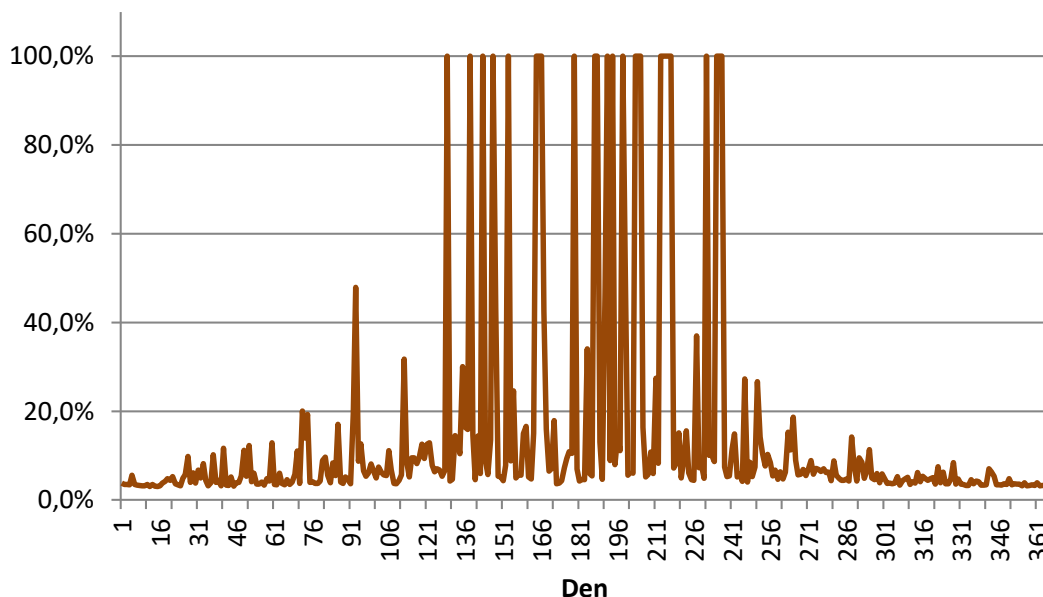
Odběr tepla z SCZT je velmi nepravidelný a nevyrovnaný, což je spojeno s velkou citlivostí na chod venkovních teplot a se závislostí ohřevu vody na slunečním záření. Zejména v letním období se objevují značné ztráty tepla v rozvodu SCZT.

### Průběh potřeby tepla na ohřev vody a výroby solárního systému



Obrázek 57: Průběh bilance solárního systému - Pasivní varianta se solárním systémem.

### Relativní ztráty tepla domovní přípojky SCZT

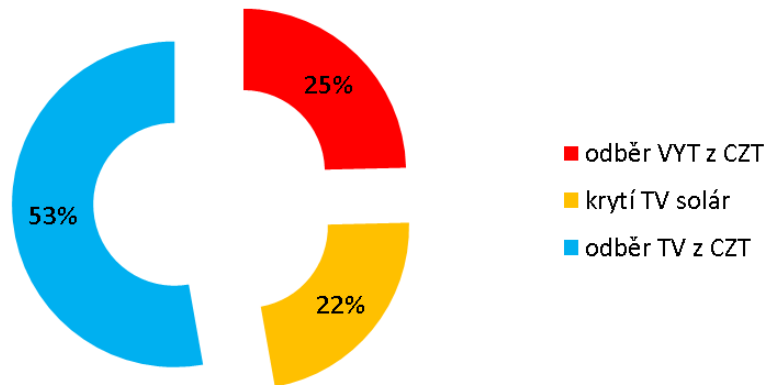


Obrázek 58: Průběh relativních ztrát domovní přípojky - Pasivní varianta se solárním systémem.

Stejně jako v předchozím případě je vidět, že kromě celkového navýšení tepelných ztrát je v řadě dní roku dodávané teplo z CZT užíváno pouze na pokrytí ztrát rozvodu.

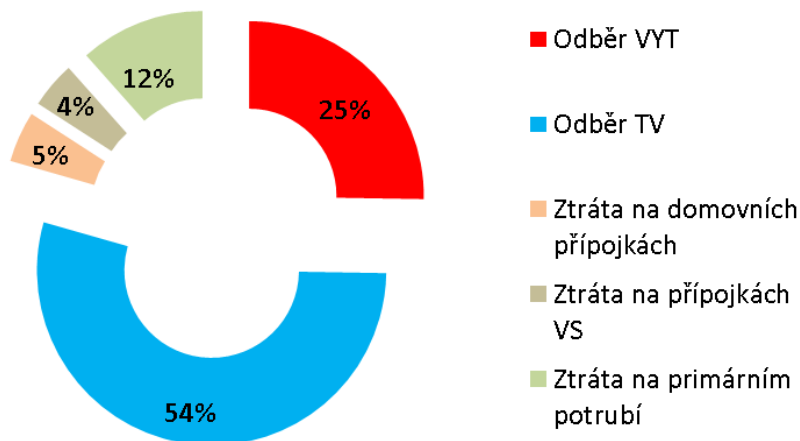
Přes vysoké relativní ztráty tepla v rozvodech je budova v roční bilanci z více než tří čtvrtin závislá na SCZT.

### Bilance budova A1



Obrázek 59: Sumární bilance pro jednotlivou budovu - Pasivní varianta se solárním systémem.

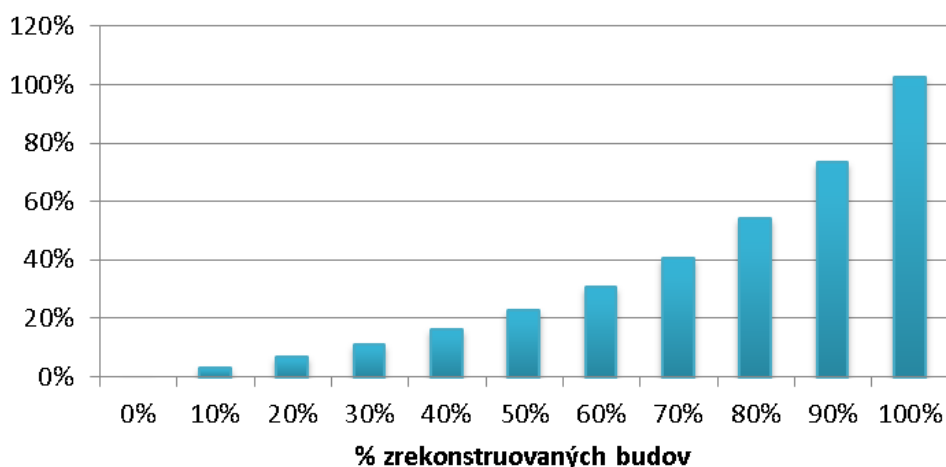
### Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 60: Sumární bilance pro celý systém - Pasivní varianta se solárním systémem, 100% penetrace opatření.

Z hlediska celkové systémové bilance se již velmi významně zhoršuje efektivita celého systému.

**Nárůst ceny tepla podle penetrace opatření:  
Pasivní varianta se solárním systémem pro ohřev vody**



**Obrázek 61: Vliv penetrace opatření na cenu tepla - Pasivní rekonstrukce se solárním systémem.**

Při sledování postupné penetrace této kombinace opatření je zřetelný nelineární průběh nárůstu ceny tepla.

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
Rekonstrukce 50 %	1 405 618	412 777	503 745	992 841	71%	901 873	64%	-90 968
Rekonstrukce 100 %	1 405 618	412 777	813 516	992 841	71%	592 103	42%	-400 739

**Tabulka 19: Změny nákladů na energii v domě rekonstruovaném do pasivního standardu se solárním systémem podle množství rekonstruovaných objektů.**

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
Původní platby	1 405 618		
Rekonstrukce 50 %	1 715 389	309 771	22%
Rekonstrukce 100 %	2 770 242	1 364 624	97%

**Tabulka 20: Změna nákladů pro referenční budovu.**

Z výsledků je patrné, že skutečná úspora nákladů na nákup tepla může být při 50 % penetraci opatření o něco horší (o cca 9 %), než bylo očekáváno, a že pro poslední nezrekonstruovaný objekt tato situace může přinést o 22 % vyšší náklady a při 100% penetraci téměř dvojnásobné náklady na nákup tepla.

## 5.9 Instalace tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je navrženo podle účelu ve variantách:

Určení	Elektrický příkon (kW)
Ohřev vody	9,5
Vytápění – nízkoenergetický stavební standard	13
Vytápění – pasivní energetický standard	7

*Tabulka 21: Dimenzování výkonu tepelného čerpadla podle jeho účelu.*

Topný faktor TČ se v modelu počítá v hodinovém kroku. U všech řešení se uvažuje, že při teplotě pod  $-5\text{ °C}$  tepelné čerpadlo již nepracuje, protože by jeho provoz byl neekonomický. Při teplotách vyšších než  $-5\text{ °C}$  je topný faktor TČ pro ohřev vody vypočítáván podle vztahu uvedeného v kapitole Tepelné čerpadlo vzduch – voda.

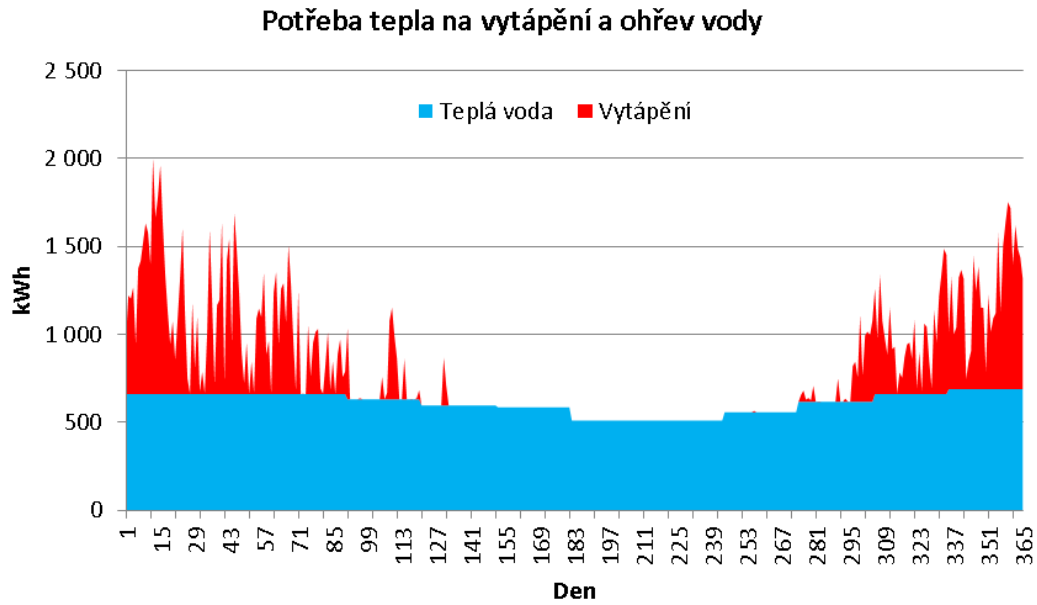
U tepelného čerpadla pro ohřev vody se jako venkovní teplota uvažuje aktuální teplota pro danou hodinu a jako teplota výstupního média (teplota kondenzační) je uvažována konstantní teplota  $50\text{ °C}$ .

