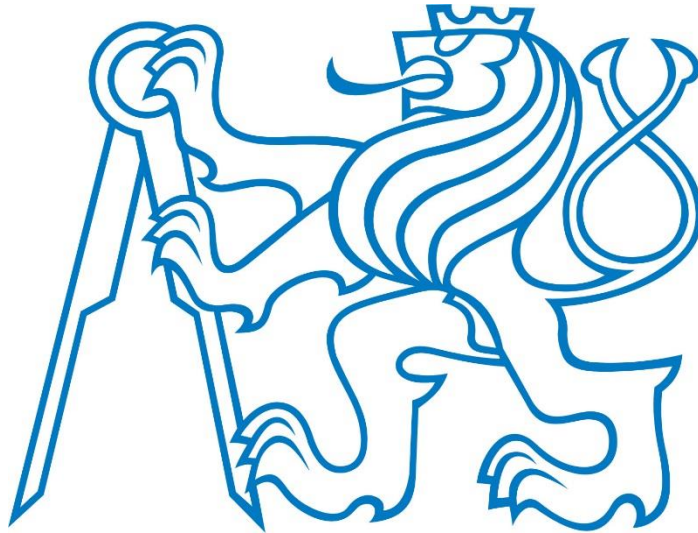


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

MANAGEMENT ENERGETIKY A ELEKTROTECHNIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace rekonstrukce rodinného domu Lojovice

Autor: Bc. David Kecek

Vedoucí práce: Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA

Praha, 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kecek** Jméno: **David** Osobní číslo: **424486**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Optimalizace rekonstrukce/výstavby rodinného/bytového domu

Název diplomové práce anglicky:

Optimization of reconstruction / construction of family house

Pokyny pro vypracování:

Technická a ekonomická analýza pro běžný, doporučený, případně nízkoenergetický či pasivní standard rekonstrukce či nové výstavby:
o Analýza stávajícího stavu a požadavků na rekonstrukce/novou výstavbu: Technická specifika rekonstrukcí, legislativa a normy, porovnání a diskuse, programy podpor v ČR apod.
o Návrh opatření pro snížení energetické spotřeby a jejich diskuse.
o Sestavení funkčních variant řešení.
o Vyhodnocení variant, shrnutí, diskuse a formulace závěrů.

Seznam doporučené literatury:

1. Beranovský, J., Pokorný, J. (2014) Je úsporný dům opravdu úsporný? Z čeho postavit úsporný dům? [online] Praha, ? EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie. ISBN: 978-80-87333-10-5. Dostupné z <http://www.ekowatt.cz/cz/datum-publikace>.
2. Beranovský, J., Jindrák, M., Bejvlová, V. (2017) Efektivní vytápění energeticky úsporných domů. [online] EkoWATT z. s., Praha. ISBN: ISBN 978-80-87333-14-3. Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017-2021 - Program EFEKT 2 pro rok 2017. Dostupné z <http://ekowatt.cz/cz/publikace/>.
3. Srdečný, K. (2008) Katalog energeticky soběstačných řešení nejen pro nízkoenergetické domy. Praha: EkoWATT o. s.
4. Srdečný, K., Purkert, M., Klínerová, J. (2011) Porovnání kvality realizovaných pasivních domů v ČR z environmentálních hledisek. Odborná studie. [online] Praha: EkoWATT o. s. , elektronická publikace. Dostupné z <http://www.ekowatt.cz/cz/datum-publikace>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **13.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Praze 20. 5. 2020

.....

Bc. David Kecek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří se podíleli na realizaci této práce svými připomínkami, cennými radami či morální podporou. Chtěl bych poděkovat své rodině, a zejména svému otci, Ing. arch. Pavlovi Keckovi, za všechny rady, vysvětlení a poskytnutí transparentní projektové dokumentace rodinného domu v Lojovicích. Chtěl bych poděkovat Ing. Michalovi Matějčkovi za velkorysé svolení využít jeho rodinný dům jako podklad pro tuto práci, a za poskytnutí cen výplní svislých konstrukcí. Též bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Beranovskému, Ph.D., MBA, za odborné vedení a redigování této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Ivovi Zemanovi za poskytnutí konzultace a podkladů pro návrh zemního vzdušného výměníku a systémů extrakce energie ze země.

Abstrakt a klíčová slova

<i>Název práce:</i>	Optimalizace rekonstrukce rodinného domu
<i>Autor:</i>	Bc. David Kecek
<i>Obor:</i>	Management energetiky a elektrotechniky
<i>Druh práce:</i>	Diplomová práce
<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Jiří Beranovský, Ph.D., MBA Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze
<i>Abstrakt:</i>	Pojednáním této práce je prozkoumání možných variant energetických úspor při rekonstrukci rodinného domu v Lojovicích, jejich technicko – ekonomického hodnocení a následného doporučení optimální varianty řešení na základě multikriteriálního rozhodování.
<i>Klíčová slova:</i>	optimalizace energetických úspor, rekonstrukce rodinného domu, zdroje vytápění

Abstract and key words

Title: **Optimization of reconstruction of family house**

Author: Bc. David Kecek

Abstract: The thesis explores possibilities of energy savings of permissible variants at the reconstruction of family house in Lojovice, their technical and economic evaluation with subsequent recommendation for optimal solution based on making multicriteria decision.

Key words: optimization of energy savings, reconstruction of family house, heating sources

Obsah

1.	Úvod	13
2.	Předmět posouzení.....	14
2.1.1.	Charakter objektu	14
2.1.2.	Technická infrastruktura	15
2.1.3.	Stavební, konstrukční a materiálové řešení	15
3.	Prvky variant řešení	17
3.1.	Zateplení objektu	18
3.2.	Systém nuceného větrání	18
3.2.1.	Využití odpadního tepla větraného vzduchu.....	18
3.2.2.	Zemní vzdušný výměník (kolektor).....	19
3.3.	Decentrální zdroje tepla.....	19
3.3.1.	Tepelné čerpadlo	19
3.3.2.	Kotel.....	20
3.3.2.1.	Příprava TUV	21
3.3.3.	Kamna a krbové vložky	21
3.4.	Centrální zásobování teplem	21
3.5.	Energie přírody	21
3.5.1.	Fotovoltaická elektrárna.....	22
3.5.2.	Horizontální a vertikální kolektory, energetické piloty a energetické koše.....	22
3.5.2.1.	Dimenzování horizontálního kolektoru.....	24
3.5.2.2.	Dimenzování energetických košů	24
3.5.3.	Betonové podzemní konstrukce	25
3.5.4.	Geotermální vrty	25
3.5.5.	Energetický potenciál podzemních vod	26
3.5.6.	Lima (energetický potenciál povrchových vod)	26
3.5.7.	Zemní vzdušný výměník (kolektor).....	27
3.6.	Využití tepla odpadních vod.....	28
3.7.	Energeticky úsporná zařízení.....	28
3.8.	Management provozu spotřebičů.....	29
3.9.	Osvětlení prostor objektu.....	29
3.10.	Akumulace vody	30
4.	Motivace k implementaci úsporných opatření.....	31
4.1.	Nová zelená úsporám.....	31
4.1.1.	Snižování energetické náročnosti objektu (oblast A)	32
4.1.1.1.	Získání omezujících součinitelů prostupu tepla	35

4.1.2.	Efektivní využití zdrojů energie (oblast C).....	36
4.1.3.	Dotační bonus	39
4.2.	Kotlíkové dotace.....	39
4.3.	Dešťovka.....	40
5.	Ukazatelé ekonomické efektivity.....	43
6.	Způsob sestavení variant možných řešení	46
7.	Dosažené výsledky a citlivostní analýza	47
7.1.	Zateplení objektu	47
7.1.1.	Stanovení tepelných ztrát objektu	47
7.2.	Stanovení tloušťky tepelné izolace konstrukcí	47
7.2.1.	Stanovení výdajů se zateplením obvodového pláště.....	49
7.3.	Energie země	51
7.3.1.	Využití energie země tepelným čerpadlem země – voda.....	51
7.3.2.	Vzdušný zemní výměník.....	54
7.4.	Umělé osvětlení v rodinném domě.....	56
7.5.	Rekuperace tepla odpadní (šedé) vody	59
7.6.	Využití srážkových vod a recyklace šedé vody	60
7.6.1.	Využití srážkových vod	60
7.6.1.1.	Využití srážkových vod pouze k zálivce zahrady	61
7.6.1.2.	Kombinované využití srážkové vody	63
7.6.2.	Recyklace šedé odpadní vody	65
7.6.3.	Ukončení činnosti	68
8.	Dosažené výsledky pro varianty řešení	69
9.	Diskuse a závěr.....	75
10.	Použité zdroje	78
11.	Přílohy	81
11.1.	Grafy citlivostní analýzy.....	81
11.1.1.	Grafy ke kapitole využití energie země tepelným čerpadlem	81
11.1.2.	Grafy ke kapitole vzdušný zemní výměník.....	83
11.1.3.	Grafy ke kapitole umělé osvětlení v rodinném domě.....	84
11.1.4.	Grafy citlivostní analýzy přípustných variant řešení.....	85
11.1.5.	Grafy ke kapitole rekuperace odpadního tepla šedých vod.....	88
11.1.6.	Grafy ke kapitole využití srážkových vod k zálivce zahrady.....	89
11.1.7.	Grafy ke kapitole kombinované využití srážkové vody	90
11.1.8.	Grafy ke kapitole recyklace šedé vody.....	92

Seznam tabulek

Tab. 1: Podoblasti A.0 - A.3 reprezentující výši měrného příspěvku v závislosti na dosažené míře energetického parametru budovy [19]	33
Tab. 2: Požadavky jednotlivých podoblastí A.0 - A.3 [21].....	34
Tab. 3: Normové hodnoty požadovaného a doporučeného součinitele prostupu tepla dané složené konstrukce [22].....	35
Tab. 4: Výše podpory podoblasti C.1 a C.2 [21].....	37
Tab. 5: Výše finanční podpory podoblasti C.4 [21]	38
Tab. 6: Dosažitelná výše dotačních bonusů [21].....	39
Tab. 7: Výše dosažitelné finanční podpory v jednotlivých aktivitách [17].....	41
Tab. 8: Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla programem ENERGIE [26] jednotlivých skladeb konstrukcí v rodinném domě.....	48
Tab. 9: Odhad parametrů pro identifikaci splnění podoblastí A z programu NZÚ.....	49
Tab. 10: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny elektrické energie a diskontu systému odběru tepla ze země bez zohlednění nákladů na obnovu provozu nebo likvidaci	51
Tab. 11: Výdaje spojené s likvidací po ukončení provozu systému využití energie země, případně očekávané výdaje na obnovu (pokračování) stávajícího provozu v jednotlivých zlomových letech.....	53
Tab. 12: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu vzdušného zemního výměníku pro hodnocené období 30ti let. 54	
Tab. 13: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu vzdušného zemního výměníku pro hodnocené období 50ti let včetně výdajů likvidace po skončení životnosti	55
Tab. 14: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé druhy žárovek, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu provozu umělého vnitřního osvětlení v RD bez zohlednění likvidace vyřazených žárovek	58
Tab. 15: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy finanční dotace, eskalace ceny elektrické energie a diskontu rekuperace tepla šedých vod	60
Tab. 16: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému využití srážkových vod k závlaze zahrady	62
Tab. 17: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému kombinovaného využití srážkových vod.....	64
Tab. 18: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému recyklace šedé vody	67
Tab. 19: Zhodnocení variant po skončení odhadnuté doby životnosti systémů využití vod v RD	68
Tab. 20: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé stavy diskontu, vlivu inflace, eskalace ceny elektrické energie, tuhých paliv, vodného a vlivu změny celkové ceny tuhých paliv přípustných varianty řešení bez zohlednění dosažitelné finanční dotace.....	73
Tab. 21: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé stavy diskontu, vlivu inflace, eskalace ceny elektrické energie, tuhých paliv, vodného a vlivu změny celkové ceny tuhých paliv přípustných varianty řešení se zohledněním dosažitelné finanční dotace	74
Tab. 22: Výsledky aplikace multikriteriálního rozhodování na varianty řešení.....	75

Seznam obrázků

Obr. 1: Model rekonstrukce rodinného domu – pohled z hlavní ulice vsi [1].....	14
Obr. 2: Schéma rekuperační jednotky [3]	19
Obr. 3: Schéma systému nuceného větrání s rekuperací s připojením digestoře do okruhu [2].....	19
Obr. 4: T – S diagram pracovního cyklu tepelného čerpadla [4]	19
Obr. 5: Schéma pracovního cyklu TČ [5]	19
Obr. 6: Ilustrační schéma horizontálního kolektoru [8].....	22
Obr. 7: Ilustrační schéma vertikálního kolektoru [8].....	22
Obr. 8: Ilustrační schéma energetických košů [8].....	22
Obr. 9: Ilustrační schéma energetických pilot [8].....	23
Obr. 10: Ilustrační diagramy závislosti hloubky v zemině na teplotě v jednotlivých vybraných měsících ročního období pro horizontální kolektor (vlevo) a energetický koš (vpravo) [8]	23
Obr. 11: Výkony (extrakční kapacity) energetických košů pro jednotlivé zeminy [8]	25
Obr. 12: Specifické odběrové výkonu sond na zemní teplo [9]	25
Obr. 13: Ilustrační schéma využití potenciálu podzemních vod přečerpáváním (vlevo) a uzavřený systém bez přečerpávání (vpravo) [10]	26
Obr. 14: Instalační příklad modulu WET [11]	27
Obr. 15: Schéma vzdušného výměníku rodinného domu [13]	27
Obr. 16: Schéma zapojení rekuperátoru tepla odpadní vody [15].....	28
Obr. 17: Schéma využití akumulované srážkové vody [17].....	30
Obr. 18: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie využití energie země	52
Obr. 19: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země	53
Obr. 20: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let.....	55
Obr. 21: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let.....	56
Obr. 22: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel	57
Obr. 23: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel	58
Obr. 24: Schéma systému využití srážkových vod k zálivce zahrady [32]	61
Obr. 25: Měsíční úhrn srážek na území Prahy a Středočeského kraje [24].....	62
Obr. 26: Schéma systému využití srážkových vod v objektu a k zálivce zahrady [32]	64
Obr. 27: Množství vody v jednotlivých měsících pro různé zdroje a spotřeby	66
Obr. 34: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci	

ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů	69
Obr. 35: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů	70
Obr. 36: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 2 % inflaci, 3 % eskalaci elektrické energie, 3 % eskalaci ceny tuhých paliv a 3 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů	71
Obr. 37: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 2 % inflaci, 3 % eskalaci elektrické energie, 3 % eskalaci ceny tuhých paliv a 3 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů	72
Obr. 28: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie využití energie země	81
Obr. 29: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země	81
Obr. 30: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země	82
Obr. 31: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země	82
Obr. 32: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let.....	83
Obr. 33: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel	84
Obr. 38: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů	85
Obr. 39: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů	85
Obr. 40: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů.....	86
Obr. 41: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci	

ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) se zohledněním vlivu finančních dotací z programů.....	86
Obr. 42: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů.....	87
Obr. 43: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) se zohledněním vlivu finančních dotací z programů.....	87
Obr. 44: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie.....	88
Obr. 45: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie.....	88
Obr. 46: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie.....	88
Obr. 47: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady	89
Obr. 48: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady	89
Obr. 49: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady	89
Obr. 50: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod .	90
Obr. 51: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod .	90
Obr. 52: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod .	91
Obr. 53: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody	92
Obr. 54: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody	92
Obr. 55: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody	92

Terminologický slovník a zkratky

NP	nadzemní podlaží
PD	projektová dokumentace
RD	rodinný dům
JTS	jednotná telefonní síť
ČOV	čistírna odpadních vod
SDK	sádrokarton
XPS	extrudovaný polystyren
ŽB	železobeton
CZT	centrální zdroj tepla
FVE	fotovoltaická elektrárna
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NZÚ	Nová zelená úsporám
ČKAIT	Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků
ČKA	Česká komora architektů
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
TDS	technický dozor stavebníka
ČSN	České technické normy
OPŽP	Operační program životního prostředí
TUV	teplá užitková voda
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
TČ	tepelné čerpadlo
ppm	parts per million
PVK	Pražské vodovody a kanalizace, a.s.
IZT	integrovaný zásobník tepla
URS	Cenová soustava ÚRS
ZT	zásobník tepla

1. Úvod

Hlavní cíl této diplomové práce spočívá v provedení analýzy běžně dostupných možností zdrojů vytápění, přípravy teplé vody, a dalších energeticky úsporných opatření pro konkrétní rekonstrukci rodinného domu, které jsou v souladu s legislativou České republiky a dlouhodobou vizí společnosti, tkvící ve snaze snižovat negativní dopady na životní prostředí, zejména v podobě využívání zdrojů a zařízení, která jsou méně energeticky náročná, a postupném odstraňování z provozu neekologických zdrojů, jež jsou primárně nedostatečně účinné a zároveň jsou majoritními polutanty přírodního prostředí.