V případě instalace TČ pro vytápění je pro původní stav budovy uvažována návrhová teplota přívodu  $90\text{ °C}$  s ekvitermní regulací, pro nízkoenergetickou variantu  $50\text{ °C}$  s ekvitermní regulací a pro pasivní standard není předpokládána ekvitermní regulace, ale stálá teplota  $35\text{ °C}$ .

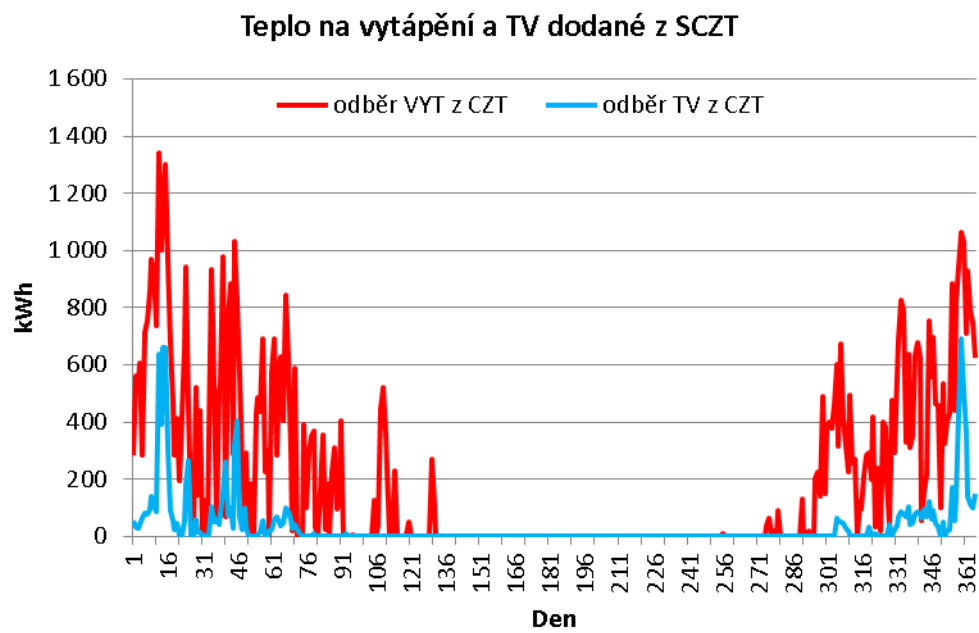
## 5.10 Instalace tepelného čerpadla pro ohřev vody spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu

Již samotná rekonstrukce do pasivního standardu je spojena s výrazným poklesem potřeby tepla. Tato potřeba je po většinu roku kryta tepelným čerpadlem, jehož účinnost v teplejších obdobích roku stoupá, v chladnějších obdobích klesá a při teplotě  $-5\text{ °C}$  má tepelné čerpadlo tak nízkou účinnost, že se nevyplatí je provozovat, protože cena vyrobeného tepla by byla vyšší než cena tepla z CZT. V této době nastupuje CZT jako bivalentní zdroj tepla, jak je vidět na následujících grafech.

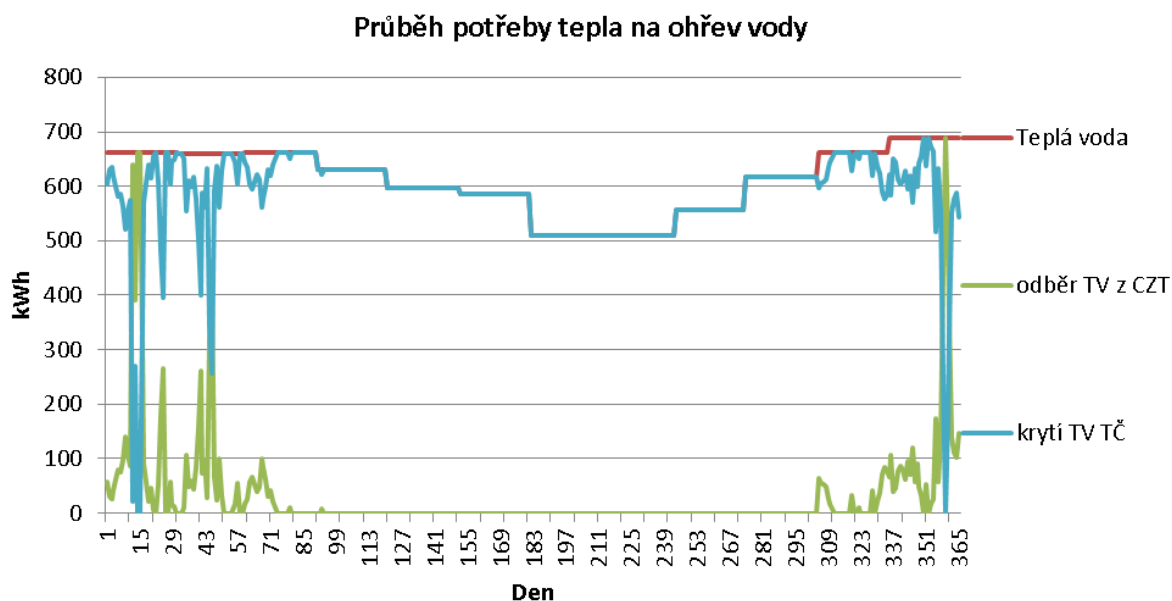




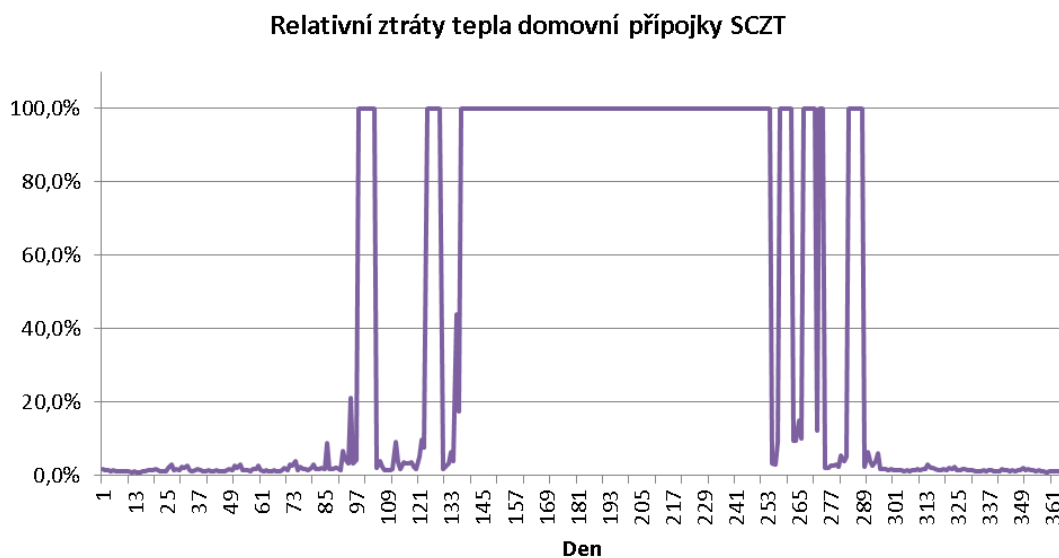
**Obrázek 62: Potřeba tepla na vytápění a ohřev vody.**



**Obrázek 63: Teplota na vytápění a ohřev vody dodané z SCZT.**



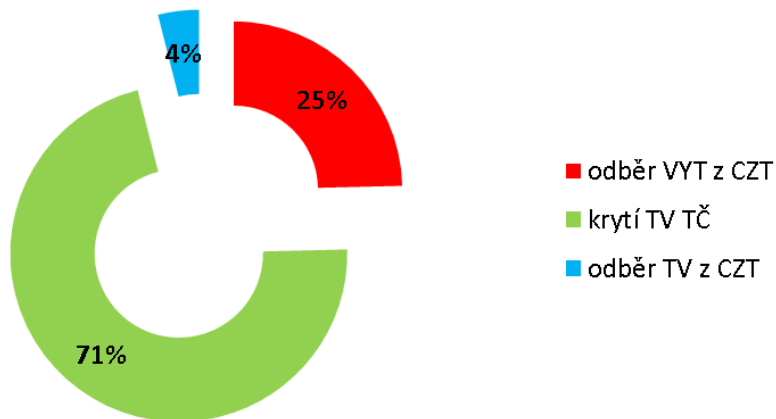
**Obrázek 64: Průběh krytí potřeby tepla na ohřev vody kombinací zdrojů.**



**Obrázek 65: Relativní ztráty na domovní přípojce.**

Kromě toho, že toto uspořádání staví SCZT do postavení špičkového zdroje tepla, což je zcela v rozporu s principy a posláním SCZT, je zde vidět zřetelně výrazné období roku, kdy budova žádné teplo z SCZT neodebírá a veškeré teplo dodané do systému je mařeno na krytí ztrát.

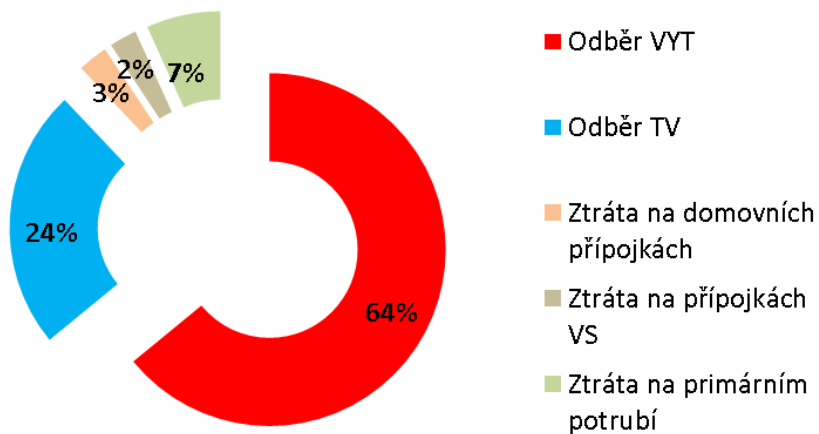
## Bilance budova A1



Obrázek 66: Bilance budovy po rekonstrukci do pasivního standardu a instalaci TČ pro ohřev vody.

I v sumární roční bilanci je vidět menšinový odběr tepla z CZT.

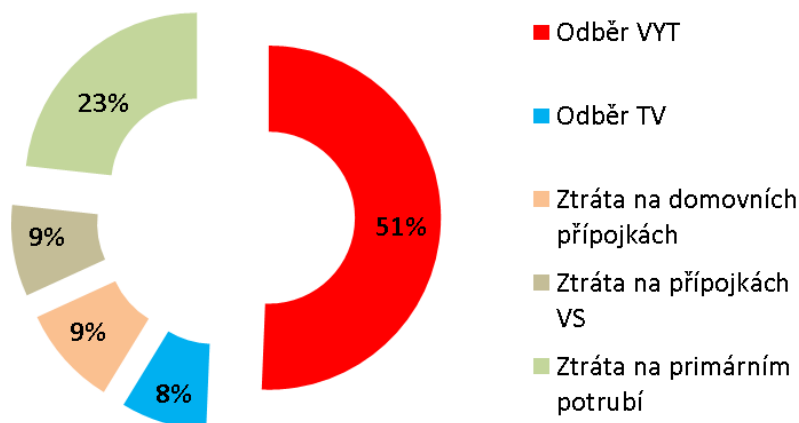
## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 67: Bilance systému CZT - 50 % pasivních rekonstrukcí s TČ pro ohřev vody.

50% penetrace opatření má již velmi patrný vliv na systémové ztráty.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



**Obrázek 68: Bilance systému CZT - 100 % pasivních rekonstrukcí s TČ pro ohřev vody.**

Při 100% penetraci opatření by ztráty narostly několikanásobně oproti původnímu stavu.

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 405 618	152 215	201 647	1 253 403	89%	1 203 971	86%	-49 432
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	1 405 618	152 215	658 124	1 253 403	89%	747 494	53%	-505 909

**Tabulka 22: Změny nákladů na teplo dodávané z SCZT v domě rekonstruovaném do pasivního standardu a instalaci tepelného čerpadla pro ohřev vody podle množství rekonstruovaných objektů.**

Z tabulky je patrné, že již při 50% penetraci opatření dochází k poklesu očekávané úspory provozních nákladů o 17 %, což by mohlo ovlivnit ekonomiku úsporného projektu. Ve výpočtu nejsou zahrnuty náklady na elektřinu pro pohon tepelného čerpadla, ale ty budou konstantní bez ohledu na penetraci opatření.

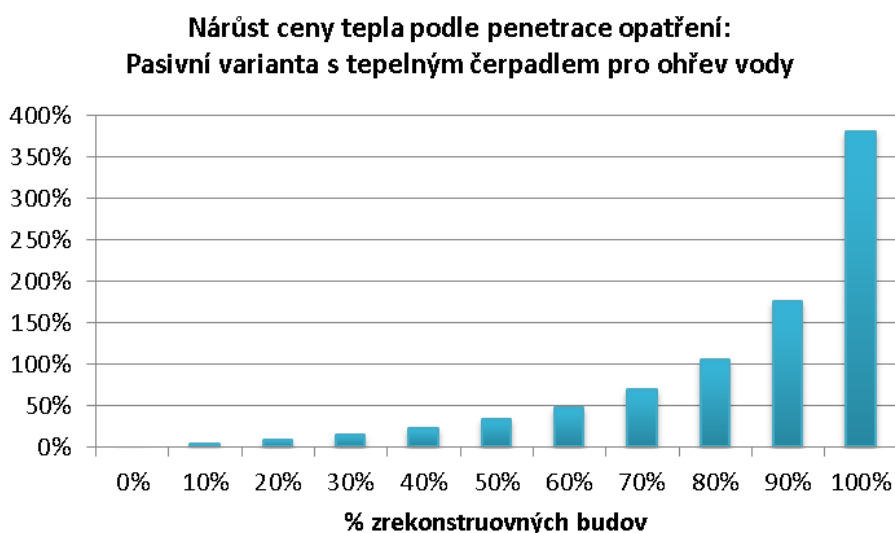
Podstatně významnější je dopad na nezrekonstruované budovy.

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
<b>Původní platby</b>	1 405 618		
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 862 095	456 476	32%
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	6 077 385	4 671 767	332%

*Tabulka 23: Změna nákladů pro referenční budovu.*

V případě, že by byly takto upraveny všechny budovy v souboru, bude mít poslední budova v původním stavu náklady na dodávku tepla více než trojnásobné.

Tato kombinace opatření způsobuje při vyšší penetrace významnější zvýšení cen tepla než jiné dosud probírané možnosti:

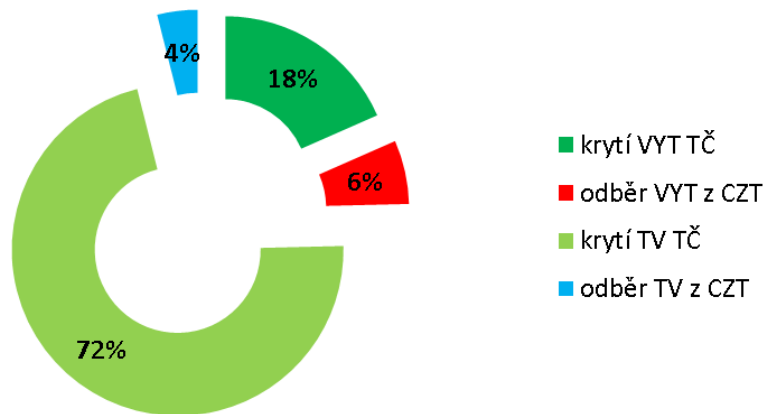


*Obrázek 69: Nárůst ceny tepla v závislosti na podílu zrekonstruovaných budov.*

### 5.11 Instalace tepelného čerpadla na vytápění a ohřev vody spolu s rekonstrukcí do pasivního standardu

Situace podobné předcházející, ale ještě výraznější, by nastala v případě rekonstrukce do pasivního standardu s instalací tepelného čerpadla pro ohřev vody a pro vytápění. Tepelné čerpadlo zde opět nepokrývá špičky odběru v nejchladnějším období roku a systém CZT je tak postaven do role špičkového bivalentního zdroje tepla, ale s ještě nižším využitím. Zatímco v případě prvním bylo veškeré teplo pro vytápění dodáváno z SCZT, nyní je to pouze malá část.

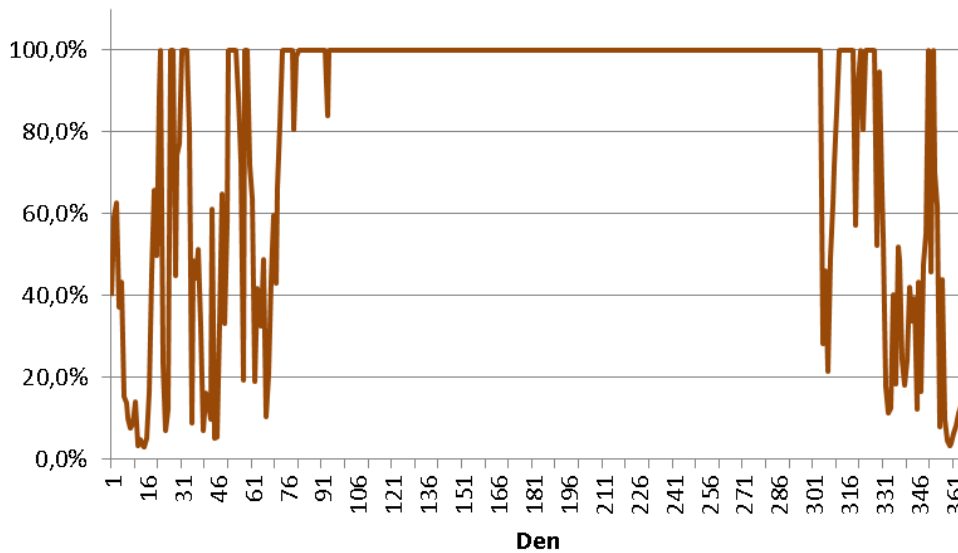
## Bilance budova A1



Obrázek 70: Bilance budovy v případě pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění a ohřev vody.

Limitovaný odběr tepla z SCZT je také pochopitelně spojen s nárůstem ztrát v rozvodech tepla. Na následujícím grafu je znázorněn průběh relativních ztrát tepla na domovní přípojce během roku:

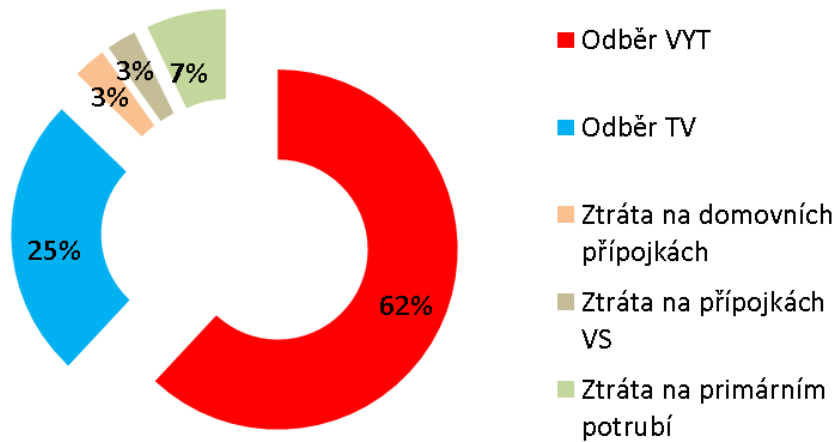
### Relativní ztráty tepla domovní přípojky SCZT



Obrázek 71: Průběh relativních ztrát tepla na domovní přípojce během roku - pasivní rekonstrukce s TČ na vytápění a ohřev vody.

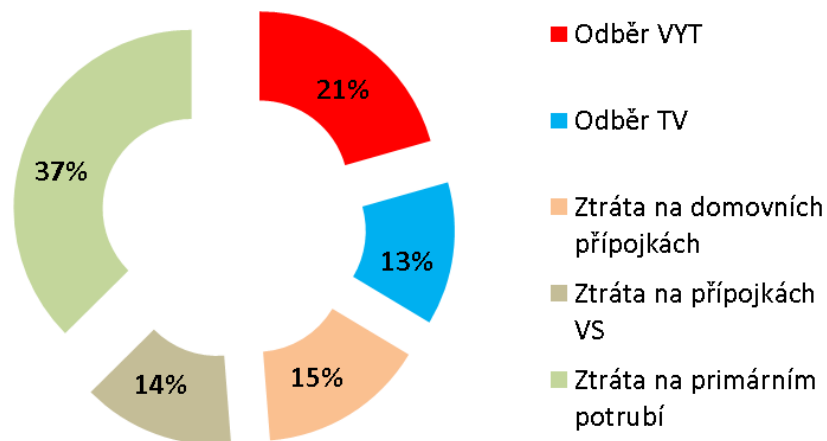
Tyto ztráty se promítají i do celkové bilance systému CZT:

## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 72: Bilance systému CZT - pasivní standard + TČ pro ohřev vody a vytápění, 50 %.

## Bilance vyrobeného tepla celkem



Obrázek 73: Bilance systému CZT - pasivní standard + TČ pro ohřev vody a vytápění, 100 %.