Na základě provedené analýzy dostupných systémů a zařízení jsou selektována ta, jež jsou potenciálně kompatibilní s podmínkami a celkovým charakterem rodinného domu v Lojovicích. Nevhodná či nedoporučená technická opatření jsou vždy vyřazena na základě racionálního a relevantního důvodu, jež je součástí procesu sestavení finální podoby přípustných variant řešení.

Součástí problematiky rekonstrukce je přehled a využitelnost dosavadních dotačních programů, motivujících subjekty k investicím do opatření snižujících jednak negativní dopady stávajících decentrálních zdrojů na tuhá fosilní paliva, ale i celkové snížení energetické náročnosti a jejich kvalitní provedení.

Pro přípustné varianty řešení jsou stanoveny ukazatele ekonomické efektivity, které tvoří primární kritéria v racionálním procesu multikriteriálního rozhodování, mající za cíl jednak eliminovat přílišnou trivializaci, ale i plnit prevenci silné agregace relevantních hledisek.

Vzhledem ke způsobu stanovení ukazatelů ekonomické efektivity a jejich dílčích proměnných je nezbytné provedení citlivostní analýzy, mající za cíl stanovit chování posuzované přípustné varianty řešení v čase, pro různé stavy světa, zejména ty, které mohou s největší pravděpodobností nastat, a mají negativní dopad. Bohužel, predikce skokových stavů reálného světa je v podstatě nemožná, a proto je nezbytné se spokojit pouze s meziroční eskalací klíčových proměnných v čase.

Závěrem práce je interpretace výsledků na základě multikriteriálního rozhodování, doporučení nejvhodnější varianty technických a organizačních opatření vedoucích k celkovému snížení energetické náročnosti provozu a minimalizace výdajů zadavatelem rekonstrukce.

Druhotně jsou uvedeny i další varianty technických opatření pro případ, že by se preference investora nebo dílčí vstupy změnila a vyvstala by otázka náhradní nejpříhodnější varianty. V neposlední řadě jsou uvedena skutečná technická opatření realizovaná investorem.

Při řešení problematiky je vhodné uvažovat i širokospektrálně, proto je do této práce implementován blok managementu a technických opatření zahrnující nakládání se srážkovou vodou.

2. Předmět posouzení

Podkladem pro zpracování této diplomové práce je projektová dokumentace na úrovni vydání společného územního a stavebního povolení (dále jen „projektová dokumentace“) zpracovaná R21 Architects s.r.o., Mánesova 864/19, 120 00 Praha, projektant Ing. arch. Pavel Kecek. Následující text a podkapitoly z ní přímo vychází.

Diplomová práce řeší ekonomickou efektivnost jednotlivých variant úsporných řešení rekonstrukce stávajícího rodinného domu ve vsi Lojovice, obec Velké Popovice. Objekt se nachází v intravilánu vsi, která je složena převážně z rodinných domů o dvou nadzemních podlažích a sedlové střeše. Objekt nespadá do památkově chráněné rezervace, ani z hlediska území zde nejsou kladeny požadavky na způsob ochrany. Majitel objektu však chce v maximální možné míře zachovat charakter stávající architektury. [1]

2.1.1. Charakter objektu

Původní objekt byl vybudován na přelomu 19. a 20. století na pravděpodobně ještě starším základu. Archivní dokumentace nebyla dohledána, posuzovaný objekt je hlavní budovou hospodářství se zemědělskými budovami, zasazenými do jižního svahu obce.

Původní objekt nesl na fasádách jednoduché plastické horizontální členění římsami a pilastry, okna mají dovnitř otevíravá křídla a jsou členěna ve tvaru T. Nové architektonické řešení respektuje stávající stav a je reminiscencí původní architektury.



Obr. 1: Model rekonstrukce rodinného domu – pohled z hlavní ulice vsi [1]

Rodinný dům je rozdělen do téměř třech úrovní, jež některé jsou vůči sobě vertikálně posunuté. Severovýchodní fasáda je z části zasazena do svahu, zhruba do úrovně 2. NP. Původní výmink bude zbourán, stejně jako některé části vnitřní dispozice a otvory v nosných konstrukcích, přičemž stávající základ pod výminkem bude rozšířen na šířku traktu hlavní části objektu.

Rekonstrukce respektuje zachování výškového rozdílu mezi hřebeny hlavního objektu a přistavěného výminku, jež má být rozšířen na identickou šíři traktu hlavního objektu. Stěny v 1. NP jsou kamenné, od 2. NP poté smíšené. Tloušťka zdiva je variabilní, v dalších výpočtech se zjednodušuje na reprezentativní průměr.

Hlavní vstup je orientován do jihozápadní části dvora. Východní fasáda disponuje velkými balkonovými dveřmi vedoucími na terasu v přistavěné části bývalého výminku.

Projektová dokumentace předpokládá provedení kontaktního zateplení svislých obvodových nosných konstrukcí pomocí minerální vaty s plastickými prvky z extrudovaného polystyrenu. Zateplení střešní konstrukce bude provedeno pomocí minerální vaty s kolmými vlákny.

K zajištění tepelné pohody uvnitř objektu se předpokládá použití teplovodní vytápění v podobě podlahového topení v kombinaci se stěnovými radiátory. [1]

2.1.2. Technická infrastruktura

Stávající připojení na vodovodní řád zůstane beze změny. Stávající RD bude napojen na nově vybudovanou domovní čistírnu odpadních vod, jež má být umístěna v nejnižším bodě pozemku mezi hospodářskými objekty.

Návrh domácí ČOV je v podobě kompaktního zařízení uloženého v betonové jímce s akumulací nádrží na přečištěnou vodu, která má být přímo napojena na automatický závlahový systém distribuující vodu rovnoměrně a řízeně po pozemku. V zámrném období se předpokládá odvoz na centrální ČOV.

Z důvodu absence plynovodu ve vsi není možné, respektive je neefektivní budovat přípojku k nejbližšímu možnému přípojnému bodu soustavy.

Stávající vedení kabelových tras nadzemním vedením bude nahrazeno připojením k distribuční soustavě ČEZ a.s. pomocí podzemního vedení mezi 1. NP stávajícího objektu a přípojnou skříní umístěnou ve zděném pilíři na hranici pozemku.

Zcela analogicky je řešeno připojení k JTS, stávající nadzemní vedení bude nahrazeno podzemní trasou s optickým kabelem k hranici pozemku. [1]

2.1.3. Stavební, konstrukční a materiálové řešení

V rámci rekonstrukce se předpokládá odstranění stávajícího výminku, krovu a cihelné nadezdívky hlavní části objektu, stávající schodiště a stropní konstrukce vstupního traktu, schodišťová vřetenová stěna, veškeré příčky.

Ve stávajících svislých nosných konstrukcích budou vytvořeny okenní a dveřní otvory, zajištěné ocelovými válcovanými profily.

Základy rozšířené části výminku jsou navrženy železobetonové pasy, založené na skalním, respektive poloskalním podloží. Nově vyzděné nosné konstrukce jsou provedeny z cihelných tvarovek tl. 300 mm. Vnitřní příčky jsou navrženy ze tvarovek POROTHERM 11,5 P + D

s oboustrannou omítkou, vyjma instalačních předstěn, kde se použijí lehčené materiály (SDK, YTONG).

Nové stropní konstrukce jsou navrženy keramobetonové, z železobetonových nosníků a keramických tvarovek s nadbetonovanou deskou, součástí stropní konstrukce je i ŽB věnec doplněný o ocelové nosníky.

Nové schodiště je navrženo křivočaré, z 1. NP do 2. NP z ŽB, ze 2. NP do 3. NP je schodiště dřevěné. Konstrukce krovu je hambálková se středovou vaznicí.

Kontaktní zateplení obvodového a střešního pláště je navrženo z minerální vaty s kolnými vlákny, plastické prvky budou tvarovány z XPS.

Požadované (doporučené) hodnoty součinitele prostupu tepla uvedené v PD jsou:

- dveře, venkovní, z vytápěného prostoru 1,5 W/m²K (U_{N,20})
- prosklené výplně ve svislé konstrukci 1,1 W/m²K (U_{N,20})
- šikmá střecha 0,2 (0,16) W/m²K
- stěna vnější plná 0,3 (0,2) W/m²K
- podlaha na terénu 0,46 (0,3) W/m²K

Orientace objektu je převážně na jih, čímž je splněn požadavek na osvětlení a oslunění objektu. Během letních měsíců bude ochrana proti přehřátí a oslnění pomocí integrovaných rolet.

Výměna vzduchu se v projektové dokumentaci předpokládá přirozeným větráním okny, v místnostech bez oken bude instalováno nucené větrání s vyústěním nad rovinu střechy.

Likvidace odpadu z provozu objektu bude prováděna na základě smluvního vztahu a v souladu se zákonem o odpadech, s oprávněnou firmou, která jej bude pravidelně odvážet.

Ochrana proti pronikání radonu z podloží bude řešena aplikací izolační vrstvy v ploše v podobě dvou asfaltových pásů natavených do konstrukce podlah a ke stěnám objektu. Radonový průzkum bude proveden v rámci realizace stavby. [1]

3. Prvky variant řešení

Analyzujeme nyní současné dostupné možnosti zvýšení úspory při provozu rodinného domu a zajištění lepší pohody residentů, pak můžeme jednotlivé přípustné prvky shrnout v následujících bodech:

- zateplení objektu
 - požadované hodnoty součinitele prostupu tepla
 - doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla
- instalace systému výměny vzduchu se zpětným ziskem tepla
- instalace nového decentrálního zdroje tepla
 - tepelné čerpadlo
 - kotel
 - kamna a krbové vložky
- připojení na centrální zásobování teplem
- využití energie přírody
 - instalace fotovoltaické elektrárny
 - plošné (horizontální) kolektory
 - vertikální kolektory
 - energetické piloty, energetické koše
 - betonové podzemní konstrukce
 - geotermální vrty
 - energetický potenciál podzemních vod
 - lima (energetický potenciál povrchových vod)
 - zemní vzdušný výměník (kolektor)
- využití odpadního tepla z provozu
 - zisk tepla z šedé vody tekoucí do DČOV
- management energetického provozu spotřebičů
- volba energetických zařízení
- umělé vnitřní osvětlení
 - prvky umělého vnitřního osvětlení
 - management osvětlení
- akumulace vody
 - akumulace odpadní vody
 - akumulace srážkové vody
 - recyklace šedé vody

Prvky v současnosti implementovatelné do rekonstrukce budov jsou poměrně rozmanité a na první pohled velmi atraktivní, nicméně důležitou otázkou je skutečná schopnost úspory finančních prostředků a jejich kompatibilita se skutečným stavem.

V dalších podkapitolách se podívejme, co jednotlivé prvky v sobě obsahují a zda – li se jejich použití v počátku přímo nevylučuje se vstupními podmínka rodinného domu v Lojovicích.

Text v následujících podkapitolách přímo vychází z technických listů a volně dostupných informací zejména ze strany výrobců.

3.1. Zateplení objektu

Projektová dokumentace řeší tloušťky zateplení jednotlivých skladeb konstrukcí na normové hodnoty, tj. v našem případě požadované hodnoty součinitele prostupu tepla složených konstrukcí. Nicméně podíváme se i na případ optimalizace tloušťky zateplení, aby jednotlivé složené konstrukce dosáhly na úroveň doporučených hodnot součinitele prostupu tepla. Rozdíl tepelných ztrát prostupem konstrukcí mezi užitím doporučených a požadovaných hodnot by se měl pohybovat na úrovni jednotek procent, dominantní po zateplení pláště je ztráta větráním, která následně ovlivňuje celkové tepelná ztráty okolo 50 %.

Z hlediska materiálového složení nemá velký význam měnit navržené v PD, analýza jiných materiálů by možná přinesla snížení tepelných ztrát, i možnou finanční úsporu, jenže by vznikl prostor pro volbu nevhodného materiálu z hlediska technologie, na druhou stranu, zcela nová konstrukce pláště se týká jen malé části objektu, konkrétně výminku.

3.2. Systém nuceného větrání

Objekt lze vybavit rozvody vzduchotechniky skrytými v podhledu a centrální jednotkou v zázemí budovy. Výhoda systému nuceného větrání spočívá v možnosti filtrace a distribuce čerstvého vzduchu do místností, které by byly paušálně špatně přirozeně větratelné. Systém je navíc vybaven měřením koncentrace CO₂ [ppm] v prostředí, což snadno umožňuje systému automaticky měnit objemový tok vzduchu tak, aby bylo dosaženo přirozeně zdraví nezávadného prostředí v objektu.

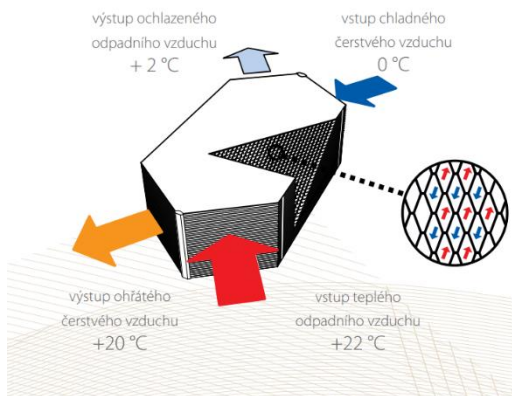
Samostatně systém nemá pro RD příliš velký význam, neboť investor bude paušálně volit levnější variantu větrání okny, ovšem v kombinaci s využitím odpadního tepla větraného vzduchu lze razantně snížit tepelné ztráty větráním, a systém nabývá svého využití. Také je možné k systému nuceného větrání přímo zapojit výstup z otevřeného zemního kolektoru, a zajistit tak přívod čerstvého vzduchu o relativně stabilní teplotě s požadovanou distribucí do jednotlivých místností.