Tato hypotetická situace by vyvolala takové systémové ztráty, že by další provozování CZT nebylo udržitelné.

Původní stav	Původní platby (Kč)	Platby po rekonstrukci v původních cenách (Kč)	Platby po rekonstrukci v nových cenách (Kč)	Očekávaná úspora (Kč)	Očekávaná úspora %	Skutečná úspora (Kč)	Skutečná úspora %	Rozdíl v úspoře nákladů oproti očekávání (Kč)
Rekonstrukce 50 %	1 405 618	54 092	74 307	1 351 526	96%	1 331 311	95%	-20 215
Rekonstrukce 100 %	1 405 618	54 092	599 606	1 351 526	96%	806 012	57%	-545 514

**Tabulka 24: Změny nákladů na teplo dodávané z SCZT v domě rekonstruovaném do pasivního standardu a instalaci tepelného čerpadla pro ohřev vody podle množství rekonstruovaných objektů.**

Z tabulky je patrné, že významná změna očekávaných úspor opět nastává teprve při velké penetraci opatření. Je to způsobeno mimořádně vysokou úsporou tepla z SCZT. Ve výpočtu nejsou zahrnuty náklady na elektřinu pro pohon tepelného čerpadla, ale ty budou konstantní bez ohledu na penetraci opatření. Při 50% penetraci opatření je odchylka očekávané úspory pouze 1 %.

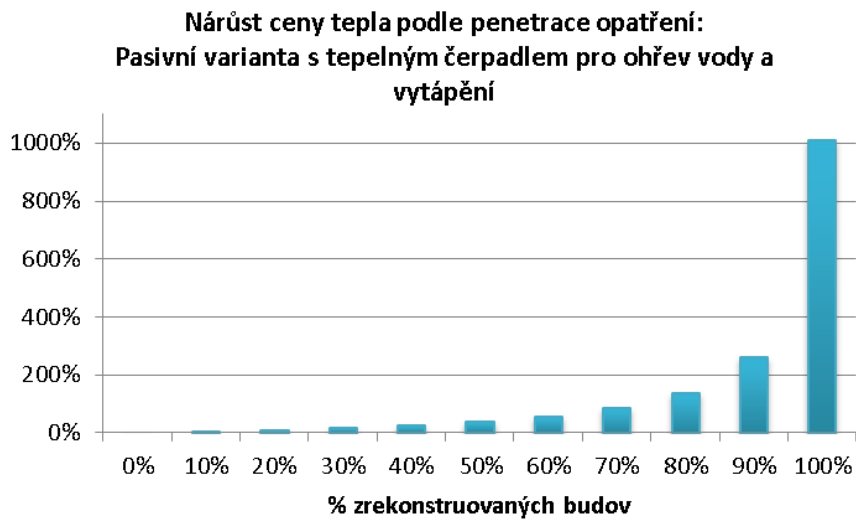
Dopad na nezrekonstruované budovy by byl při vyšších penetracích opatření pro nezrekonstruované budovy zcela likvidační.

Referenční budova	Platby (Kč)	Nárůst (Kč)	Nárůst (%)
<b>Původní platby</b>	1 405 618		
<b>Rekonstrukce 50 %</b>	1 930 917	525 299	37%
<b>Rekonstrukce 100 %</b>	15 581 185	14 175 567	1008%

**Tabulka 25: Změna nákladů pro referenční budovu.**



V případě, že by byly takto upraveny všechny budovy v souboru, měla by poslední budova v původním stavu náklady na dodávku tepla více než desetinásobné.



**Obrázek 74: Nárůst ceny tepla podle penetrace opatření - pasivní rekonstrukce s TČ pro ohřev vody i vytápění.**

Rozšíření této varianty rekonstrukce není pravděpodobné; pokud by se ale vyskytlo v malém okrsku, mohlo by mít zcela devastační dopady na celý systém CZT.

## 5.12 Diskuse výsledků aplikace modelu na konkrétním případě

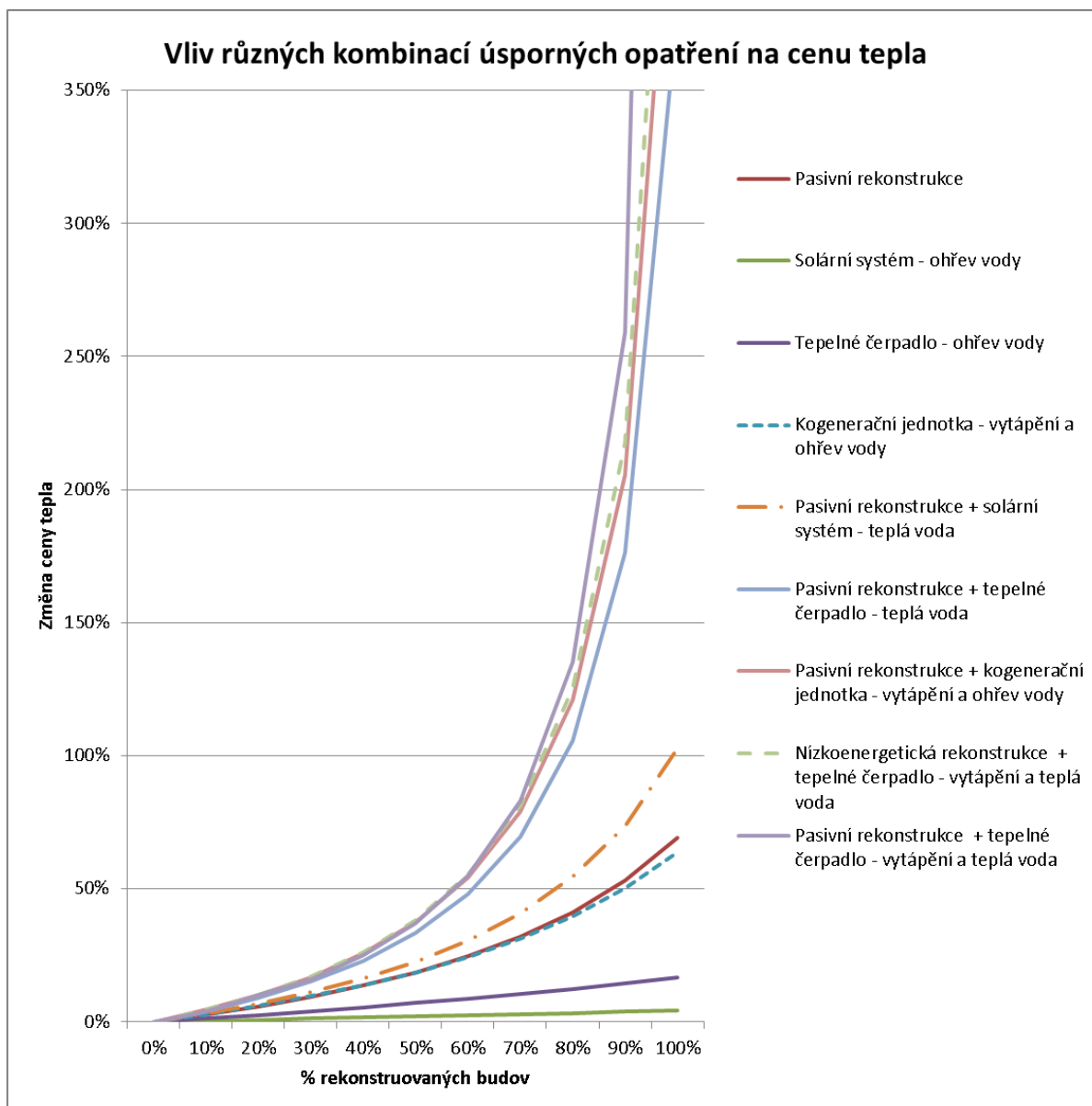
Z předchozích kapitol je zřejmé, že jednotlivá opatření mají různý dopad na energetickou bilanci systému a tím i na cenu tepla.

Vliv některých opatření je zcela zanedbatelný, například samotná instalace solárních systémů nebo tepelných čerpadel pro ohřev vody neznámá výraznou změnu.

U opatření snižujících potřebu tepla na vytápění je vliv větší. Rekonstrukce budov do pasivního standardu, což je do budoucna relativně pravděpodobný scénář, v tomto nastavení modelu zvyšuje cenu tepla oproti výchozímu stavu o cca 80 %.

Výrazný vliv lze sledovat u kombinací opatření ve stavební části s instalací lokálního zdroje tepla. Tato opatření stavějí SCZT do pozice špičkového bivalentního zdroje a tím vyvolávají značnou změnu ceny tepla již při nižší penetraci opatření v souboru budov. Nárůst efektu je nerovnoměrný; do penetrace cca 50 % je vliv poměrně nízký, do 75 % je významný, ale nikoli likvidační, a nad tuto hranici je tak silný, že může ohrožovat ekonomiku celé soustavy CZT i připojených odběratelů.

Zobrazené výsledky platí pro dané nastavení parametrů tepelné sítě a budov, takže je není možno chápat v absolutních hodnotách. Provedené analýzy ale ukazují, že výsledky mají obecnou platnost z hlediska principů a pro odlišná nastavení (v běžném rozsahu) se zásadně neliší. Vliv nemá ani použití jiných parametrů modelové budovy z hlediska její velikosti a tvaru – rozdíl je možno nalézt pouze v případě, kdy porovnávané dopady rekonstrukce z nízkoenergetického do pasivního standardu apod., kdy se samozřejmě důsledky projeví pouze částečně. V reálných situacích je možno najít právě podobný mix různě rekonstruovaných budov, nicméně pro účely modelového porovnání byla jako výchozí zvolena situace s budovami v původním stavu. Pokud by byl model aplikován na skutečný případ, je samozřejmě možné budovy rozdělit podle jejich vlastností do skupin a přiřadit jim patřičné vlastnosti.



**Obrázek 75: Porovnání vlivu různých kombinací opatření**

Z hlediska nárůstu nákladů nebo rozdílu mezi očekávanou a skutečnou úsporou nákladů se nejvíce projevují opatření snižující potřebu tepla na vytápění. Opatření kombinující rekonstrukci budovy do pasivního standardu a instalaci alternativního zdroje tepla mají naopak největší dopad na budovy, které opatření neimplementovaly.

V následujících tabulkách jsou shrnuty dopady různých kombinací opatření na náklady na nákup tepla a na rozdíly mezi očekávanými a skutečně dosaženými úsporami nákladů. Je zde také zachycen dopad na referenční budovu.

Penetrace opatření	50%		Referenční budova
Opatření	Budova s opatřením		Nárůst nákladů
	Očekávaná úspora	Reálná úspora	
Instalace solárního systému	9%	7%	2%
Instalace TČ pro ohřev vody	27%	22%	6%
Nízkoenergetická rekonstrukce	49%	42%	13%
Pasivní rekonstrukce	62%	55%	18%
Pasivní rekonstrukce se solárním systémem	71%	64%	22%
Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro ohřev vody	89%	86%	32%
Pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění i TV	96%	95%	37%

**Tabulka 26: Vliv opatření na rozdíl mezi očekávanou a reálnou úsporou nákladů a na nárůst nákladů pro referenční budovu při penetraci opatření 50 %.**

Penetrace opatření	100%		Referenční budova
Opatření	Budova s opatřením		Nárůst nákladů
	Očekávaná úspora	Reálná úspora	
Instalace solárního systému	9%	5%	2%
Instalace TČ pro ohřev vody	27%	16%	15%
Nízkoenergetická rekonstrukce	49%	29%	38%
Pasivní rekonstrukce	62%	33%	66%
Pasivní rekonstrukce se solárním systémem	71%	42%	97%
Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro ohřev vody	89%	53%	332%
Pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění i TV	96%	57%	1008%

**Tabulka 27: Vliv opatření na rozdíl mezi očekávanou a reálnou úsporou nákladů a na nárůst nákladů pro referenční budovu při penetraci opatření 100 %.**

Opatření	Změna výše úspor oproti předpokladu investora		Vliv na okolí – zvýšení ceny tepla	
	Penetrace 50 %	Penetrace 100 %	Penetrace 50 %	Penetrace 100 %
Instalace solárního systému	-19%	-40%	2%	4%
Instalace TČ pro ohřev vody	-17%	-40%	6%	15%
Nízkoenergetická rekonstrukce	-14%	-40%	13%	38%
Pasivní rekonstrukce	-11%	-40%	18%	66%
Pasivní rekonstrukce se solárním systémem	-9%	-40%	22%	97%
Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro ohřev vody	-4%	-40%	32%	332%
Pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění i TV	-1%	-40%	37%	1008%

**Tabulka 28: Vliv penetrace opatření na změnu očekávaných úspor a na změnu ceny tepla.**

## 6 Diskuse výsledků

### 6.1 Hlavní zjištění analýzy aplikace modelu

Model umožňuje pracovat s mnoha kombinacemi různých opatření směřujících k úsporám tepla v panelovém domě. V rámci modelování byl podrobněji analyzován vliv sedmi opatření. Některá z těchto opatření se běžně vyskytují, další jsou technicky možná a byla realizována v rámci pilotních projektů, případně o nich investoři uvažují. Z těchto opatření jsou dvě zaměřena pouze na stavební část budovy, další dvě pouze na technická zařízení budovy a tři opatření jsou kombinovaná.

Opatření	Zaměření	Pravděpodobnost výskytu
Instalace solárního systému	TZB	Obvyklé
Instalace TČ pro ohřev vody	TZB	Pilotní
Nízkoenergetická rekonstrukce	Stavební	Obvyklé
Pasivní rekonstrukce	Stavební	Pilotní, do budoucna pravděpodobné
Pasivní rekonstrukce se solárním systémem	Kombinované	Pilotní, do budoucna pravděpodobné
Pasivní rekonstrukce s tepelným čerpadlem pro ohřev vody	Kombinované	Hypotetické
Pasivní rekonstrukce s TČ pro vytápění i TV	Kombinované	Hypotetické

**Tabulka 29: Přehled opatření.**

Opatření jsou v tabulce nahoře seřazena podle jejich efektu na snížení nákladů na nákup tepla od nejméně účinného po nejúčinnější.

Analýza výsledků ukazuje, že u kombinací, které zcela razantně snižují provozní náklady, je u rekonstruovaných objektů při 50% penetracích opatření odchylka mezi očekávanou a reálnou úsporou relativně nízká. Tento typ ale zcela zásadně negativně ovlivňuje ostatní objekty, které rekonstrukci neprovedly.

Naopak opatření, která jen mírně snižují náklady na teplo, jako je například instalace solárního systému nebo tepelného čerpadla, mají nižší dopad na celkové zvýšení ceny tepla, ale mohou značně narušit ekonomiku úsporného projektu již při nižším rozšíření opatření ve fondu budov.

**Toto pozorování lze zobecnit ve vztahu k očekávaným a skutečným úsporám nákladů:**

- Čím menší je účinek úsporného opatření na úsporu tepla v energetických jednotkách, tím více při rostoucí penetraci opatření v množině budov připojených do stejného SCZT klesá úspora nákladů na nákup tepla v peněžních jednotkách a snižuje se oproti předpokladům investora a vice versa.**

2. Čím větší je účinek úsporného opatření na úsporu tepla v energetických jednotkách, tím více působí při rostoucí penetraci opatření v množině budov připojených do stejného SCZT na celkový nárůst ceny tepla a tím zejména na náklady na nákup tepla u ostatních budov.
3. Průběh rozdílu mezi očekávanou a skutečnou úsporou nákladů na nákup tepla po realizaci úsporných opatření v závislosti na penetraci opatření v množině budov připojených do stejného SCZT není lineární a průběh závislosti, resp. jeho dynamika závisí na typu opatření.
4. Při 100% penetraci opatření v množině budov se finanční účinek (předpokládaná úspora) snižuje právě o stejný podíl, jaký byl původně nastavený podíl stálé složky ceny tepla na celkové ceně složky tepla. V daném nastavení tvořila stálá složka ceny 40 % z celkové ceny. Z logiky finanční části modelu vyplývá, že pokud mají být aditivní ztráty SCZT po realizaci opatření promítnuty do stálé složky ceny tepla, musí se při 100% penetraci opatření právě tyto náklady na pokrytí ztrát promítnout snížením úspor na straně investora nakupujícího teplo. Tento závěr je zcela logický a platí pro jakékoli opatření s jakýmkoli účinkem. V praxi se asi podobná situace nemůže vyskytnout, ale lze učinit následující závěr:
5. Rozdíl mezi očekávanou v skutečnou výší úspory dosažené realizací úsporného opatření při rostoucí penetraci opatření v množině budov připojených do stejného SCZT se zvyšuje v systémech s vyšším podílem stálých nákladů oproti celkovým nákladům na výrobu a dodávku tepla.

Ve vztahu k ceně tepla v systému lze učinit následující závěry:

6. Čím účinnější je opatření z pohledu úspory tepla v budově, tím větší jsou jeho dopady na růst ceny tepla v systému. Tento efekt vzrůstá při rostoucí penetraci opatření v množině budov připojených do stejného SCZT a dynamika růstu efektu je úměrná účinnosti opatření.

## 6.2 Omezující podmínky

Model použitý pro tuto práci obsahuje některá zjednodušení, která jsou ale z hlediska jeho účelu akceptovatelná a nemají dopad na principiální platnost výsledků.

Model zahrnuje systém CZT od prahu zdroje tepla. Nezabývá se zdrojem tepla z hlediska technologie ani ekonomiky provozu. Neřeší ani, zda je na prahu soustavy připojen jeden nebo více zdrojů.

Náklady spojené s dodávkou tepla do soustavy SCZT a jejím provozem jsou pouze rozděleny na náklady související s množstvím prodaného tepla a na náklady stálé. Další podrobnosti model nezahrnuje.

Model zjednodušeně předpokládá, že hodnoty sjednaného a odebraného množství jsou shodné. V praxi tomu tak není a být ani nemůže, ale jakýkoli korekční součinitel je stejně zpochybnitelný jako výše uvedený předpoklad a navíc je vzniklá odchylka zanedbatelná.

Zásadním zjednodušením je popis výchozího stavu, kdy se předpokládá, že jsou všechny objekty v souboru budov v původním stavu odpovídajícím době jejich výstavby. V praxi takovou situaci nelze často najít, protože více než polovina panelových domů v ČR prošla již nějakou formou rekonstrukce. Přesto je možné, že takové lokality existují. Model lze aplikovat i na vzorek budov s některými již zrekonstruovanými. Tuto situaci lze popsat tím, že je ve výchozím stavu u části budov nastaven nízkoenergetický stavební standard, který víceméně odpovídá zateplené budově. Tyto výsledky model umožňuje získat, ale další stupně volnosti znamenají velmi vysoký nárůst možných kombinací, což by komplikovalo prezentaci výsledků v rámci této práce.

Model potrubní sítě umožňuje nastavení parametrů potrubí, jako je délka, dimenze, tloušťka a tepelná vodivost izolace, hloubka uložení a teploty média včetně její regulace v závislosti na venkovní teplotě. Model však uvažuje pouze jediný typ uložení rozvodu, a to předizolované potrubí v zemině. Samozřejmě je možné upravit výpočet i pro další typy rozvodů, ale to by do modelu vneslo velký počet dalších parametrů, aniž by byly získány zásadně odlišné výsledky z hlediska v současnosti zamýšleného účelu. Zanedbáno je ochlazení média na trase vlivem ztráty úseku rozvodu a také vzájemné ovlivnění přívodního a zpětného potrubí, které má vliv na tepelnou ztrátu. Tyto vlivy jsou ale relativně malé a jsou srovnatelné například s odchylkami v nastavení tepelné vodivosti zeminy apod.

Výrazné zjednodušení, které omezuje použitelnost modelu pro modelování reálných situací, je omezený počet úseků rozvodů tepla. Pokud by měl být model použitelný pro posuzování reálných případů, bylo by jej nutno rozšířit a změnit jeho strukturu.

Dalším zjednodušením, které sice nemá vliv na principiální správnost výsledků, ale ovlivňuje míru citlivosti výstupů na navrhovaná řešení, je použitý model budovy. Tato budova je sice poměrně rozšířeným zástupcem panelového domu, ale jistě by bylo lepší mít k dispozici více typů budov, což by rozšířilo možnost zkoumat, do jaké míry jsou vlivy opatření odlišné pro různé případy. Opět ale jde jen o míru, jakou se projeví účinek opatření, nelze předpokládat zásadní změnu výsledků z hlediska jejich principu.

Z hlediska ekonomického posouzení model předpokládá, že se systémové ztráty promítnou do ceny tepla zcela automaticky. Nezahrnuje další možné reakce dodavatele tepla, který může učinit opatření buď technického, organizačního nebo obchodního charakteru. Pokud by se opravdu některá opatření kritického typu, jako jsou pasivní rekonstrukce s instalací vlastních zdrojů tepla, rozšiřovala v souboru budov, bude to jistě postupné a dodavatel tepla bude moci reagovat. S těmito možnostmi model nijak nepočítá.

Z hlediska prezentace výsledků modelu v rámci této práce je velkým zjednodušením předpoklad homogenity navržených opatření v rámci testovaného vzorku budov. V realitě je krajně nepravděpodobné, že by vysoké procento budov bylo rekonstruováno jedním způsobem (kromě případů většího množství budov vlastněných stejným majitelem). Model samozřejmě umožňuje navrhnout mix opatření pro různé skupiny budov, ale takto získané výsledky jsou obtížně interpretovatelné.