Požadavek na minimální výměnu vzduchu v objektu je obsažen v ČSN EN 15 665/Z1.

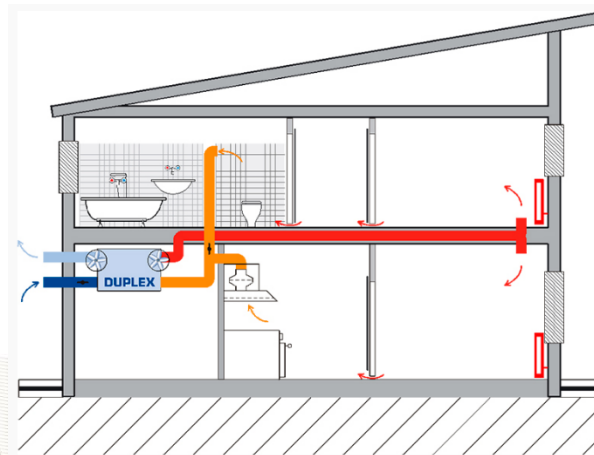
3.2.1. Využití odpadního tepla větraného vzduchu

Na systém nuceného větrání je připojena rekuperační jednotka, která v sobě obsahuje tepelný výměník pro přenos tepla mezi odpadním vzduchem odváděným z interiéru a čerstvým vzduchem, přiváděným z exteriéru. [2]

Při instalaci systému nuceného větrání s rekuperací je vhodné zahrnout do systému odvětrání z digestoře a využití tak značného odpadního tepla při vaření. [2]



Obr. 2: Schéma rekuperační jednotky [3]



Obr. 3: Schéma systému nuceného větrání s rekuperací s připojením digestoře do okruhu [2]

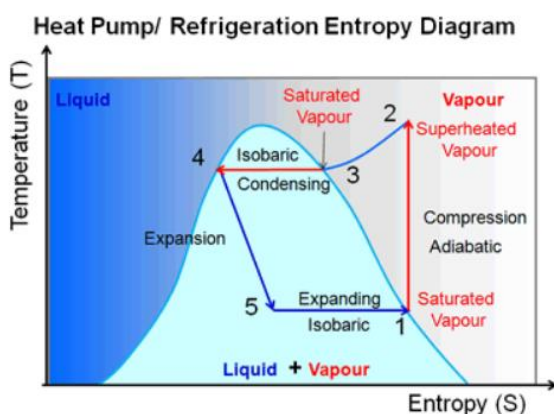
3.2.2. Zemní vzdušný výměník (kolektor)

Popis otevřeného zemního kolektoru je proveden v další podkapitole využití energie přírody. Zde se lze omezit pouze na zmínění přímého zapojení do systému nuceného větrání, alternativně samostatně.

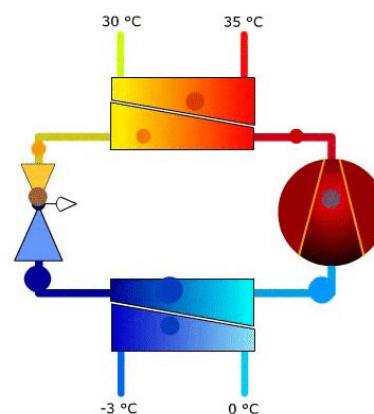
3.3. Decentrální zdroje tepla

3.3.1. Tepelné čerpadlo

Systém pracuje na základě obráceného ideálního Carnotova cyklu. V první části cyklu dochází k adiabatické kompresi teplotnosného média, které následně vstupuje do kondenzátoru kde izobaricky kondenzuje a sděluje teplo. Kondenzované médium poté prochází expanzním ventilem do výparníku, kde akumuluje teplo prostředí. [4]



Obr. 4: T – S diagram pracovního cyklu tepelného čerpadla [4]



Obr. 5: Schéma pracovního cyklu TČ [5]

Komerčně dostupné jsou následující druhy tepelných čerpadel v závislosti na způsobu extrahované energie prostředí a teplotnosného média.

Rozlišují se tepelná čerpadla:

- vzduch – vzduch
- voda – vzduch
- voda – země
- voda – voda.

Tepelné čerpadlo vzduch – vzduch odebírá energii vzduchu exteriéru, případně vývodu z otevřeného zemního kolektoru, a teplovzdušně vytápí prostor objektu. Zásadní nevýhoda je nemožnost využití zdroje pro ohřev TUV. Hlavní výhodou odběru tepla ze vzduchu prostředí je možnost absence plošného zemního kolektoru, vrtu či vodní plochy, což navazuje i na úsporu vstupní investice. Každopádně při respektování otopné soustavy v RD dle projektové dokumentace tato varianta nepřipadá v úvahu. [6]

Řešení voda – vzduch kombinuje výhody extrakce tepelné energie ze vzduchu prostředí, ať již přímo nebo předeřhřátý ze zemního vzdušného výměníku. Proti TČ vzduch – vzduch je značná výhoda TČ s vodním okruhem napojení na soustavu teplovodního vytápění a možnost ohřevu teplé užitkové vody. TČ je vhodné kombinovat s dalším zdrojem energie, jako je kotel v bivalentním zapojení, případně i jiný samostatný zdroj, kdy běžnou potřebu na vytápění a ohřev vody v průběhu roku kryje tepelné čerpadlo, avšak v zimních obdobích, kdy je instalovaný výkon čerpadla nedostatečný, spíná bivalentní zdroj pro pokrytí potřebného nedostatku. Topný faktor TČ voda – vzduch je silně závislý na ročním období. [6]

Tepelné čerpadlo voda – země odebírá energii země na principu výměníku, kterým může být například energetická pilota, energetický koš, zemní kolektor, vrt atd. Výhodou jsou malé rozměry TČ a celoročně vysoký topný faktor. [6]

Konfigurace tepelného čerpadla voda – voda pracuje analogicky systému extrakce energie země, zde jsou však zdrojem energie povrchové nebo podzemní vody, ve které je vodní výměník instalován. [6]

Popis principů jednotlivých zemních a vodních výměníků je provedeno v navazující kapitole, proto zde nebudou dále rozvedeny.

3.3.2. Kotel

Existuje celá řada kotlů různých konstrukcí pro různé druhy paliv, ve kterých dochází k transformaci energie paliva do formy tepelné energie, s maximální možnou účinností.

Ze vstupních podmínek rodinného domu musí být vyloučena možnost instalace plynového kotle, jakožto primárního zdroje energie pro vytápění a ohřev TUV, z důvodu absence přípojného bodu plynové distribuční soustavy.

Další možností je instalace elektrokotle, jehož přední výhodou je absence skládky paliva a řešení příkládání, s produkcí nulových emisí při provozu zdroje, bohužel s poměrně nízkou účinností v kontrastu s jinými dostupnými zdroji. Elektrokotel může být zvolen jako primární zdroj tepla nebo v bivalentním zapojení pro tepelné čerpadlo. Paušálně elektrokotle nejsou

samostatně již příliš konkurenceschopná zařízení, proto není vhodné je dobrovolně stavět do pozice primárního zdroje.

Alternativou výše uvedeným primárním zdrojům tepla jsou tradiční kotle na tuhá paliva, které mohou dle typu konstrukce kotle zahrnovat spalování kusového dřeva, uhlí, pelet, dřevěných štěpů, briket. Řešení vytápění pomocí kotlů na tuhá paliva obnáší nutnost řešení skládky paliva a odvodu spalin, respektive u RD Lojovice rekonstrukci stávajícího komína a celé spalinové cesty.

Nejmodernější kotle na kusové dřevo brikety využívají při spalování zplyňování dřeva. Pyrolýza je proces termického rozkladu látek za sníženého přístupu kyslíku (vzduchu). Plyn vzniklý pyrolýzou tuhého paliva je následně mísen se sekundárním vzduchem a hoří ve spodní části kotle. [7]

3.3.2.1. Příprava TUV

Standardně je k přípravě teplé vody využit primární zdroj tepla v objektu, jenže některé zdroje mohou být provozovány s minimálním výkonem nevyužitelným mimo otopnou sezónu. Z tohoto důvodu lze pořídit na trhu řadu zařízení, která problematiku přímo řeší.

Pro plynové kotle lze například využít průtokový ohřev. Alternativou je využití akumulční nádoby, která může být spojena s otopnou soustavou, případně vybavena vlastní přímotopovou spirálou. Pokud nechceme nebo není možné primární zdroj propojit se zásobníkem, lze instalovat též samostatný zásobník s přímotopovou spirálou.

3.3.3. Kamna a krbové vložky

V dnešní době je zajímavé využití interiérových topidel (kamna, krbové vložky) mající tepelný výměník, kterým lze, jinak čistě odpadní teplo, uložit do akumulční nádrže, respektive zásobníku tepla.

Volba primárně spadá do designu interiéru, ale pokud investor chce maximalizovat užitek z dostupných finančních dotací, je nutné si podporu přímo ověřit v dotačním programu pro konkrétní model topidla.

3.4. Centrální zásobování teplem

Variantu zhodnocení připojení rodinného domu v Lojovicích k soustavě CZT lze zamítnout v počátku z důvodu absence přípojného bodu k distribuční síti teplárny.

3.5. Energie přírody

V podstatě jsou zde uvedeny energeticky efektivní zařízení využívající obnovitelný zdroj energie, které jsou běžně komerčně dostupné. Jednotlivé systémy pracují na zejména principu tepelného výměníku přenášejícího stabilní teplotu okolí distribučnímu médiu v potrubním vedení, které ji s co nejmenšími možnými ztrátami dopraví do tepelného čerpadla, které dodá zbývající potřebnou energii k dosažení požadované teploty a předá ji médiu v teplovodním okruhu objektu, tj. pro vytápění, přípravu TUV. Samozřejmě, tato tvrzení neplatí pro FV elektrárnu.

3.5.1. Fotovoltaická elektrárna

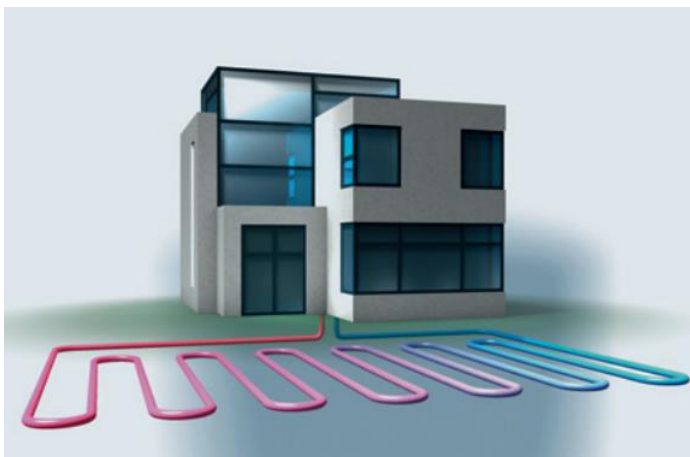
Varianty provozu a dimenze výkonu FV elektrárny se musí vždy individuálně posuzovat, avšak z jejich charakteru platí, že za ekonomicky efektivní, při zohlednění citlivostní analýzy, se považuje pouze varianta s přímou spotřebou elektrické energie, prodej zpět do sítě či akumulace v bateriích je nezajímavý.

Vzhledem k tomu, že instalace FV panelů by nerespektovala PD a její myšlenku reminiscence původní architektury, lze tento prvek vyřadit z možného arzenálu posuzovaných opatření.

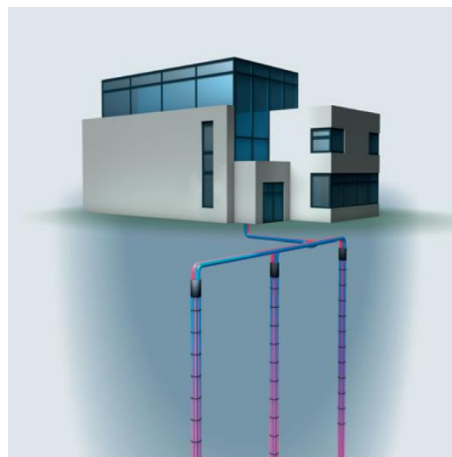
3.5.2. Horizontální a vertikální kolektory, energetické piloty a energetické koše

Následující text vychází z „*Ground Energy Technical Documentation*“ vydanou společností UPONOR [8].

Horizontální a vertikální kolektory, energetické piloty, energetické koše pracují na stejném principu. Jejich aplikace nebo vzájemná kombinace je dána lokálními podmínkami, rozsahem jejich instalace, charakteru podloží. Jedná se o rozvod tenkého potrubí s médiem přenášejícím teplo prostředí, zeminy,

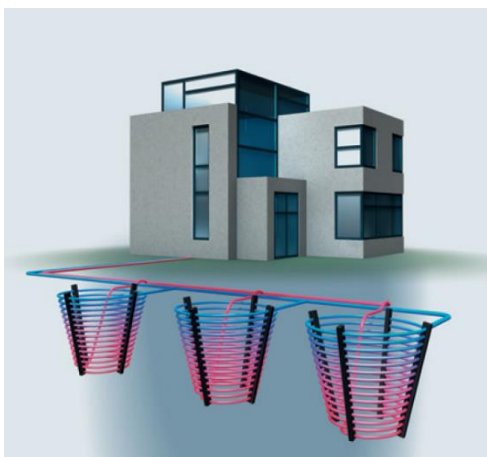


Obr. 6: Ilustrační schéma horizontálního kolektoru [8]

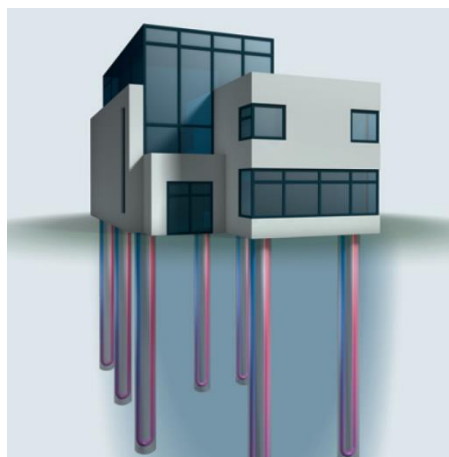


Obr. 7: Ilustrační schéma vertikálního kolektoru [8]

Vytápění objektu a ohřevu teplé užitkové vody je docíleno přenosem stabilního tepla v zemském povrchu médiem kolektoru do tepelného čerpadla. Účinnost systému závisí na rozdílové teplotě interiéru a tepla média předaného z kolektoru tepelnému čerpadlu.



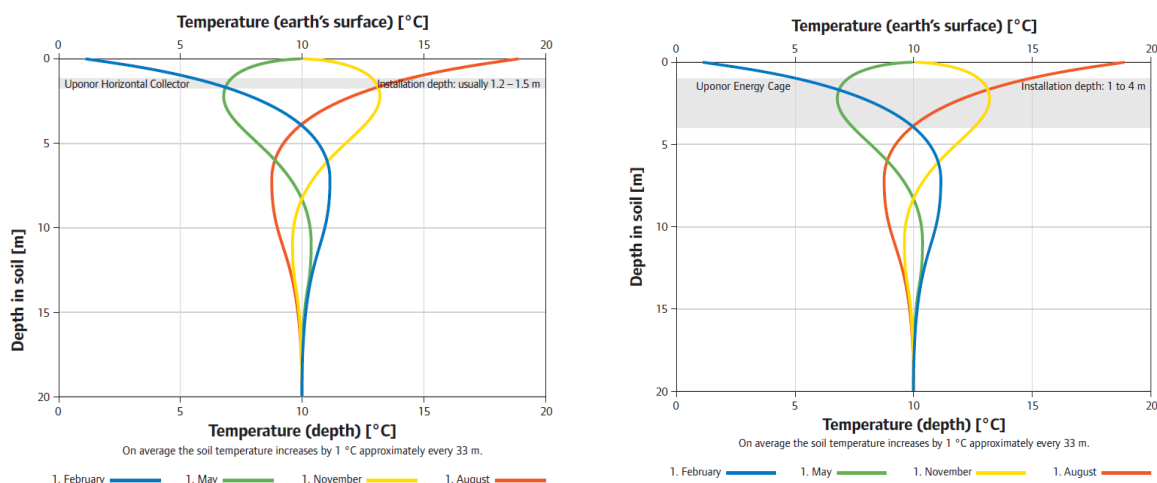
Obr. 8: Ilustrační schéma energetických košů [8]



Obr. 9: Ilustrační schéma energetických pilot [8]

Energetické piloty jsou lukrativní při zakládání stavby na pilotách, v případě projektu RD Lojovice je můžeme přímo vyloučit, neboť se objekt nachází v oblasti, kde je podloží skalnaté, poloskalnaté. Dále proto budeme pracovat pouze s myšlenkou realizace horizontálních kolektorů, energetických košů nebo vrtů, protože rozsah prací nebude dostatečný pro využití energetických betonových konstrukcí.

Teplo odebírané ze svrchní vrstvy země je přímo závislé na míře absorbovaného slunečního záření, které je dané lokalitou, osluněním a ročním obdobím. Pro ilustraci můžeme použít diagram závislosti hloubky v zemině na teplotě půdy pro vybrané měsíce ročního období.



Obr. 10: Ilustrační diagramy závislosti hloubky v zemině na teplotě v jednotlivých vybraných měsících ročního období pro horizontální kolektor (vlevo) a energetický koš (vpravo) [8]

Z diagramů na Obr. 10 jasně vidíme, že teplota ze zemského povrchu je využitelná pro snížení energetické spotřeby provozu tepelného čerpadla pro vytápění, a v letních měsících je teplota dostatečně nízká pro příjemné chlazení objektu.

Účinnost systému roste s relativní vlhkostí zeminy, vlhčí zemina má vyšší součinitel přenosu tepla. U vlhčí zeminy může vyvstat otázka, zda – li nemůže dojít v zámrazném období k poškození vlivem expanze ledu. Nezámrazná hloubka v podmínkách České republiky je v rozmezí od 0,8 m

do 1,2 m hloubky v závislosti na druhu zeminy. Instalace obou systémů se paušálně uvažuje od 1 m hlouběji, proto vnější poškození vlivem expanze nehrozí.

Jediným možným ohrožením může být umístění do nestabilního svahu, kde vlivem přívalových srážek může dojít k jeho utržení nebo posunutí. Nicméně toto je otázka projektu a geologického průzkumu, pro potřeby tohoto posouzení zatím budeme pracovat s hrubým odhadem, že je možné systém realizovat a případně doporučit provedení na základě rozhodnutí z metod ekonomického hodnocení investic.

3.5.2.1. Dimenzování horizontálního kolektoru

Odhad potřebné délky horizontálního zemního kolektoru lze provést ze znalosti minimální plochy kolektoru A_{min} [m²], stanovenou z instalovaného výkonu tepelného čerpadla, jeho vlastního příkonu a extrakční kapacity:

$$A_{min} = \frac{Q_{T\check{C}} - P}{q_E}, \quad (1)$$

kde $Q_{T\check{C}}$ [W] vyjadřuje nominální výkon tepelného čerpadla, P [W] je příkon TČ, q_E [W m⁻²] je extrakční kapacita. Celková délka potrubí kolektoru pak bude:

$$L_k = \frac{A_{min}}{s}, \quad (2)$$

přičemž s [m] vyjadřuje vzdálenost mezi jednotlivým potrubím smyček zemního kolektoru. [8]

Při dimenzování zemního horizontálního kolektoru se doporučuje osová vzdálenost mezi potrubím zemního kolektoru v rozmezí 0,5 – 0,8 m, minimálně však 0,4 m, současně se nedoporučuje mít jednotlivé smyčky delší než 100 m. [8]

Výpočet minimální plochy zemního kolektoru lze též vypočítat z výkonu odpařováku:

$$Q_0 = \frac{Q_{T\check{C}}(COP-1)}{COP}, \quad (3)$$

kde Q_0 [W] výkon odpařováku, $Q_{T\check{C}}$ [W] topný výkon tepelného čerpadla a COP [-] (Coefficient of Performance) je ukazatel výkonu. Podělením výkonu odpařováku odběrovým výkonem (extrakční kapacitou) se získá minimální plocha kolektoru:

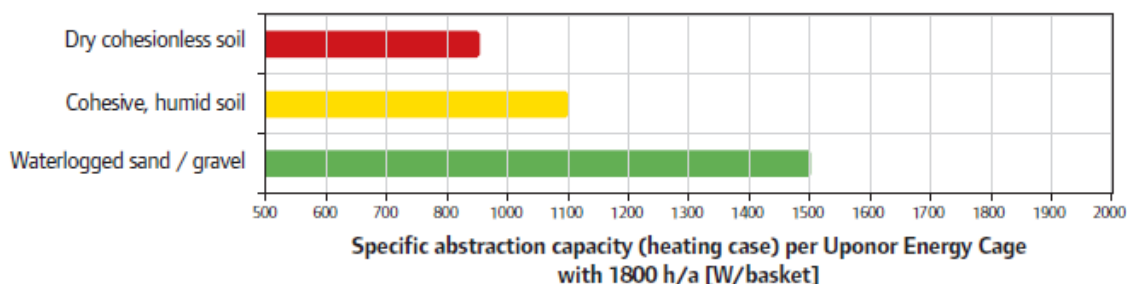
$$A_{min} = \frac{Q_0}{q_E}, \quad (4)$$

pak jsou minimální plocha kolektoru A_{min} [m²] a odběrový výkon (extrakční kapacita) q_E [Wm⁻²]. Délka kolektoru se stanoví dle vztahu ⁽²⁾. [9]

3.5.2.2. Dimenzování energetických košů

Počet energetických košů se dimenzuje podobným způsobem jako horizontální kolektory. Ze vztahu ⁽³⁾ se stanoví výkon odpařováku, který podělením výkonu energetického koše (extrakční kapacity) určí počet košů systému. [8]

Reference value for the dimensioning of an Uponor Energy Cage



Obr. 11: Výkony (extrakční kapacity) energetických košů pro jednotlivé zeminy [8]

3.5.3. Betonové podzemní konstrukce

Tepelný výměník je integrován do betonových konstrukcí. Teoreticky by šlo aplikovat u domácí ČOV, avšak pro podmínky tohoto projektu by se jednalo o příliš malý rozsah, který je samostatně nezajímavý, proto variantu lze přímo vyloučit.

3.5.4. Geotermální vrty

Geotermální energie proti energii země, tak jak je popsáno v kapitole 3.5.2, využívá přímo odebírané teplo generované zemským jádrem, v ideálním případě se jedná zejména o horké vodní prameny, horniny. Jinak pracuje analogicky jako systémy v kapitole 3.5.2.

V podmínkách obce je předpokládáno poloskalní až skalní podloží, které je vhodné pro realizaci geotermálních sond, díky vysokému odběrovému výkonu ze skalnatého podloží a snažšímu vrtání.

Provozní hodiny	1800 h	2400 h
Podloží	specifický odběrový výkon v W/m sondy	
Obecné orient. hodnoty:		
Špatné podloží (suchý sediment) ($\lambda < 1,5 \text{ W/mK}$)	25	20
Normální pevná hornina a vodou nasycený sediment ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	60	50
Pevná hornina s vysokou tepelnou vodivostí ($\lambda < 3,0 \text{ W/mK}$)	84	70
Jednotlivé horniny:		
Štěrka, písek, suchý	< 25	< 20
Štěrka, písek, vodonosný	65–80	55–85
Při silném toku podzemní vody v štěrku a písku, pro jednotlivá zařízení	80–100	80–00
Hlína, jí, vlhké	35–50	30–40
Vápenec (masiv)	55–70	45–60
Pískovec	65–80	55–65
Kyselé magmatity (např. žula)	65–85	55–70
Bázické magmatity (např. čedič)	40–65	35–55
Rula	70–85	60–70

Obr. 12: Specifické odběrové výkonu sond na zemní teplo [9]

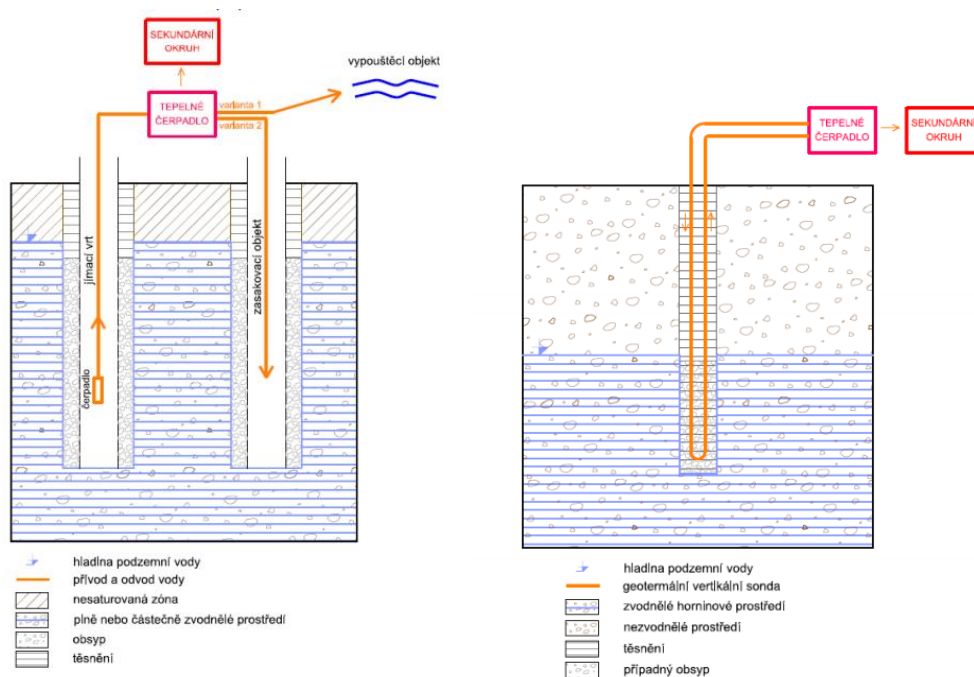
Dimenze geotermálních sond se provádí analogicky vztahu ⁽³⁾, a poté se z Obr. 12 se odhadne odběrový výkon, jež se dosadí do vztahu:

$$L_{sondy} = \frac{Q_0}{q_E}, \quad (5)$$

kde L_{sondy} [m] představuje délku sondy, Q_0 [W] výkon odpařováku, q_E [Wm⁻¹]. Počet a délka sond se stanoví s ohledem na celkovou délku L_{sondy} a dostupné délky jednotlivých sond v katalogu dodavatele. Instalované sondy by měly mít osovou vzdálenost mezi sebou alespoň 5 m při délce < 50 m, při délce > 50 m alespoň 6 m. [9]

3.5.5. Energetický potenciál podzemních vod

Systém využívá tepelné energie akumulované ve spodních vodách, kterou je možné získat dvojím způsobem, a to přímo buď přečerpáváním této vody, analogie dvou studen, nebo v podobě vrtu s tepelným výměníkem. V obou případech máme v systému zapojené tepelné čerpadlo. [10]

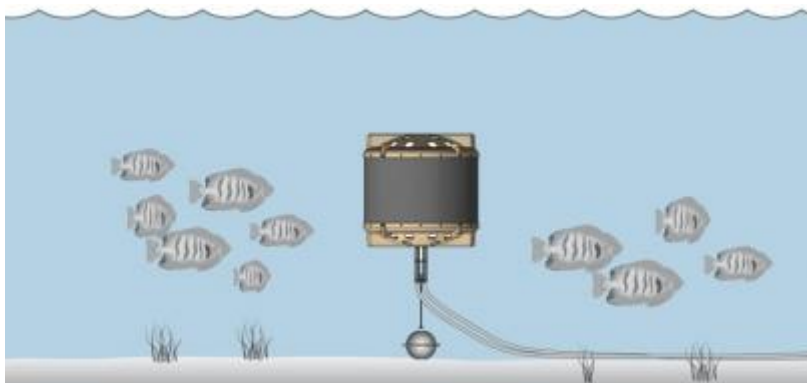


Obr. 13: Ilustrační schéma využití potenciálu podzemních vod přečerpáváním (vlevo) a uzavřený systém bez přečerpávání (vpravo) [10]

Vzhledem k absenci detailního geologického průřezu informujícího o úrovni hladiny spodních vod, PD pouze konstatuje, že hladina spodních vod neohrožuje objekt, lze tuto variantu vyřadit.

3.5.6. Lima (energetický potenciál povrchových vod)

Jedná se o systém využívající energetického potenciálu povrchových vod. Modul (sonda) je ukotvena u dna povrchové vody, ze které odebírá relativně stabilní teplotu prostředí, a dodává ji pomocí potrubí s teplotněstabilním médiem tepelnému čerpadlu. [11]



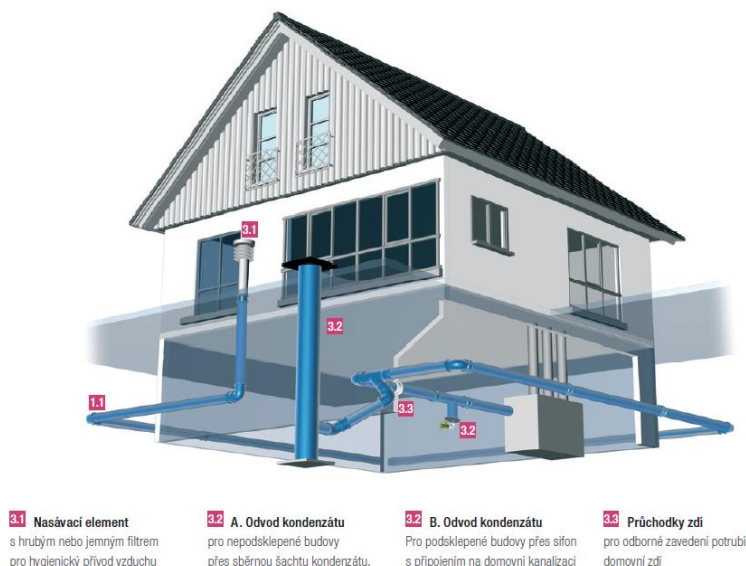
Obr. 14: Instalační příklad modulu WET [11]

Bohužel RD v obci nedisponuje využitelnou vodní plochou pro instalaci tohoto zařízení, v dalších úvahách tento systém nebude využit.