### **6.3 Možné dopady zjištěných výsledků**

Výsledky ukazují, které kombinace opatření mohou skutečně kriticky ovlivňovat systémy CZT z hlediska dodavatele tepla a budov, které neimplementovaly opatření. Tyto kombinace zahrnující většinou velmi razantní snížení potřeby tepla na vytápění a instalaci vlastních zdrojů tepla pokrývajících část potřeby tepla budou dále nazývány kritickými kombinacemi nebo kritickými opatřeními. Kritická míra ovlivnění však vždy nastává až při velmi vysokém rozšíření opatření v rámci skupiny budov zásobované stejným SCZT. Pravděpodobnost výskytu takto pojaté rekonstrukce v nadpoloviční většině objektů je velmi nepravděpodobná. I mnohem menší výskyt kritických opatření však může vést ke zvyšování ceny tepla v řádu desítek procent.

Kritická opatření mají dvě společné vlastnosti: jsou investičně náročná a jsou inovativní. Tyto vlastnosti brání jejich přijímání, zvláště když jde o kolektivní vlastníky v podobě SVJ nebo bytových družstev, kde je velmi složité získat většinu hlasů pro rozhodnutí o jiných než zcela banálních otázkách. Proto je pravděpodobnost implementace těchto opatření vyšší v případě, kdy je rozhodovatelem jedna osoba nebo úzká skupina. Přesto ale existují případy, kdy se podobné rekonstrukce uskutečnily.

Výše uvedené bariéry se ale snižují s každou další provedenou implementací opatření. Inovativnost se mění v opakované řešení, čímž se snižuje obava z neúspěchu. Investiční náklady jsou posuzovány nejen v absolutní částce, ale i v poměru k jejich přínosům. Zde je ve výstupech modelu zřetelná jasná zpětná vazba – s rostoucí penetrací opatření se zvyšuje cena tepla, a proto je opatření následně porovnáváno s vyšší potenciálně uspořené částkou ročních nákladů na teplo. Současně se stav bez opatření stává v čase stále méně únosným, protože objekt před rekonstrukcí má nejen vysoké spotřeby tepla, ale cena tepla stále narůstá, a to exponenciálně. Z těchto důvodů je pravděpodobné, že od určitého procenta rekonstrukcí budou další nastupovat rychleji. Tento stav byl zřetelný v posledních dvou dekadách, kdy se prováděly rekonstrukce obvodových konstrukcí – na začátku byly používány malé tloušťky izolací (4 – 6 cm), později větší (8 – 10 cm) a nyní se běžně používají tloušťky 14 a více cm. Kromě vývoje tepelně – technických požadavků k tomuto trendu přispěly i výše uvedené mechanismy.

Jestliže se „následovníkům“ v implementaci opatření jeví ekonomika nadcházejícího projektu lépe, protože jejich stávající náklady jsou vysoké a vysoká je i předpokládaná úspora, pak pro vlastníky již realizovaných projektů, kteří financovali rekonstrukci pomocí úvěru, může být tentýž důvod příčinou



komplikací. Jejich původní ekonomická rozvaha počítala s tím, že se sníží náklady na energie a z úspor se pak bude splácet půjčka. Pokud se ale opatření rozšíří i na další objekty, cena tepla se pravděpodobně zvýší a i při snížené spotřebě budou celkové platby za teplo nečekaně vysoké. Tím pak může být ohrožena schopnost investora splácet úvěr.

Rozšíření kritických opatření má samozřejmě vliv i na dodavatele tepla. Soustava CZT by byla po realizaci opatření na straně odběru provozována ve zcela jiném než návrhovém režimu. Zdroje tepla by se staly naddimenzovanými a jejich průměrná roční účinnost by klesla. Ve snaze udržet finanční stabilitu by dodavatel tepla byl nucen snažit se promítat všechny změny do ceny tepla pro koncové zákazníky. V této situaci by zřejmě bylo nutné přehodnotit zcela obchodní model. Nejjednodušším řešením je změna ceníků s odlišenou cenou pro odběratele s pouze špičkovými charakterystikami odběrů tepla. Toto opatření lze odůvodnit zvýšenými náklady v době výkonové špičky. Další možnostmi jsou technické změny systému CZT. Konečně posledním řešením je naprostá změna obchodního modelu spočívajícího v prodeji tepla a přesun těžiska k energetickým službám. Dodavatel tepla by pak mohl participovat na úsporných opatřeních a řídit jejich rozvoj. Rozbor této otázky však zcela přesahuje vymezené téma této práce.

Opatření, která mají menší systémový vliv, ale mají zase významnější dopad na investiční záměr. Při jejich plošném rozšíření se rozevírají pomyslné nůžky mezi očekávanou a reálnou úsporou a vzniklý rozdíl může zkomplikovat například splácení úvěru.



## 7 Rekapitulace výsledků a výzkumné otázky

Tato práce měla za úkol navrhnout novou metodu pro vyhodnocení systémového vlivu opatření směřujícím k úsporám tepla v budovách připojených do izolované soustavy CZT na cenu tepla dodávaného z CZT, na platby za dodávku tepla u budov s opatřeními i bez nich, a také odpovědět na otázku, zda plošnější rozšíření opatření nezpůsobí takové změny podmínek, které významně mění ekonomické hodnocení úsporného projektu.

### 7.1 Jaký je vliv nejběžnějších opatření pro úsporu tepla v budovách na cenu tepla?

Model ukazuje, že některá opatření mají velmi malý vliv na ceny tepla, i když jsou implementována ve velkém procentu budov. Jde například o instalaci solárních systémů nebo tepelných čerpadel pro ohřev vody, obecně tedy lokálních alternativních zdrojů tepla pro pokrytí menší části roční potřeby tepla. Tato část je popsána v kapitolách 5.7 a 5.9.

Další skupina opatření má vliv v úrovni zvýšení cen tepla o desítky procent, jsou-li implementována plošně. Zde jde o opatření snižující proporcčně během celého topného období potřebu tepla na vytápění, tj. rekonstrukci budovy do nízkoenergetického či pasivního standardu. Tato část je popsána v kapitolách 5.5 a 5.6.

Třetí skupina nazvaná „kritická opatření“, má při plošném rozšíření velmi významný vliv a teoreticky by mohla vést k nárůstu cen tepla o stovky procent, ke zvýšení nákladů na nákup tepla a tím k ekonomické destabilizaci celého systému CZT. Jsou to opatření, která směřují do stavební části i k instalaci lokálních zdrojů tepla a SCZT tím stavějí do pozice špičkového zdroje s malým ročním využitím. Tato část je popsána v kapitolách 5.8, 5.10 a 5.11.

Průběhy dopadů opatření na cenu tepla v závislosti na procentu budov s implementovaným opatřením však nemají lineární, ale exponenciální charakter, takže se i kritická opatření projevují velmi významným způsobem až při vysoké penetraci opatření v hodnoceném souboru budov. Některá z kritických opatření se ale mohou projevovat pro odběratele tepla nepříjemným způsobem i při penetraci kolem 50 % a méně. Tento závěr vyplývá z kapitol týkajících se jednotlivých opatření a ze shrnujících tabulek Tabulka 26, Tabulka 27 a Tabulka 28.

U opatření nepatřících do skupiny kritických ze systémového hlediska bylo zjištěno, že mají sice nižší dopad na zbytek budov, které opatření neimplementovaly, ale jejich větší rozšíření má negativní dopady na ekonomiku již proběhlých projektů úspor. Rozdíl mezi očekávanou a skutečnou výší úspory je v některých případech značný a může ovlivnit schopnost investora splácet úvěr. Tento závěr vyplývá z kapitol týkajících se jednotlivých opatření a ze shrnujících tabulek Tabulka 26, Tabulka 27 a Tabulka 28.

Celkově lze najít zobrazení možných dopadů opatření na cenu tepla z CZT na shrnujícím obrázku Obrázek 75: Porovnání vlivu různých kombinací opatření.

## **7.2 Jak individuální rozhodování odběratelů tepla ovlivňuje chod celého systému CZT a odběratelů?**

Jak vyplývá z předchozí odpovědi, zejména opatření označovaná jako kritická mohou mít velmi významné dopady na systém CZT a ostatní odběratele tepla. Některá kritická opatření mají větší dopady než prosté odpojování objektů od SCZT. Jde o ty skupiny opatření, která snižují množství tepla a dobu odběru tepla z SCZT během roku, ale současně vyžadují zachování výkonového maxima dodávky tepla z SCZT. Tato opatření tak stavějí SCZT do pozice bivalentního špičkového zdroje. Kromě toho se odběr tepla uskutečňuje v době, kdy je SCZT obvykle zatížena nejvyššími měrnými palivovými náklady, protože kromě základních zdrojů tepla musí do soustavy přispívat i špičkové zdroje. Budovy s implementací kritických opatření tak neumožňují optimalizovat chod soustavy, jejich připojení během většiny roku vede pouze ke ztrátám v soustavě a teplo odebírají v době, kdy je z hlediska provozovatele SCZT nejdražší.

Pokud provozovatel soustavy může promítnout tyto negativní vlivy do ceny tepla, nutně to způsobí nárůst ceny tepla i celkových nákladů na dodávku tepla pro ostatní odběratele.

Ilustraci této odpovědi na výzkumnou otázku lze najít na grafech zobrazujících průběh tepelných ztrát na domovních přípojkách CZT, které reprezentují dopady změn v budově na chod celého systému v průběhu roku.

## **7.3 Může realizace úsporných opatření vést k takové změně podmínek, která by změnila původní rozhodnutí pro jejich realizaci?**

Při větším rozšíření úsporných opatření v souboru budov se může zvýšit cena tepla (za podmínky, že dodavatel tepla smí a chce promítnout zvýšené náklady do ceny pro odběratele). V těchto případech model u některých opatření ukazuje, že úspory nákladů na nákup tepla, kvůli kterým byla investice uskutečněna, nedosahují předpokládané výše. Tento stav se objevuje u opatření, která nejsou ze systémového hlediska kritická. Tato opatření, i při vyšším výskytu ve vzorku budov, nemají zdaleka takový vliv na systém a budovy bez implementace opatření, jako mají opatření kritická. Mají však značný vliv na změnu nákladů po realizaci úsporného projektu, což může ovlivnit schopnost investora splácet případný úvěr. Tento rozdíl je patrný zejména v procentuálním vyjádření a ve vztahu k výši investic a očekávaných úspor. Lze očekávat, že kdyby si byli vlastníci budov tohoto efektu vědomi, pravděpodobně by investiční rozhodnutí přehodnotili minimálně z hlediska financování projektu.

U kritických opatření existuje také rozdíl oproti očekávání, ale vzhledem k výši celkových úspor není významný, někdy není ani patrný. Uvedený závěr podporuje Tabulka 28: Vliv penetrace opatření na změnu očekávaných úspor a na změnu ceny tepla.

Zajímavým poznatkem je to, že maximální odchylka skutečné a předpokládané úspory v procentech předpokládané úspory při 100% penetraci opatření odpovídá poměru stálé složky ceny tepla vůči

celkové ceně tepla před realizací opatření. Tento jev je komentován v kapitole Hlavní zjištění analýzy aplikace modelu.