3.5.7. Zemní vzdušný výměník (kolektor)

Analogicky případu plošného kolektoru nebo energetického koše, musí být potrubí umístěno v nezámrazné hloubce, tj. optimálně v rozmezí 1,5 – 3 m pod úrovní terénu, a současně musí být zajištěno řešení odvodu kondenzátu z potrubí. [12]

Při návrhu je nutné nešetřit na potrubí, pokud by se použilo pro zemní vzdušný výměník obyčejné potrubí KG, bez povrchové úpravy, hrozí v systému tvorba hub a bakterií. Řešením je užití potrubí s antimikrobiální úpravou. Nedílnou součástí systému je použití filtrů přiváděného vzduchu, identických s filtry v systému nuceného větrání, umístěných v nasávacích otvorech. [12]



Obr. 15: Schéma vzdušného výměníku rodinného domu [13]

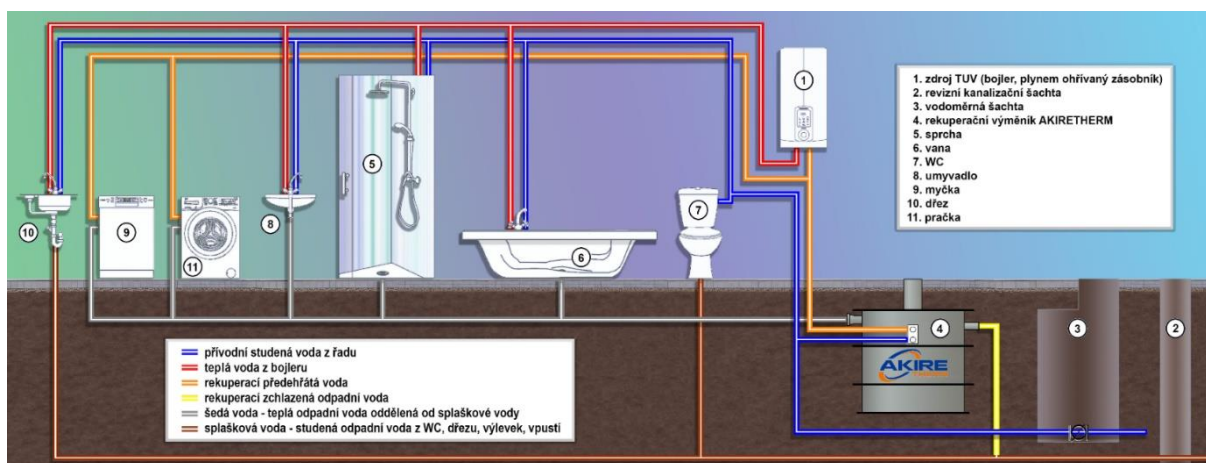
V rámci údržby systému je nutné projektovat systém tak, aby bylo zajištěno optimální čištění, pokud tohoto není docíleno, je nutné realizovat další revizní šachty pro přístup. Čištění systému lze provést pomocí kartáčů, určených pro čištění VZT, nebo vodou, zde však musí být dbáno na respektování dostatečného odvodu čistící vody skrze odvod kondenzátu ze systému. [12]

Dimenzování systému vzdušného zemního výměníku je možné provést dvojím způsobem, buď pomocí vztahů a metodiky dle technické informace REHAU [12] nebo pomocí jiného dostupného výpočetního nástroje. Vzhledem k tomu, že se jedná o zhodnocování prvotních variant konceptu úsporného provozu objektu, a při současném uvážení mnoha vstupních vlivů, které na systém působí, lze se plně spokojit s odhadem poskytnutým výpočetním protokolem dostupným na webovém portálu [14].

3.6. Využití tepla odpadních vod

Celý koncept funguje velmi podobně jako systém zpětného zisku tepla z větraného vzduchu. Tepelný výměník je přímo připojen na přívod vody do zdroje ohřevu TUV, a na odvod teplé odpadní (šedé) vody z provozu. Splašková voda z WC, dřezu jsou vedeny standardním kanalizačním potrubím, separovaným od šedých vod, ke kterému je v za objektem napojeno vyústění z rekuperátoru. [15]

Obecně rekuperátory tepla odpadních vod jsou dostupné jak centrální, tak decentrální.



Obr. 16: Schéma zapojení rekuperátoru tepla odpadní vody [15]

Centrální výměník AKIRETHERM může být umístěn vně i uvnitř objektu, ovšem vnější uložení musí být provedeno uložení pod úroveň terénu, viz schéma zapojení rekuperátoru. Účinnost rekuperace centrální jednotky deklaruje dodavatel systému na úrovni 78,8 %. Z hlediska provozu nevyžaduje rekuperátor žádný externí zdroj energie, údržba systému se provádí v intervalu 3 měsíců čištěním teplosměnných ploch 0,5 kg hydroxidu sodného, a čištění výměníku od kalů v intervalu dvou let. [15]

3.7. Energeticky úsporná zařízení

Vzhledem k tomu, že bude provedena kompletní rekonstrukce a nevyvstává zde otázka provozu předchozích spotřebičů elektrické energie, lze přímo vycházet, že veškeré nové spotřebiče budou splňovat nejvyšší třídu úspory dle energetického štítku. Samozřejmě, toto v sobě může zahrnovat vyšší investici.

Otázka volby jednotlivých spotřebičů je v této chvíli ne úplně vhodná z důvodu vstupu subjektivit ze strany architektonického návrhu a preferencí zvolené varianty řešení dispozice ze strany zadavatele.

Z výše uvedených důvodů subjektivních preferencí a malého vlivu při provozu objektu si zde dovolím tuto kapitolu uzavřít s cílem volby spotřebičů na nejvyšší možné úrovni třídy energetických úspor dle aktuálního energetického štítku.

3.8. Management provozu spotřebičů

Řízení spotřeby je dlouhodobý proces, který je přímo závislý na preferencích rezidentů a úspora se projevuje markantněji až v dlouhodobém časovém horizontu. Většina moderně vybavených domácností má trvale zapojené spotřebiče, z nichž velká část funguje ve stand – by režimu, nebo funguje nepřetržitě. Je zapotřebí tyto spotřebiče identifikovat, a na základě preference uživatele objektu, zda – li mu finanční úspora imponuje více při vydání energie na řízené odpojování a připojování.

Uveďme si příklad roční spotřeby stand – by režimu televizoru, který se pohybuje na úrovni 0,5 W, pro zjednodušení odhadu se provede výpočet přes všech 8 760 hodin v roce s cenou elektrické energie konečného zákazníka s DPH v hodnotě 4,32 Kč (D25d), pak spotřeba stand – by režimu za rok činí maximálně 18,92 Kč.

V tomto případě lze konstatovat, že nemá význam se zabírat odpojováním televizoru běžícím ve stand – by režimu, avšak tvrzení není paušální a každý spotřebič by se měl hodnotit individuálně ve vazbě na požadovanou míru úspory ze strany uživatele.

Spotřebiče podléhající nepřetržitému provozu jako je lednice, mrazák není možné z hlediska jejich funkce a provozu svévolně odpojovat a připojovat, pouze je vhodně umisťovat tak, aby byly v chladnějších prostorách a kde dochází k většímu proudění chladného vzduchu v zadní části chladiče lednice.

Je třeba vždy zhodnotit důležitost zařízení, s parametry předchozího příkladu si můžeme ukázat dosažitelnou úsporu při řízeném odpojování modemu wifi. Příkon modemu se pohybuje na úrovni 7 W, pak celoroční provoz vychází uživatele objektu na 264,9 Kč s DPH. Kdybychom omezili provoz modemu na 70 % maximálního ročního využití, uspořili bychom 79,5 Kč s DPH.

Řízené odpojování a připojování má význam, pokud je zapojeno v soustavě mnoho spotřebičů s malým příkonem nebo méně s vysokým příkonem, jejichž kontinuální provoz je omezitelný bez negativního vlivu na životní pohodu rezidentů.

S uvážením neznalosti přesného výčtu spotřebičů v domácnosti a poměrně zanedbatelných úspor si zde dovolím s touto variantou v tuto chvíli dále nepracovat.

3.9. Osvětlení prostor objektu

I když nové řešení rodinného domu je reminiscencí původní architektury, došlo k celkovému prosvětlení objektu využitím prostornějších balkonových dveří do severní a jižní části zahrady. Největší prosklená plocha bude v nově vystavěném výminku v podobě terasového okna s balkonovými dveřmi orientovanými na východ. [1]

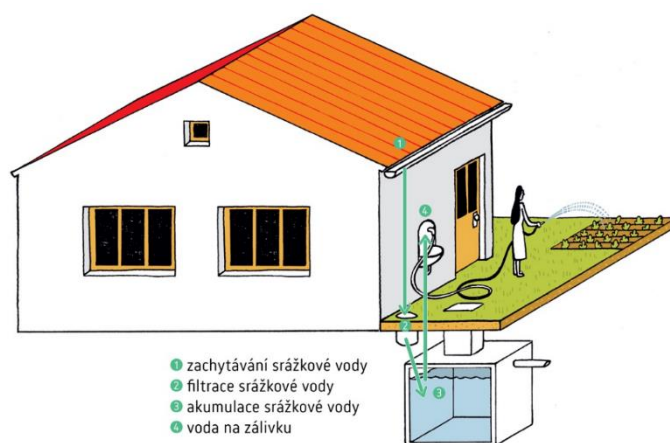
S respektováním stávajícího stavu a zachování architektury intravilánu obce nelze příliš optimalizovat plochy a orientace výplní ve svislých a šikmých konstrukcích, proto se v rámci

opatření úspory osvětlení prostor bude řešit pouze typ zdroje vnitřního umělého osvětlení, respektive volba žárovek.

Je otázkou, zda – li vzít v úvahu při hodnocení tepelné zisky generované provozem osvětlení, které nemusejí mít nutně pozitivní dopad. Při provozu v horkých letních měsících jsou veškeré zdroje tepla v prostorách objektu přítěží tepelné pohodě rezidentů. Naopak, v závislosti na tepelných ztrátách objektu mohou být tepelné zisky od osvětlení zcela zanedbatelné. Tepelný výkon osvětlení lze zjednodušeně přirovnat výkonu jednotlivých žárovek. [16]

3.10. Akumulace vody

Cílem akumulace srážkové vody ze střech objektu je její využití na místo pitné vody z řádu pro závlahu zahrady, případně v podobě šedé užitkové vody pro splachování toalety či mytí povrchů, případně praní. Systém může být rozšířen o rozvod a zařízení přechištějící šedou vodu, kterou lze opětovně využít pro splachování toalety či závlahu zahrady, nikoliv však praní nebo k úklidu. [17]



Obr. 17: Schéma využití akumulované srážkové vody [17]

Podobným způsobem lze využívat akumulovanou přečištěnou vodu z domácí čistírny odpadních vod pro závlahu zahrady.

Je důležité nezanedbat při návrhu řešení odvodu přebytečné srážkové vody z nádrže, jež může napáchat škody v případě přívalových dešťů.

Jednou z možností je řízené vypuštění přebytků do srážkové kanalizace (zpoplatněná varianta), pokud je součástí technické infrastruktury dané lokality, v opačném případě je nutné řešení pomocí vsakování, respektive vsakovacích galerií nebo tunelů tak, aby nedošlo k vyplavení obsahu nádrže, ucpání svodů a s tím navazujícího poškození objektu, pozemku a dalšího vybavení vlivem kumulace neodvodněných srážek. Orientační dimenzi vsakovacích galerií nebo tunelů lze provést v online kalkulátoru výrobce systémů pro řízení a využití srážkových vod. [18]

4. Motivace k implementaci úsporných opatření

Lidské bytosti a jiné subjekty mají tendenci maximalizovat svůj zisk a minimalizovat náklady na úkor solidarity vůči dalším generacím nebo současnému stavu životního prostředí. Pokud chceme zachovat krajinný ráz a přívětivé podmínky dalším generacím, musí do přístupu a myšlení na bázi maxima a minima vstoupit takový subjekt, který má ve svém arzenálu dostatečné motivační nástroje pro změnu.

Ve většině případů je tímto subjektem stát se svými nástroji, konkrétně v případě snahy snížit energetickou náročnost provozu budov, jak stávajících, tak nově stavěných, musí k těmto z pravidla neekonomickým krokům pozitivně finančně motivovat skrze dotační programy. Samozřejmě, některá současná odvětví dotací mohou být z hlediska skutečného dopadu na produkci skleníkových plynů a problematiky nakládání s odpady, obecně znečišťujících látek emitovaných do životního prostředí, rozporuplná, to však není předmětem této práce, takže dále bude uvažována výchozí premisa, kdy jsou nástroje státu v oblasti snížení energetické náročnosti objektů adekvátně optimalizovány a dostatečně reflektují nutnost snižování negativních dopadů s cílem zlepšování stávajícího stavu životního prostředí.

Na území České republiky působí řada institucí resortu životního prostředí, pro účely tohoto projektu má význam zmínit Ministerstvo životního prostředí, Národní program životního prostředí, Státní fond životního prostředí a Operační program Životní prostředí, které spravují jednotlivé dotační programy.

Programy podpor potenciálně kompatibilní s parametry projektu a žadatelem jsou následující:

- Nová zelená úsporám
- Kotlíková dotace
- Dešťovka

jejich bližší rozbor je proveden v následujících podkapitolách, kde je i provedeno vyhodnocení možnosti zisku vybrané finanční dotace.

Text v následujících podkapitolách přímo vychází ze závazných pokynů a webových portálů jednotlivých programů finančních podpor.

4.1. Nová zelená úsporám

Rozsáhlý motivační nástroj na úseku energetických úspor ve stavebnictví je Nová zelená úsporám, která je cílena jak na majitele, tak na stavebníky, ať již fyzické nebo právnické osoby, v oblasti residenční výstavby, a je pod správou Státního fondu životního prostředí.

„Záměrem programu je dosáhnout úspory energie v konečné spotřebě a stimulovat ekonomiku ČR s dalšími sociálními přínosy, kterými jsou například zvýšení kvality bydlení občanů, zlepšení vzhledu měst a obcí, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.“ [19]

Vlna NZÚ bude, dle informací na oficiálním webovém portálu, skrze který lze zároveň i přímo žádat o dotace, přijímat žádosti o dotace do 31.12.2021, nebo do vyčerpání alokovaných prostředků. [19]

Program Nová zelená úsporám dělí v oblast podpory pro rodinné domy do následujících oblastí:

- oblast A – snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů
- oblast B – výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností
- oblast C – efektivní využití zdrojů energie
- dotační bonus. [19]

Z uvedených oblastí můžeme jasně vyloučit oblast B – výstavba RD s velmi nízkou energetickou náročností, jelikož se tohoto projektu netýká na základě charakteru objektu, tedy stávajících konstrukcí. Analogicky jsou v jednotlivých podkapitolách zamítnuty podpory technicky, architektonicky i preferenčně neslučitelné s projektem RD Lojovice.

Rozeberme si nyní v rámci podkapitol dosažitelnou míru finančních podpor a jejich podmínky pro jednotlivé nabídky z programu podpory NZÚ.

4.1.1. Snižování energetické náročnosti objektu (oblast A)

Tato část programu pokrývá poskytnutí finanční podpory na úseku zateplení jak svislých obvodových, tak vodorovných a šikmých konstrukcí, jako je konstrukce střechy, podlahy a stropní konstrukce. Současně pokrývá dotaci na výměnu výplní konstrukcí, tj. okna a dveře, taktéž se věnuje realizaci zelené střechy. V neposlední řadě je poskytnuta jednorázová částka na zpracování odborného posudku a provedení technického dozoru. [19]

Jednotlivé položky dotačního programu jsou mezi sebou sčitatelné, nicméně jeden z generálních limitů je 50 % celkových způsobilých výdajů, přičemž nejvýše přípustná částka činí 550 000 Kč. [19]

Z výše uvedeného výčtu je pro RD Lojovice zajímavá možnost zisku dotace na zateplení pláště objektu včetně výplní, využití odpadního tepla a zisk dotace na zajištění odborného technického dozoru. [19]

Hranice od doby výstavby objektu, na který lze aplikovat žádost o podporu v oblasti A platí „podporu lze poskytnout pouze v případě, že žádost o vydání stavebního povolení (resp. ohlášení stavby) na výstavbu budovy, která je předmětem žádosti, byla podána příslušnému stavebnímu úřadu před 1. 7. 2007“. Samozřejmě tato podmínka je pro tento projekt splněna.

Typ konstrukce	A.0 a A.1 [Kč/m ²]	A.2 [Kč/m ²]	A.3 [Kč/m ²]
Obvodové stěny, obvodové konstrukce obytných zimních zahrad, lehké obvodové pláště, střechy, stropy, podlahy nad exteriérem a ostatní konstrukce	500	600	800
Výplně otvorů (okna, střešní okna, dveře, světlíky a světlovody)	2 100	2 750	3 800
Podlahy na terénu	700	900	1 200

Tab. 1: Podoblasti A.0 - A.3 reprezentující výši měrného příspěvku v závislosti na dosažené míře energetického parametru budovy [19]

V Tab. 1 nalezneme dotaci vztaženou na jednotku plochy, nicméně zde není poskytnuta bližší informace o energetickém parametru. Podívejme se proto blíže na definice klíčových pojmů a podmínek programu NZÚ. Webové stránky archivu programu Nové zelené úsporám [20] samozřejmě uvádí tuto definici, nicméně v ní přímo odkazují na aktualizovanou směrnici „Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám Rodinné domy v rámci 3. výzvy k podávání žádostí“ s účinností od 1.3.2020, dále jen „závazné pokyny“. [21]

Následující text kapitoly přímo vychází z obsahu směrnice závazných pokynů Státního fondu životního prostředí. [21]

V závazných pokynech je uveden způsob výpočtu výše podpory z podoblasti A.0 – A.3, což není nic jiného než součet součinu plochy a typu konstrukce, opraveného na korekční faktor, vztah se tedy vyjádří jako:

$$FP = \sum_{i=1}^m kS_i x_i , \quad (6)$$

kde FP [Kč] představuje výši finanční podpory, x_i [Kč m⁻²] i – tý typ konstrukce, S_i [m²] i – tá plocha konstrukce a k [-] reprezentující korekční faktor. V závazných pokynech jsou vymezeny jeho hodnoty, pro RD Lojovice připadá v úvahu pouze případ buď $k = 1$ pro nezávažnější objekty, nebo $k = 1,05$ při použití materiálu s vydaným environmentálním prohlášením typu III.

Nicméně „materiál/y s vydaným environmentálním prohlášením musí být použit/y alespoň na 75% celkové výměry podporovaných opatření na daném typu konstrukce (např. obvodové stěny, střechy...)“. [21]

V jedné z omezujících podmínek pro výši dotace podoblastí A.0 – A.3 byl použit specifický termín „způsobilé výdaje“, které je zapotřebí mít vždy ucelené, jinak hrozí odmítnutí vyplacení finanční dotace vzhledem k nesplnění závazných pokynů programu, toto samozřejmě platí pro všechny podmínky kladené v závazných pokynech.

Podoblast A.4 ve své podstatě zahrnuje finanční dotaci odborného technického vedení stavby do výše max 25 000 Kč, současně limitovanou maximálně 15 % z celkových alokovaných prostředků fondu pro projekt z podoblasti A.0 – A.3, na zpracování odborného posudku a zajištění

odborného technického dozoru. O podporu z oblasti A.4 lze žádat pouze v kombinaci s A.0 – A.3. Odborný posudek v sobě skrývá projektovou dokumentaci a energetické hodnocení budovy, zpracované oprávněnou osobou, požadavky na jednotlivé zpracovatele přímo vycházejí z aktuální legislativy České republiky.

Projektová dokumentace musí být zpracována autorizovanou osobou dle zákona číslo 360/1992 Sb., o výkonu povolání autorizovaných architektů a o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, v platném znění a PD musí být zpracována dle vyhlášky číslo 499/2002 Sb., o dokumentaci staveb, v platném znění. Samozřejmě, projektování v elektrotechnice musí být provedeno pouze osobou odborně způsobilou dle vyhlášky č. 50/1978 Sb., o odborné způsobilosti v elektrotechnice, v platném znění. Energetické hodnocení budovy zpracovává energetický specialista, oprávněný ke zpracování energetického auditu a hodnocení, PENB, dle zákona číslo 406/2000 Sb., o hospodaření s energií, v platném znění.

Detailnost zpracování projektové dokumentace a energetického hodnocení je blíže specifikováno v závazných pokynech, pro zpracování této práce nejsou tyto detaily podstatné, a z tohoto důvodu není nezbytné je zde dále rozvádět.

Podoblast A.4 finančně dotuje zajištění technického dozoru stavebníka. Osoba vykonávající činnost TDS má vysokoškolské vzdělání v oblasti stavebnictví či architektury či má střední vzdělání s maturitní zkouškou stavebního zaměření, s délkou praxe alespoň 3 roky při provádění staveb, nebo je autorizovanou osobou vedenou ČKA nebo ČKAIT. V neposlední řadě platí nutná podmínka vyloučení střetu zájmů TDS a zhotovitele.

Dosud zde nebyly zmíněny parametry jednotlivých podoblastí A.0 – A.3, Tab. 2 tento problém rozkryje.

Sledovaný parametr	Označení	A.0	A.1	A.2	A.3
Měrná roční potřeba tepla na vytápění po realizaci nebo průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	E_A [kWhm ⁻² rok ⁻¹] U_{em} [Wm ⁻² K ⁻¹]	bez požadavku	≤ 90 $\leq 0,95 U_{em,R}$	≤ 55 $\leq 0,85 U_{em,R}$	≤ 35 $\leq 0,75 U_{em,R}$
Měněné stavební prvky obálky budovy	U [Wm ⁻² K ⁻¹]	$U \leq 0,9 U_{Rec}$	dle požadavku ČSN 73 0540-2 a vyhl. č. 78/2013 Sb.		
Procentní snížení vypočtené měrné roční potřeby tepla na vytápění E_A oproti stavu před realizací opatření	[%]	≥ 20 % ≥ 10 %	≥ 40 %	≥ 50 %	≥ 60 %
Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla splňující podmínky pro podoblast C.4	[-]	ne	ne	ne	ano

Tab. 2: Požadavky jednotlivých podoblastí A.0 - A.3 [21]

Odkaz na kodex norem v Tab. 2 není pro běžného uživatele vhodným způsobem interpretace požadované hodnoty z důvodu absence bezplatného přístupu k ČSN.

4.1.1.1. Získání omezujících součinitelů prostupu tepla

Požadavky kladené na součinitele prostupu tepla v jednotlivých konstrukcích vycházejí z odkazu na normu ČSN 73 0540 – 2 a vyhlášku číslo 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, v platném znění. ČSN jsou chráněny autorským zákonem a lze je pořídit za nemalou částku, nicméně díky portálu www.tzb-info.cz lze z citovaných článků získat potřebné informace obsažené v normě bez nutnosti jejího nákupu.

Z článku „Normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky“ [22]

Pro jednotlivé druhy složených konstrukcí vztažených na projekt rekonstrukce RD Lojovice lze vybrat doporučené a požadované hodnoty součinitele prostupu tepla uvedené v článku [22].

Selektované hodnoty $U_{N,20}$, vyjadřující normový součinitel prostupu tepla, respektive požadovanou hodnotu, a $U_{Rec,20}$ pak doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla vybrané složené konstrukce, obě hodnoty jsou uvedené v Tab. 3.

ČSN 73 0540 - 2	[Wm ⁻² K ⁻¹]	
Konstrukce	$U_{N,20,R}$	$U_{Rec,20}$
Stěna	0,3	0,25
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,16
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2

Tab. 3: Normové hodnoty požadovaného a doporučeného součinitele prostupu tepla dané složené konstrukce [22]

Z vyhlášky číslo 78/2013 Sb., dále jen vyhláška, je klíčové stanovení referenčního součinitele prostupu tepla $U_{em,R}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]. Výpočet se provede dle přílohy č. 1 vyhlášky, podle odstavců 4 a 5. Nechť tedy platí vztah:

$$U_{em,R} = U_{em,N,20,R} \quad (7)$$

a zároveň platí:

$$U_{em,N,20,R} = \int_R \left(\frac{\sum_j U_{N,20,j} A_j b_j}{\sum_j A_j} + \Delta U_{em,R} \right), \quad (8)$$

kde \int_R [-] je tabelovaný redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla, pro dokončenou budovu a její změny je roven 1, $U_{N,20,j}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] normová požadované hodnota součinitele prostupu tepla j – té teplosměnné konstrukce pro převažující návrhovou teplotu 20 °C, A_j plocha j – té teplosměnné konstrukce, stanovená z vnějších rozměrů [m^2], b_j [-] teplotní redukční činitel odpovídající j – té konstrukci dle ČSN 73 0540 – 2:2011, $\Delta U_{em,R}$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] přírážka na vliv tepelných vazeb, dle vyhlášky rovna 0,02.

Stanovení střední hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$] provedeme za užití vztahu:

$$U_{em} = \frac{\sum_j U_{j} A_j}{\sum_j A_j}, \quad (9)$$

přičemž jednotlivé proměnné jsou analogické vztahu ⁽³⁾.

4.1.2. Efektivní využití zdrojů energie (oblast C)

Finanční podpory z oblasti C jsou rozčleněny do více dílčích kapitol zahrnujících podporu opatření přímo se vylučujících s architektonickým a technickým konceptem rekonstrukce rodinného domu v Lojovicích. Následující text kapitoly přímo vychází ze závazných pokynů NZÚ. [21]

Podívejme se tedy na obsahy v jednotlivých podoblastech:

- C.1 – výměna zdroje tepla (využitelné současně s opatřením oblasti A)
- C.2 – výměna zdroje tepla (omezeno maximální měrnou potřebou tepla na vytápění)
- C.3 – instalace solárních termických a fotovoltaických systémů
- C.4 – instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla
- C.5 – podpora na zpracování odborného posudku a zajištění měření průvzdušnosti obálky budovy
- C.6 – zvýhodnění při použití výrobků se zpracovaným environmentálním prohlášením typu III
- C.7 – podpora využití tepla z odpadní vody.

Z dřívější analýzy přípustných variant můžeme zcela beztestně vyloučit C.3. Ostatní podkapitoly prozatím ponecháme a případně vyloučíme na základě dílčích podmínek pro uplatnění.

Uplatnění finanční podpory z oblasti C nelze, dle závazných pokynů, kombinovat s oblastí B, která se i naštěstí projektu netýká, samotná realizace opatření musí být provedena dodavatelsky s příslušným oprávněním, odbornou způsobilostí pro daný typ provedených prací.

Výměna zdrojů tepla, tedy podoblasti C.1 a C.2, se vztahuje na výměnu původních hlavních zdrojů tepla na tuhá fosilní paliva pro vytápění objektu, nesplňující předpoklady 3. emisní třídy, zejména efektivitu a ekologii. Podpora se vylučuje s čerpáním kotlíkových dotací z OPŽP, která je určena pro výměnu kotlů vlastněných fyzickými osobami po 15.7.2015.

Podívejme se blíže na rozdíl výměny zdrojů tepla v podoblastech C.1 a C.2. V úvodu kapitoly jsme si uvedli, že podoblast C.1 lze využít pouze současně s oblastí A programu. Podoblast C.2 má nastavenou horní hranici měrné roční potřeby tepla na vytápění $E_A \leq 150 \text{ kWh m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Každopádně se v obou případech nepodporují „pořízení kotlů určených na spalování tuhých fosilních paliv a nedřevních paliv“ [21].

Podoblast podpory	Typ zdroje	Výše podpory [Kč/dům]	
		C.1	C.2
C.1.1 C.2.1	Kotel na biomasu s ruční dodávkou paliva	50 000	40 000
C.1.2 C.2.2	Kotel na biomasu se samočinnou dodávkou paliva	100 000	80 000
C.1.3 C.2.3	Krbová kamna na biomasu s teplovodním výměníkem s ruční dodávkou paliva a uzavřené krbové vložky s teplovodním výměníkem	50 000	40 000
C.1.4 C.2.4	Krbová kamna nebo vložka na biomasu s teplovodním výměníkem se samočinnou dodávkou paliva	50 000	40 000
C.1.5 C.2.5	Tepelné čerpadlo voda – voda	100 000	80 000
C.1.6 C.2.6	Tepelné čerpadlo země – voda	100 000	80 000
C.1.7 C.2.7	Tepelné čerpadlo vzduch – voda	75 000	60 000
C.1.8 C.2.8	Plynový kondenzační kotel	35 000	15 000
C.1.9 C.2.9	Napojení na soustavu zásobování teplem	40 000	30 000

Tab. 4: Výše podpory podoblasti C.1 a C.2 [21]

Doplňující podmínky kladené na instalaci nového zdroje lze pro zdroje na biomasu, tepelná čerpadla, plynové kondenzační kotle shrnout do požadavku na ekodesign, vyjma zdroje na biomasu, zde je podmínka spalování s nízkými hodnotami lokální emise látek znečišťujících ovzduší.

Podmínky připojení na CZT nebudeme rozebírat z důvodu vyloučení této varianty v předchozím textu této práce. Pro oblast podpory C.1 a C.2 můžeme vyčíslit dosažitelnou finanční dotaci, částky uvádí Tab. 4.

Posuňme se nyní k podoblasti C.4 motivující k instalaci systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Z hlediska konstrukce jsou podporovány jak centrální, tak decentrální systémy. O podporu lze žádat jak samostatně, tak v kombinaci s oblastí A, nicméně pokud je žádáno samostatně, musí být dosažena úspora ve vytápění alespoň 20 % proti původnímu stavu. Striktní požadavek na dosažení této dotace je průvzdušnost obálky objektu $n_{50} \leq 2,5 \text{ h}^{-1}$. Splnění podmínky je nezbytné doložit protokolem o měření průvzdušnosti obálky dle metodiky specifikované v ČSN ISO 9972 Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda 3. Nutno podotknout, že může být zavádějící zrušení normy k 1.1.2018, což nevylučuje splnění metodiky měření dle jejího pokynu. Samozřejmě zde platí předpoklad návrhu dle platných norem a dimenze systému pro výměnu vzduchu ve všech obytných místnostech pro trvalý pobyt fyzických osob.