## 7.4 Dílčí cíle práce

Dílčí cíle práce byly formulovány takto:

1. Návrh modelu popisujícího energetickou bilanci soustavy SCZT a připojených spotřebičů tepla
  - a. Návrh modelové budovy a způsobu výpočtu potřeby tepla v denním kroku
  - b. Návrh výpočtu pro stanovení tepelných ztrát rozvodů tepla v denním kroku
  - c. Nastavení vazeb mezi potřebou tepla v budovách a parametry tepelné sítě (teploty média, rychlosti proudění apod.)

Výpočetní model vyhodnocuje v denním kroku potřeby tepla v budovách, tepelné ztráty tepelné sítě, výrobu tepla z alternativních zdrojů, které mohou být součástí úsporných opatření, a množství tepla dodávaného z SCZT. Model pracuje s deseti budovami, které pomyslně reprezentují libovolný počet budov vyjádřený v desetiprocentních částech. Všechny změny a jejich vyhodnocení se tedy prezentují v 10% rozlišení. Pro model byla použita reálná klimatická data, která na rozdíl od průměrných hodnot zachycují výkyvy počasí v jednotlivých dnech. Schéma modelu je popsáno v kapitole 4.2., jeho technické řešení popisuje kapitola 4.3.

2. Návrh katalogu technicky a ekonomicky možných úsporných opatření
  - a. Definice opatření
  - b. Nastavení výpočtu účinků opatření v závislosti na měnících se podmínkách (výroby tepla z alternativních zdrojů)
  - c. Vztahy mezi opatřeními (priority využívání tepla z různých zdrojů podle výhodnosti)

Pro posouzení efektu úsporných projektů byla navržena řada běžných i méně běžných opatření, která je možno v rámci modelu volně kombinovat. Každé opatření se promítá charakteristickým způsobem do energetické bilance systému a zohledněna je i jejich synergie. Popis opatření a jejich účinků je uveden v kapitolách 3.2.4.1, 4.3.6. a 5.

3. Finanční model popisující změnu ceny tepla a její struktury postavený na finanční metodice vyvinuté pro tuto specifickou úlohu a navázaný na energetický bilanční model
  - a. Způsob zahrnutí ztrát v systému do ceny tepla
  - b. Způsob výpočtu nové ceny tepla
  - c. Způsob výpočtu nových nákladů na teplo pro budovy s opatřeními a bez nich.

Na základě rozpočítání ztrát tepla v rozvodech do ceny tepla pro odběratele je po aplikaci úsporných opatření stanovena nová cena tepla. Pomocí této ceny jsou oceněny náklady na nákup tepla jak pro budovy s opatřeními, tak i pro budovy, které zůstaly v původním stavu. Metodika výpočtu je uvedena v kapitolách 4.1 a 4.2.2.

#### 4. Prezentace výsledků pro různé podíly budov s různými kombinacemi opatření.

Výsledky jsou prezentovány pro různé úrovně penetrace opatření jak z hlediska budovy s aplikovaným opatřením, tak i z hlediska budov, které opatření nerealizovaly a i z celkového systémového hlediska. Dílčí výsledky jsou uvedeny zvlášť pro každou popsanou kombinaci opatření v příslušné kapitole a jsou shrnuty a několika různými způsoby prezentovány v kapitolách 5.12 a 6.1.

Model splňuje všechny součásti zadání dílčích cílů pro řešení výzkumné otázky.

## 7.5 Možnosti praktického využití modelu

Sestavený model je možno s patřičnými úpravami použít pro zjednodušený popis lokální soustavy CZT. Adjustováním parametrů modelu na reálnou soustavu CZT je možno získat přiblížení k realitě, které umožní následné modelování různých scénářů vývoje při narůstajícím trendu investic do úsporných opatření v budovách. Pro tento případ bude nutno změnit parametry budov a počty osob v budovách, dále nastavit vhodným způsobem charakteristické vlastnosti úsporných opatření a přizpůsobit reálnému stavu popis tepelné sítě. Výstupy modelu vypovídající o nárůstu ceny tepla je pak zapotřebí interpretovat ve formě nárůstu nákladů na provoz SCZT a přiřadit je provozovateli soustavy a odběratelům tepla ve vhodném poměru odpovídajícím místním podmínkám a omezením. Takto nastavený model může přinést cenné příspěvky k diskusi o budoucích strategiích rozvoje SCZT.

Kromě praktického nasazení pro konkrétní izolovaný případ by bylo možno model použít pro naopak zcela obecné posuzování scénářů při hledání vedlejších dopadů státní podpory investic do úsporných opatření. Při masivním rozšíření kritických opatření může nastat situace, kdy někteří odběratelé i dodavatelé tepla budou zatíženi jeho zvyšující se cenou natolik, že to ohrozí jejich finanční stabilitu. Je třeba mít na paměti i situace, kdy je jedním z odběratelů například průmyslový podnik, kterému zvýšení cen způsobí potíže, ale který nemůže zareagovat stejně jako vlastníci obytných budov a připojit se k úsporným opatřením. V této situaci je pravděpodobné, že tento subjekt vybuduje lokální zdroj tepla, což bude mít ale zpětný dopad na SCZT a odběratele z řad vlastníků bytových domů.

Pokud provozovatel tyto vlivy do ceny tepla nepromítne, ponese tíži vzniklé situace sám. Státní správa by měla znát možné důsledky veřejné podpory, aby mohla přijmout opatření, která budou mít pozitivní dopady bez výrazných vedlejších účinků.





## 8 Závěr – náměty na navazující výzkum

Na tuto práci lze navázat několika odlišnými způsoby:

1. Zahrnout do modelu některá specifika malých SCZT, například zohlednit zapojování různých zdrojů tepla během topné sezóny, což by umožnilo lépe specifikovat palivové náklady podle zatížení CZT. Takto vylepšený model by byl prakticky použitelný pro modelování situací v malých SCZT a predikci jejich dalšího rozvoje.
2. Pro zobecnění modelu by bylo zajímavé stanovit matematickou funkci popisující vlastnosti opatření a jeho efekty v závislosti na penetraci opatření v obecné rovině, což by umožnilo zavést do modelu téměř jakékoli úsporné opatření neuvedené v katalogu možností.
3. Doplnit modul, který by umožňoval modelovat rozhodování vlastníků budov. Prozkoumat otázku, jak pravděpodobné je rozhodování vlastníků budov pro různé typy rekonstrukcí v situaci s různými náklady na teplo a jejich změnami a v závislosti na míře implementace některých řešení a spojených investičních nákladech. Tento směr by ukázal, jak pravděpodobné jsou scénáře při vysoké penetraci opatření v souboru budov. Zde se jedná spíše o sociologický výzkum mapující citlivost jednotlivých skupin obyvatelstva na cenu tepla z CZT a ochotu s různou mírou objektivit porovnávat jiná řešení.
4. Návrh strategií dodavatele tepla pro reakci na různé scénáře vývoje. Pro tyto účely by bylo zapotřebí do modelu zahrnout i modul ekonomických vztahů a rozhodovacích procesů na straně dodavatele tepla, včetně zohlednění technologie výroby tepla apod. Výstupy by mohly sloužit jak provozovatelům CZT, tak i při formulování státní energetické koncepce a dalších strategických dokumentů a procesů.
5. Analyzovat systém veřejné podpory úsporných opatření v budovách a navrhnout jeho zlepšení. Tato práce ukázala, že podpora z veřejných prostředků má různé dopady na různé odběratele tepla, přičemž část z nich nepřímo poškozuje. Dotační programy jsou nastaveny tak, že podporují subjekty, které realizují úsporná opatření. Tento způsob podpory v uzavřených systémech ale současně penalizuje ty subjekty, které žádná opatření nerealizují, protože na ně dopadá vliv zvyšování cen tepla. Stejně tak plošná podpora úsporných opatření u odběratelů tepla v kombinaci s regulací cen v teplárenství může ekonomicky poškozovat teplárenské subjekty, jejichž infrastruktura se stává předimenzovanou. V otevřeném tržním prostředí však mohou být tyto vlivy motorem přirozeného vývoje.



## 9 Citovaná literatura

1. SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/31/EU. 2010, Úřední věstník Evropské unie , stránky L153/13 - L153/35.
2. Zákon 318/2012 Sb. o hospodaření energií. 2012, Sbírka zákonů ČR.
3. 2. výzva pro bytové domy - obecné informace. *www.novazelenausporam.cz*. [Online] [Citace: 28. listopad 2016.] <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/bytove-domy/2-vyzva-bytove-domy/>.
4. MMR ČR. SPECIFICKÁ PRAVIDLA PRO ŽADATELE A PŘÍJEMCE. <http://www.strukturalni-fondy.cz/>. [Online] [Citace: 28. listopad 2016.] <http://www.strukturalni-fondy.cz/getmedia/ad2ee451-7d83-41da-9e4a-6dc3039cb59b/Specificka-pravidla-pro-zadatele-a-prijemce-37-vyzva.pdf?ext=.pdf>.
5. GILL, John a Phil JOHNSON. *Research methods for managers*. 4th ed. Los Angeles: Sage, 2010. ISBN 978-1-84787-093-3..
6. KOLB, David A., Irwin M. RUBIN a James M. MCINTYRE. *Organizational psychology: a book of readings*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1979.
7. JANKOWITZ, A. D. *Business Research Projects*: Springer US, 1995.
8. GÁLA, Libor, Jan POUR a Zuzana ŠEDIVÁ. *Podniková informatika*. 2., přeprac. a aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2009. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-2615-1.
9. VLČEK, J. *Systémové inženýrství*. Praha : ČVUT, 1999.
10. MACHOLDA, FRANTIŠEK, SRDEČNÝ, KAREL A POKORNÝ, JAN. *Investice do úspor energií v budovách versus budoucnost malých systémů centralizovaného zásobování teplem*. Praha : EkoWATT, 2014. ISBN: 978-80-87333-09-9
11. KARAFIÁT, JOSEF. *Teplárenství*. Praha : Ortep, 2001.
12. SRDEČNÝ, KAREL. STANOVENÍ MĚRNÉ SPOTŘEBY TEPLA PANELOVÝCH DOMŮ. Praha : EkoWATT, 2011.
13. ERÚ. Vyhodnocení vývoje cen tepelné energie k 1. lednu 2013. *www.eru.cz*. [Online] listopad 2013. [Citace: 18. prosinec 2016.] [http://www.eru.cz/documents/10540/484223/Vyhodnoceni+cen+TE+k+1\\_1\\_2013.pdf/19d22834-2e11-4983-b591-0365459f9bf4](http://www.eru.cz/documents/10540/484223/Vyhodnoceni+cen+TE+k+1_1_2013.pdf/19d22834-2e11-4983-b591-0365459f9bf4).
14. ČSÚ. Průměrná roční míra inflace v letech 1994 - 2015. *www.csu.cz*. [Online] 23. listopad 2016. [Citace: 18. prosinec 2016.] [https://www.czso.cz/csu/czso/2-inflace\\_1994\\_](https://www.czso.cz/csu/czso/2-inflace_1994_).