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům]
C.4.1	Centrální systém nuceného větrání se zpětným získáním tepla	100 000
C.4.2	Decentrální systém nuceného větrání se zpětným získáním tepla	75 000

Tab. 5: Výše finanční podpory podoblasti C.4 [21]

Zpracování odborného posudku a zajištění měření je finančně dotováno do 5 000 Kč, při splnění podmínky realizace opatření z podoblasti C.1, C.2, C.3. nebo C.4. Analogicky případu oblasti A, je instalované zařízení dotované z podoblasti C.1, C.2, C.3 nebo C.4 s environmentálním prohlášením typu III finančně podpořeno částkou 2 000 Kč.

Poslední využitelná podoblast C.7 se věnuje využití tepla z odpadní vody pro předehřev teplé vody a zahrnuje jak centrální, tak decentrální systém. Program nabízí 5 000 Kč za každý decentrální systém, respektive odběrné místo (výtok) centrálního systému, s maximálním omezením 15 000 Kč na dům.

V případě, že v objektu není využito tepelné čerpadlo, je požadována alespoň 30 % účinnost zařízení deklarovaná výrobcem systému při následujících vstupních parametrech:

- objemový průtok min. 8 l/min
- teplota studené vody min. 8 °C
- teplota okolí (18 °C; 25 °C)
- teplota odpadních vod max. 39 °C,

nebo zařízení disponuje certifikací iPAH (International Passive House Association). Pokud systém rekuperace využívá tepelné čerpadlo není dolní hranice účinnosti stanovena.

4.1.3. Dotační bonus

„Dotační bonus je možné poskytnout žadatelům, kterým je poskytnuta podpora na výměnu nevyhovujícího kotle na tuhá paliva v rámci 67. výzvy Ministerstva životního prostředí k podávání žádostí z programu OPŽP 2014–2020, prioritní osa 2, specifický cíl 2.1 – Snížit emise z lokálního vytápění domácností podílející se na expozici obyvatelstva koncentracím znečišťujících látek (tzv. „2. vlna kotlíkových dotací“) a rovněž podpora na zateplení rodinného domu nebo instalaci solárního systému z Programu. Obě opatření musí být realizována ve stejném objektu. Bonus se neposkytuje k předchozím výzvám a vlnám programu tzv. „kotlíkových dotací“.“ [21]

Důležitá informace přímo vyplývající ze závazných pokynů, dotační bonus se nepočítá do celkové maximální výše 50 % způsobilých výdajů, a musí se kombinovat s podoblastmi podpory A nebo C.3.

Typ zdroje	Dotační bonus při kombinaci s podporovanými opatřeními v podoblastech A [Kč]	Dotační bonus při kombinaci s podporovanými opatřeními v podoblasti C.3 [Kč]
Tepelná čerpadla	20 000	10 000
Kotle na biomasu - samočinná dodávka paliva	20 000	10 000
Kotle na biomasu - ruční dodávka paliva	20 000	10 000
Plynové kondenzační kotle	20 000	10 000
Kombinované kotle na uhlí a biomasu se samočinnou dodávkou paliva	40 000	10 000

Tab. 6: Dosažitelná výše dotačních bonusů [21]

4.2. Kotlíkové dotace

Paralelně běžící jsou vlny tzv. „kotlíkových dotací“ zaměřené na výměnu starých neefektivních a neekologických decentrálních zdrojů tepla na tuhá fosilní paliva s ručním příkládáním. Poslední proběhla byla 3. vlna dotací, pro kterou byla vyhlášena omezená doba pro podání žádosti o dotaci. Vzhledem k termínu podání žádostí do konce roku 2019 nemá cenu se touto dotací pro tento projekt dále zabírat, není třeba se však bát ztráty zisku možného příspěvku, neboť předchozí kapitola disponuje oblastí C, která dotuje zdroje a přímo se s kotlíkovou dotací vylučuje. [23]

4.3. Dešťovka

Dotační výzva Dešťovka, vyhlášená MŽP prostřednictvím SFŽP dle podmínek Národního programu Životní prostředí, nabízí celkem tři hlavní kategorie dotovaného využití sběru srážkové vody z povrchu budovy:

- B – akumulace a využití srážkových vod v segmentu obytných domů
 - B.1 – systémy pouze pro zálivku
 - B.2 – komplexní systémy pro využití srážkové vody jako vody užitkové
- C – akumulace a využití přečištěné odpadní vody v segmentu obytných domů
 - C.1 – systémy pro využití přečištěné odpadní vody bez využití srážkových vod
 - C.2 – systémy pro využití přečištěné odpadní vody s využitím srážkových vod

zde termín obytný dům v sobě zahrnuje i rodinné domy. Žádosti o finanční dotaci z programu je možné podávat do doby vyčerpání alokovaných prostředků. [17]

Finanční dotace je využitelná pro vlastníky a stavebníky obytných domů. K vyplacení podpory nedojde pokud budou porušeny podmínky výzvy [17], zejména závazků po lhůtě splatnosti, existuje – li právo nakládat „s obytným domem přímo souvisejícím s předmětem podpory, příp. zástavou omezeno soudcovskou či exekutorskou zástavou, je nařízena exekuce či příkaz k prodeji tohoto domu. Zástavy z důvodu hypotéky a půjčky nejsou na závadu. Podpora nemůže být poskytnuta, pokud je obytný dům přímo související s předmětem podpory předmětem insolvenčního řízení či policejního obstavení.“ [17]

Podívejme se nyní blíže na dosažitelnou výši finanční podpory pro jednotlivé podoblasti Dešťovky a jejich omezení, souhrn pak vyjadřuje Tab. 7.

Aktivita		Instalace	Maximální dotace	Omezení
B – Akumulace a využití srážkových vod v segmentu obytných domů	B.1 Systémy pouze pro závlahu	Srážková voda ze střechy obytného domu je přes filtrační zařízení akumulována v podzemní nádrži. Zachycená srážková voda je využívána pro závlahu zahrady pomocí ponorného čerpadla či malé domácí vodárny.	Dotace na realizaci: 20 000 Kč + x*3 500 Kč kde x = vypočítaný objem akumulační nádrže [m ³] max však 50 % celkových způsobilých výdajů max 55 000 Kč / žádost	Pouze pro stávající obytné domy
	B.2 Komplexní systém pro využití srážkové vody jako vody užitkové	Srážková voda ze střechy obytného domu je přes filtrační zařízení akumulována v podzemní nádrži. Zachycená srážková voda je využívána na splachování toalet v obytném domě a pro závlahu zahrady pomocí ponorného čerpadla s tlakovými spínači či malé domácí vodárny	Dotace na realizaci: 30 000 Kč + x*3 500 Kč kde x = vypočítaný objem akumulační nádrže [m ³] max však 50 % celkových způsobilých výdajů max 65 000 Kč / žádost	
C – Akumulace a využití přečištěné odpadní vody v segmentu obytných domů	C.1 Systémy pro využití přečištěné odpadní vody bez využití srážkových vod	V obytném domě jsou instalovány dvě akumulační nádrže – jedna na přečištěnou odpadní vodu (tzv. šedá voda z umyvadel, van a sprch) je akumulována v podzemní nádrži a je následně využívána v obytném domě pro splachování toalet a případně pro závlahu zahrady. Systém neslouží pro zachytávání a využití srážkových vod.	Dotace na realizaci: 45 000 Kč + x*3 500 Kč kde x = vypočítaný objem akumulační nádrže [m ³] Dotace na projektovou přípravu: 10 000 Kč maximálně však 50 % celkových způsobilých výdajů max 105 000 Kč / žádost	V případě použití přečištěné odpadní vody na závlahu je nutné předložit vodoprávní povolení vydané příslušným vodoprávním úřadem dle § 8 odst. 1 písm. c) vodního zákona.
	C.2 Systémy pro využití přečištěné odpadní vody s využitím srážkových vod	V obytném domě jsou instalovány dvě akumulační nádrže – jedna na přečištěnou odpadní vodu (tzv. šedá voda z umyvadel, van a sprch) a druhá na srážkovou vodu - a inteligentní systém pro řízení využití jednotlivých zdrojů vody. Následně využití přečištěné odpadní vody a srážkové vody v obytném domě pro splachování toalet a případně pro závlahu zahrady	Dotace na realizaci: 60 000 Kč + x*3 500 Kč kde x = vypočítaný objem akumulační nádrže [m ³] Dotace na projektovou přípravu: 10 000 Kč maximálně však 50 % celkových způsobilých výdajů max 105 000 Kč / žádost	V případě použití přečištěné odpadní vody na závlahu je nutné předložit vodoprávní povolení vydané příslušným vodoprávním úřadem dle § 8 odst. 1 písm. c) vodního zákona.

Tab. 7: Výše dosažitelné finanční podpory v jednotlivých aktivitách [17]

Časové omezení čerpání dotace je realizace nejpozději do 12 měsíců pro stávající objekty, 24 měsíců pro novostavby, ode dne akceptování žádosti. [17]

Dešťovka ve společných podmínkách stanovuje výpočet minimálního dostupného objemu pro akumulaci srážkové vody odvodněním konstrukce střechy, ve tvaru:

$$V_{min} = MIN \left(\frac{1400n_p + 10A_G}{1000}; \frac{20jA_R f_s f_f}{365\,000} \right) \quad (10)$$

kde V_{min} [m³] je vypočtený minimální objem akumulární nádrže, n_p [-] vyjadřuje počet obyvatel, plocha zavlažované zahrady A_G [m²], množství dešťových srážek j [mm rok⁻¹], A_R [m²] půdorysný průmět odvodňované plochy, f_s [-] koeficient odtoku odvodňované plochy, pro případ RD Lojovice je roven 1, f_f [-] účinnost filtrace, dle doporučení programu Dešťovka na úrovni 85 %. [17]

Současně však platí vztah:

$$V_{ins} = MAX(2; V_{min}) \quad (11)$$

kde V_{ins} [m³] je skutečný instalovaný objem. [17]

Roční úhrn srážek pro oblast Velké Popovice lze stanovit z portálu ČHMÚ pro Prahu a Středočeský kraj. [24]

Z uvedeného vyplývá otázka, zda – li není možné vhodně nakombinovat investorem preferovanou domácí čistírnu odpadních vod, z níž přečištěná odpadní voda má být využita pro závlahu zahrady. Na toto konto bohužel uvádí portál programu podpory Dešťovka následující: „Podpora DČOV v rámci programu Dešťovka není možná, ani výdaje na pořízení DČOV nelze zahrnout mezi způsobilé. Podporu lze poskytnout pouze na další součásti systému jako například čerpadlo, filtrace, hygienizaci, úpravy svodů, srážkové vody, instalaci rozvodů užitkové vody.“ [25]

Dle bodu C.2. dotačního programu Dešťovka vzniká další otázka budování dvou nádrží, pokud bude s vodou z nádrže nakládáno striktně ke splachování toalety a zálivce zahrady, není důvod tyto vody separovat. Portál opět poskytuje odpověď:

„Program nepožaduje rozdělení nádrží na srážkovou a přečištěnou odpaní vodu (tj. můžete mít jednu společnou nádrž). Je však nutné mít na mysli, že pokud dojde ke smíchání srážkové vody s přečištěnou odpadní vodou, pohlíží se na ni jako na vodu odpadní a v případě jejího následného využití k zálivce je nutné mít souhlas k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Ideální tak je instalovat dvě různé oddělené nádrže a využívat přečištěnou šedou vodu na splachování toalet a srážkovou vodu na zálivku.“ [25]

5. Ukazatelé ekonomické efektivity

K analýze a provedení samotného doporučení nejlepší možné varianty je nezbytné si definovat klíčové pojmy k vyhodnocení.

Základní nástroj stanovení ekonomické efektivity je čistá současná hodnota NPV (Net Present Value):

$$NPV = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}, \quad (12)$$

kde INV značí odchozí peněžní toky v nultém roce, tj. investice prostředků při realizaci díla. S uvážením rozsahu se předpokládá provedení úprav během jednoho kalendářního roku. CF_t vyjadřuje peněžní tok [Kč] v t – tém roce, T [rok] dobu životnosti nebo dobu porovnání, v závislosti na komplexnosti úlohy, a r [-] vyjadřuje diskont, respektive časovou cenu peněz, pro další výpočty bude standardně uvažováno 0 % a 3 %.

Diskont vyjadřuje jednak časovou cenu peněz, ale v obecnější podobě i náklady ušlé příležitosti (opportunity costs).

Nulový diskont je pro snazší interpretaci výsledků a 3 % reprezentuje reálný stav, tj. schopnost investora zúročit kapitál s minimální možnou mírou rizika ztráty. U fyzických osob je vždy stanovení výše diskontu diskutabilní a vyžaduje citlivý přístup, racionalizaci problematiky v podobě určení úrokové míry se kterou by byl obdobný kapitál schopen se zúročit je zjevně nejlepší. Vliv změny diskontu na přípustné varianty lze docílit zavedením inflace.

Obecně pro NPV platí, že s rostoucím diskontem se snižuje jeho hodnota, což přímo vyplývá ze vztahu (12). Nicméně se nesmí zapomenout, pokud se posuzuje výdajové NPV, bude rostoucí diskont způsobovat lepší výsledky oproti nulovému. Vzhledem k nemalé variabilitě diskontu a způsobu jeho stanovení je velmi důležité provést citlivostní analýzu, poskytující představu o teoretické stabilitě NPV hodnocené varianty.

Vyjma stanovení diskontu ekvivalentem zúročení kapitálu na podobně rizikových portfoliích lze diskont stanovit též například pomocí CAPM modelu, ten je však vhodný spíše pro právnické osoby.

NPV jakožto kritérium ekonomické efektivity v případě $NPV > 0$ obecně doporučuje investovat, pokud existuje více kladných NPV, pak volit projekt s maximální hodnotou. Analogicky pokud je ryze $NPV < 0$, tedy nákladové NPV, pak se z volí projekt s maximální hodnotou NPV. Zde je nutné mít na paměti, při ryze výdajových/nákladových NPV dochází k minimalizaci výdajů/nákladů, ale NPV se maximalizuje.

Ceny jsou uvažovány nominální, pro zohlednění případného vlivu inflace lze substituovat

$$(1 + r) = (1 + inf)(1 + d), \quad (13)$$

kde inf [-] je inflace a d [-] je pak námi volený diskont.

Dalším nástrojem je vnitřní výnosové procento IRR (Internal Rate of Return), které v podstatě říká, že pro dané nediskontované hotovostní toky hledá takové výnosové procento, aby platilo:

$$NPV = 0, \quad (14)$$

neboli

$$NPV = -INV + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0. \quad (15)$$

IRR má smysl pouze v případech přechodu mezi kladnými a zápornými hodnotami, tj. nemá příliš velký význam jej stanovovat u ryze záporných nebo kladných NPV.

V neposledním řadě patří mezi základní nástroje ekonomické efektivnosti roční ekvivalentní hodnota RCF (Residual Cash Flow):

$$RCF = a_T NPV = \frac{(1+r)^T r}{(1+r)^T - 1} NPV = \frac{1}{\sum_{t=1}^T (1+r)^{-t}} NPV, \quad (16)$$

a $a_T [-]$ je poměrná anuita.