15. BERANOVSKÝ, Jiří, Karel SRDEČNÝ a Petr VOGEL. *Pasivní panelák? A to myslíte vážně?*. Praha: EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie, 2011. ISBN 978-80-87333-07-5.
16. MPO. Příloha 6 NAPE 2014. *www.mpo.cz*. [Online] [Citace: 28. 12 2016.] <http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/50711/63238/651839/priloha003.pdf>.
17. PASSIVHAUS INSTITUT. Passive House Requirements. *The Passive House Institute*. [Online] 2015. [Citace: 25. 2 2017.] [http://passivehouse.com/02\\_informations/02\\_passive-house-requirements/02\\_passive-house-requirements.htm](http://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm).
18. HERMELINK, ANDREAS. SOLANOVA - "Factor 10" - retrofit of large residential buildings. *www.solanova.org*. [Online] 2005. [Citace: 10. 10 2016.] [http://www.solanova.org/resources/SOLANOVA\\_Paper\\_Mandelieu\\_05-2005\\_Hermelink\\_web.pdf](http://www.solanova.org/resources/SOLANOVA_Paper_Mandelieu_05-2005_Hermelink_web.pdf).
19. HOLLAN, JAN. Dva regenerované "paneláky" v Novém Lískovci: nejkvalitnější bytové domy v Česku. *www.tzb-info.cz*. [Online] 29. 8 2005. [Citace: 10. 11 2016.] <http://www.tzb-info.cz/2661-dva-regenerovane-panelaky-v-novem-liskovci-nejkvalitnejsi-bytove-domy-v-cesku>.
20. BYDLET V PANELU. Rekonstrukce školy na energeticky pasivní bytový dům v Dubňanech. <http://www.bydletvpanelu.cz/>. [Online] 27. 3 2013. [Citace: 10. 11 2016.] <http://www.bydletvpanelu.cz/panelovy-dum-a-byt-v-21-stoleti-2013/rekonstrukce-skoly-na-energeticky-pasivni-bytovy-dum-v-dubnanech.html>.
21. CONNOLLY, D. A MATHIESEN, B. V. A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system. *Int J Sustain Energy Plan Manag*. 1 2014, stránky 7-28.
22. LUND, H., a další. *Smart Energy Systems: Holistic and Integrated Energy Systems for the era of 100% Renewable Energy*. 2013.
23. BLAŽÍČEK, J. Jaká je budoucnost CZT – 1. část. *www.tzb-info.cz*. [Online] 16. 11 2015. [Citace: 28. 12 2016.] <http://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/13454-jaka-je-budoucnost-czt-1-cast>.
24. MPO. Státní energetická koncepce České Republiky. *www.mpo.cz*. [Online] 6. 8 2015. [Citace: 28. 12 2016.] <http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>.
25. TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČR. Podíly hlavních způsobů vytápění domácností v ČR. *www.tscr.cz*. [Online] [Citace: 29. 12 2016.] <http://www.tscr.cz/?ta=124&pg=0750>.
26. MATUŠKA, TOMÁŠ. Úvod do zásobování teplem. *fs.cvut.cz*. [Online] [Citace: 29. 12 2016.] [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P1-potreba\\_tepla\\_vykonu\\_navrh-zdroje.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P1-potreba_tepla_vykonu_navrh-zdroje.pdf).
27. JOELSON, A., GUSTAVSSON, L. District heating and energy efficiency in detached houses of differing size and construction. *Applied Energy*. 2009, Sv. 86, stránky 126 – 134.

28. GROHNHEIT, P.E, MORTENSEN, B.O.G. Competition in the market for space heating. District heating as the infrastructure for competition among fuels and technologies. *Energy Policy*. 2003, Sv. 31.
29. BASOGUL, Y., KEÇEBAS, A. Economic and environmental impacts of insulation in district heating pipelines. *Energy*. 2011, Sv. 36.
30. PIROUTI, M., BAGDANAVICIUS, A., EKANAYAKE, J., WU, J, JENKINS, N. Energy consumption and economic analyses of a district heating network. *Energy*. 2013, Sv. 57.
31. PERSSON, U., WERNER, S. Heat distribution and the future competitiveness of district heating. *Applied Energy*. 2011, Sv. 88.
32. GRUNDAHL L, ET AL. Comparison of district heating expansion potential based on consumer-economy or socio- economy. *Energy*. 2016. v tisku.
33. PROTIMONOPOLNÝ ÚRAD SLOVENSKEJ REPUBLIKY. Fungovanie a problémy v sektore tepelného hospodárstva v SR so zameraním na systémy CZT z pohľadu Protimonopolného úradu SR. [www.antimon.gov.sk](http://www.antimon.gov.sk). [Online] 2013. [Citace: 28. 12 2016.] <http://www.antimon.gov.sk/data/att/365.pdf>.
34. SÖDERHOLM, PATRIK A WÅRELL, LINDA. Market opening and third party access in district heating networks. *Energy Policy* 39(2). 2011, stránky 742-752.
35. BLAŽIČEK, J. Uvrhnou nás úspory tepla do energetické chudoby? *tzb-info.cz*. [Online] 6. 10 2014. [Citace: 28. 12 2016.] <http://vytapeni.tzb-info.cz/11803-uvrhnou-nas-uspory-tepla-do-energeticke-chudoby>.
36. BD ORLOVÁ. Spotřeba tepla v Orlové. *BD Orlová*. [Online] [Citace: 10. 10 2014.] [http://bdorlova.cz/images/20140313%20P%C5%99ehled%20cen%20v%20okoln%C3%ADch%20m%C4%9Bstech%20v%20r\\_%202012%20z%20ER%C3%9A.pdf](http://bdorlova.cz/images/20140313%20P%C5%99ehled%20cen%20v%20okoln%C3%ADch%20m%C4%9Bstech%20v%20r_%202012%20z%20ER%C3%9A.pdf).
37. —. Porovnání cen tepla. [www.bdorlova.cz](http://bdorlova.cz). [Online] [Citace: 10. 10 2014.] <http://bdorlova.cz/images/20140312%20Graf%20teplo%201995-2013.gif>.
38. ERÚ. Vyhodnocení vývoje cen tepelné energie k 1. lednu 2013. *ERÚ*. [Online] 1. 1 2013. [Citace: 8. 10 2014.] [http://www.eru.cz/documents/10540/484223/Vyhodnoceni+cen+TE+k+1\\_1\\_2013.pdf/](http://www.eru.cz/documents/10540/484223/Vyhodnoceni+cen+TE+k+1_1_2013.pdf/).
39. KOLEKTIV AUTORŮ. *Topenářská příručka*. Praha : Gas, s.r.o., 2000.
40. ZELENÝ, KAREL. *Studie problematiky snižování energetických ztrát s zvýšením spolehlivosti při dodávkách tepla*. Praha : RAEN, 2007.
41. PISKAČ, MAREK. *Interview*. [dotazovaný] František Macholda. 17. 12 2014.

42. MATUŠKA, TOMÁŠ. Potřeba teplé vody. *panelovedomy.ekowatt.cz*. [Online] 15. leden 2010. [Citace: 2. 2 2017.] *panelovedomy.ekowatt.cz*.
43. —. Časové rozložení spotřeby teplé vody. *panelovedomy.ekowatt.cz*. [Online] 15. 1 2010. [Citace: 2. 2 2017.] <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/35-casove-rozlozeni-spotreby-teple-vody.html>.
44. EkoWATT o.s. Projekt VaV - Možnosti rekonstrukce panelových budov do nízkoenergetického standardu. *Závěrečná zpráva projektu Možnosti rekonstrukce panelových budov do nízkoenergetického standardu*. Praha : EkoWATT o.s., 12 2010.
45. SVOBODA SOFTWARE. Energie 2014. *Tepelná technika - modul Energie*. Praha : Svoboda Software, 2014.
46. METEOTEST. Software Meteonorm. [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)
47. TNI 730320. TNI 730320. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. Praha : ÚNMZ, 2009.

## 10 Přehled publikací disertanta k tématu disertace

### Knihy

1. MACHOLDA, F., SRDEČNÝ, K., POKORNÝ, J.: Investice do úspor energií v budovách versus budoucnost malých systémů centralizovaného zásobování teplem, EkoWATT, Praha 2015. ISBN 978-80-87333-09-9 Podíl 95 %.
2. BERANOVSKÝ J. A KOL: Pasivní panelák? To myslíte vážně? EkoWATT, Praha, 2011, ISBN 978-87333-07-5. Podíl 5 %

### Publikace v recenzovaných periodických

1. MACHOLDA, F.: Investice do úspor energií v panelových domech a růst cen tepla z CZT – bludný kruh? Tepelná ochrana budov 1/2015, 2015, str. 31 – 39, Praha, ISSN 1213-0907. Podíl 100 %.
2. MACHOLDA, F., BERANOVSKÝ, J., KOTEK, P., ŠANCOVÁ, L., VOGEL, P. et al.: Úsporná opatření na přípravu teplé vody specificky pro panelové domy. TZB info [online]. 2011, ISSN 1801-4399. Podíl 15 %.
3. MACHOLDA, F., ANTONÍN, J., KOTEK, P., VOGEL, P., ŠANCOVÁ, L.: Zateplování panelových domů - technologické limity, Tepelná ochrana budov 1/2011, Praha, 2011, ISSN: 1213-0907. Podíl 20 %.

### Ostatní publikace

1. MACHOLDA, F.: Energy saving measures in buildings and their influence to small district heating systems, Sborník konference CESB 2016, Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-271-0248-8. Podíl 100 %.
2. MACHOLDA, F., BERANOVSKÝ, J., VOGEL, P.; ANTONÍN, J.; KOTEK, P.; ŠANCOVÁ, L.: Communist heritage buildings seen under energy, economic and environmental criteria., Sborník konference CESB 2011, Praha 2011, FSV ČVUT. Podíl 15 %.
3. MACHOLDA, F., BERANOVSKÝ, J., KOTEK, P., VOGEL, P., ANTONÍN, J., ŠANCOVÁ, L.: Complex retrofit of prefabricated block of flats - economic and environmental aspects, článek ve sborníku konference Central Europe towards sustainable building, Praha 2010, Grada Publishing for Department of Building Structures and CIDEAS Research Centre, Faculty of Civil engineering, Czech technical university in Prague. ISBN: 978-80-247-3634-1. Podíl 20 %.
4. BERANOVSKÝ, J., ŠANCOVÁ, L., KOTEK, P., MACHOLDA, F., VOGEL, P., ANTONÍN, J.: Komplexní regenerace panelových domů, Stavitel, Praha, 2010, ISSN: 1210-4825. Podíl 15 %.