V některých případech lze hledat okamžik na časové ose, ve kterém se investice zaplatí, a od kterého se stává projekt výnosným, poté se mluví o prosté době návratnosti definované:

$$T_s = \frac{INV}{CF} \quad (17)$$

T_s se rozumí prostá doba splacení [rok], INV investice [Kč] a CF představuje peněžní tok [Kč]. Prostá doba splacení nerespektuje cenu peněz, tedy diskont.

Stanovení prosté doby návratnosti je diskutabilní, má spíše význam pro identifikaci bodu zlomu kdy projekt dosahuje výnosnosti ve vztahu k předpokládané době životnosti a výdajům spojenými udržením, případně obnovou provozu.

Proč toto tvrzení, odpověď je prostá, pokud je úloha založena na monokriteriálním rozhodování maximalizace ekonomické efektivnosti, pak investice kapitálu k dosažení návratnosti bez zisku není za standardních podmínek smysluplná.

Sestavení přípustných variant řešení je založena víceméně na brainstormingu a následné selekci s reálně dosažitelnými systémy, u kterých lze následně spočítat ukazatele ekonomické efektivnosti, což samo o sobě ještě nedá optimální variantu, pokud samozřejmě nerozhodujeme monokriteriálně.

Multikriteriální rozhodování umožňuje vyhnout se problematice přílišné trivializace a přímé agregace hledisek, tedy zanedbání „méně důležitých“ hledisek. Půsábně řešení takovéto úlohy je náročnější a umožňuje většímu vstupu subjektivity.

Aby bylo možné užít sofistikovanějších metod vícekriteriálního rozhodování, je nezbytné si definovat váhy kritérií, k tomuto účelu je nejjednodušší užití bodovací metody, respektive jejího speciálního případu metody Z pořadí důležitosti kritérií.

Kritéria se seřadí od nejméně důležitého ($b_k = 1$) po nejdůležitější. K získání vah jednotlivých kritérií se využije znormování bodů přiřazených dle pořadí důležitosti, dle vztahu:

$$v_k = \frac{b_k}{\sum_{k=1}^m b_k}, \quad (18)$$

kde v_k [-] je váha k – tého kritéria, b_k [-] je hodnota pořadové funkce, respektive přiřazený počet bodů k – tému kritériu.

K samotnému určení optimální varianty řešení lze využít metodu globálního kritéria, založenou na maximalizaci váženého součtu hodnot kritérií, pak:

$$\max_i \sum_{j=1}^m v_j f_{i,j} \quad (19)$$

přičemž v_j [-] je váha j – tého kritéria, $f_{i,j}$ [-] je normovaná hodnota j – tého kritéria i – té varianty. V případě této metody je nutné si uvědomit, že předpokládá kritéria stejného typu, tedy maximalizačního. Proto je nezbytné provést u některých kvantitativních kritérií převod z minimalizace na maximalizaci podle vztahu:

$$f'(x_i) = \max_j f(x_j) + \min_j f(x_j) - f(x_i), \quad (20)$$

kdy $f'(x_i)$ je hodnota kvantitativního upraveného maximalizačního i – tého kritéria, $f(x_i)$ je původní minimalizační hodnota kvantitativního i – tého kritéria.

Pro znormování kvantitativních hodnot se užije vztah:

$$f_{(x_i)}^{norm, kvant} = \frac{f(x_i) - \min_j f(x_j)}{\max_j f(x_j) - \min_j f(x_j)}, \quad (21)$$

kde $f(x_i)$ je hodnota kvantitativního maximalizačního i – tého kritéria, $f^{norm, kvant}(x_i)$ je normovaná hodnota kvantitativního maximalizačního i – tého kritéria.

Znormování kvalitativních hodnot se provede analogickým způsobem dle vztahu:

$$f_{(x_i)}^{norm, kval} = \frac{f(x_i) - f_{min}}{f_{max} - f_{min}}, \quad (22)$$

přičemž $f^{norm, kval}(x_i)$ je normovaná hodnota kvalitativního maximalizačního i – tého kritéria, f_{min} respektive f_{max} jsou maxima a minima na kvalitativní stupnici.

6. Způsob sestavení variant možných řešení

Komplexnost úlohy značně komplikuje snadnou identifikaci dosažitelných úspor, některých investic a vyvození závěrů k přijetí nebo zamítnutí opatření. Problematika je primárně určena závislostí mezi jednotlivými druhy opatření, které jsou dány jednak přímou nebo nepřímou vazbou, jež se může projevit například v podobě úspor z rozsahu zemních prací.

Je důležité si v počátku ukotvit stanoviska z projektové dokumentace a pevně daných preferencí zadavatele, která mohou vylučovat analýzu určitých dílčích opatření. PD řeší rekonstrukci tak, aby byla reminiscencí původní architektury, zde je jasná preference estetiky před dílčí úsporou, viz zamítnutí FV elektrárny. Objekt bude vybaven domácí čistírnou odpadních vod.

Samozřejmě vzniká otázka, proč varianty nehodnotit přímo uzavřenou kompozicí? Důvod je prostý, chceme minimalizovat vnitřní variabilitu systému, tj. prevencí vzniku situace zbytečného finančního dotování jednoho systému na úkor druhého je maximální možná dekompozice celé varianty zvolených systémů. Druhotně jde i o ulehčení výpočtu matice řešení při multikriteriálním rozhodování.

Tímto způsobem je možné získat představu o samostatném stavu systému a pak hodnotit jeho zlepšení ve zvolené variantě, například snížením výdajů na výkop vlivem úspory z rozsahu, jelikož nevyužitá příležitost je vlastně také ztráta.

Před kompozicí finálních možných variant řešení v rámci optimalizace rodinného domu v Lojovicích je vhodné ekonomické zhodnocení jednotlivých systémů, pokud je to možné, a stanovení jejich stability vůči externím vstupům, jinými slovy provedení citlivostní analýzy pro možné meziroční eskalace.

V rámci optimalizace RD je provedeno zhodnocení managementu srážkových vod, které sice nejsou přímo spjaté s energetickou úsporou v RD, ale pokud již zadavatel stavby svými myšlenkami cílí na optimalizaci náročnosti provozu a celkového snížení dopadů na životní prostředí, je zhodnocení těchto možností na místě.

7. Dosažené výsledky a citlivostní analýza

Podívejme se nyní na opatření nejméně závislá na ostatních, budou to zejména systémy vztahující se k využití zemního vzdušného výměníku, způsobům extrakce energie ze země pro tepelné čerpadlo země – voda, stanovení tepelných ztrát a zateplení, instalaci centrální jednotky rekuperátoru tepla odpadních vod a využití srážkových, případně šedých vod.

7.1. Zateplení objektu

7.1.1. Stanovení tepelných ztrát objektu

Existuje řada výpočetních programů cílených na stanovení tepelných ztrát objektu, od volně dostupných na webových portálech, po sofistikované a implementované do projekčních programů. V této práci jsou tepelné ztráty RD Lojovice stanoveny pomocí programu ENERGIE 2019 EDU [26], volně dostupná verze pro edukační účely, lišící se omezeními počtu zón a konstrukcí, které jsou pro projekt RD Lojovice hraniční.

Program ve výpočtu tepelných zisků a ztrát pracuje komplexně i s tepelnými zisky přítomných osob, provozu zařízení a osvětlení objektu. Výhodné je využití integrované funkce, kdy program umí přímo zohlednit tepelné zisky z odpadní vody ve výpočtu pro jednotlivé konfigurace.

Jednotlivé dílčí vstupy nejsou předmětem této práce, a proto jsou uvedeny pouze v modelech, jež tvoří elektronickou přílohu této práce.

U rekonstrukcí rodinných domů, v širším spektru objektů, stojících na kamenných základech nemá význam navrhnout a posuzovat stav dosažení pasivního standardu. Důvodů existuje celá řada, primárně je zde zásadní otázka návrhu omezení tepelných ztrát na dosažení pasivního standardu, a jejich skutečné provedení v kontrastu případného odstranění objektu a vystavění jeho repliky, neboť rekonstrukce mohou být velmi nákladné v závislosti na skutečném stavu budovy.

Celkově je dobrá otázka, jak moc omezit tepelné ztráty. V případě rekonstrukce objektu ze smíšeného kamenného a cihelného zdiva nemá význam smýšlet nad pasivním standardem, lépe směřovat na základě maximalizace dosažitelné míry finanční dotace pro investora.

7.2. Stanovení tloušťky tepelné izolace konstrukcí

Jak již bylo v popisu RD zmíněno, projektová dokumentace cílí tloušťky tepelné izolace na normové požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U_N . V kapitole motivačních nástrojů, Nová zelená úsporám, je uvedena vyšší finanční dotace při dosažení doporučených hodnot součinitele prostupu tepla U_{rec} , stanovme si teda tloušťku tepelné izolace tak, aby byl splněn požadavek na součinitele U_{rec} pro jednotlivé složené konstrukce.

Nuance mezi volbou typu materiálu zateplení objektu zde bude vynechána, neboť se předpokládají zanedbatelné rozdíly v tepelných ztrátách objektu, které se velmi dobře mohou rozptýlit ve způsobu provozu objektu a dlouhodobým klimatickým výkyvům. Jistě by bylo možné namítnout cenu materiálu za m^2 , zde je nutné podotknout, že cena materiálu se odvíjí od nakupujícího a vstupuje do celkové ceny nejvíc variabilní položka, kterou je cena za provedení práce.

Pro další výpočet se bude respektovat užití tepelné izolace z minerální vaty s kolmými vlákny a XPS pro zateplení soklů a imitace členění fasády, na základě technologické preference.

konstrukce	PD			doporučené U_{rec}		
	U_N [Wm ⁻² K ⁻¹]	izolace [mm]	U [Wm ⁻² K ⁻¹]	U_{rec} [Wm ⁻² K ⁻¹]	izolace [mm]	U [Wm ⁻² K ⁻¹]
kamenná zeď 1.NP	0,300	140	0,262	0,250	180	0,211
smíšená stěna 2.NP	0,300	140	0,261	0,250	180	0,210
kamenná zeď terén	0,450	75	0,431	0,300	120	0,288
podlaha 1.NP	0,450	80	0,233	0,300	120	0,184
střešní konstrukce mezi krokvemi	0,240	200	0,172	0,160	240	0,145
nová stěna výminku	0,300	140	0,204	0,250	180	0,172

Tab. 8: Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla programem ENERGIE [26] jednotlivých skladeb konstrukcí v rodinném domě

V uvedené tabulce vidíme v části PD vypočtené součinitele prostupu tepla vypočtené v programu ENERGIE pro jednotlivé skladby konstrukcí s navrženou tloušťkou tepelné izolace tak, jak je uvedena v projektové dokumentaci.

Podíváme – li se pozorně, je již v návrhu tloušťky izolace nové stěny výminku z projektové dokumentace je splněna úroveň U_{rec} . Důvodem zesílení izolace je splnění požadavku na poměr průměrného součinitele prostupu tepla pro splnění kritéria pro získání finanční dotace z NZÚ, viz Tab. 2, a estetičnost. Pokud nová svislá nosná stěna lícuje se stávající stěnou, je potřeba mít vnější hranu izolace srovnanou pro finální úpravu.

U výplní svislých konstrukcí je problematika jednodušší, program sice umí počítat tepelné ztráty jednotlivých výplní na základě parametrů, avšak ty se mění dle požadavku na součinitel prostupu tepla dle konkrétního, v podstatě zakázkového, produktu.

Lze se tedy omezit pouze na splnění kritérií na výplně svislých konstrukcí, kdy $U_N = 1,5$ a $U_{rec} = 1,2$ [Wm⁻²K⁻¹] pro výplně otvorů ve svislé konstrukci kromě dveří, $U_N = 1,7$ a $U_{rec} = 1,2$ Wm⁻²K⁻¹ pro dveřní výplně z vytápěného prostoru do nevytápěného. [22]

Stanovme si zbylé parametry charakterizující objekt z hlediska energetické náročnosti tak, aby bylo možné již jasně identifikovat dosažitelnou míru finanční podpory z programu NZÚ pro stanovení porovnatelných variant finálního řešení projektu RD.

sledovaný parametr		původní stav		PD		A.3	
EA	orientační tepelná ztráta budovy	48 550	W	10 870	W	7 270	W
	měrná roční potřeba tepla na vytápění	486	kWh/m ² r	96	kWh/m ² r	60	kWh/m ² r
U _{em}	průměrný součinitel prostupu tepla obálkou	1,88	Wm ⁻² K ⁻¹	0,320	Wm ⁻² K ⁻¹	0,280	Wm ⁻² K ⁻¹
	celková roční potřeba tepla na vytápění	151 397	kWh	29 936	kWh	18 689	kWh
Q _{fuel}	dodaná energie ohřev teplé vody	3 560	kWh/r	3 204	kWh/r	3 204	kWh/r
	dodaná energie na vytápění budovy	207 678	kWh/r	36 081	kWh/r	23 073	kWh/r
EP,A	celková dodaná energie	212 211	kWh/r	41 135	kWh/r	27 552	kWh/r
	měrná dodaná energie budovy	681	kWh/m ² r	132	kWh/m ² r	88	kWh/m ² r
U _{em,R}	Snížení vypočtené měrné roční potřeby tepla na vytápění EA oproti stavu před realizací opatření	-	-	80,25%	-	87,65%	-
	opravený na dotace	-	-	0,329	Wm ⁻² K ⁻¹	0,290	Wm ⁻² K ⁻¹

Tab. 9: Odhad parametrů pro identifikaci splnění podoblastí A z programu NZÚ

Porovnáme – li nyní podmínky dotace z podoblasti A s dosaženými hodnotami sledovaných parametrů stanovených programem ENERGIE [26], lze konstatovat, že realizace zateplení obálky budovy dle projektové dokumentace splňuje kritéria pro získání finanční dotace z podoblasti A.2. Zcela analogicky platí pro úroveň A.3, zde ve výpočtech je již zohledněn systém nuceného větrání se zpětným získáním odpadního tepla, na kterou byla navržena tloušťka tepelné izolace tak, aby splnila doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla, a maximalizovala dosažitelnou výši podpory z programu.

V obou případech se předpokládá volba výplní prostupů konstrukcí se součinitelem prostupu tepla maximálně 1,2 Wm⁻²K⁻¹.

7.2.1. Stanovení výdajů se zateplením obvodového pláště

Zde je myšleno stanovení odhadu částky potřebné pro zateplení objektu na požadovanou úroveň, tj. A2 dle NZÚ, které odpovídá návrhu projektové dokumentace, respektive v druhé možnosti zateplení na doporučené hodnoty A3 dle NZÚ. Důvod je cílení investora na získání maximální možné výše finanční podpory z dotačního programu.

Pokud nejsou k dispozici konkrétní nabídky stavebních firem, lze provést odhad pomocí dostupných online kalkulačků výrobců jednotlivých systémů. Zde byl využit kalkulačků od Weber, Saint – Gobain [27], ze kterého lze stanovit cenu jednotlivých standardních systémových vrstev počínající penetrací podkladní svislé konstrukce, po finální povrchovou úpravu. Materiál zateplení byl volen s ohledem na certifikáty a vylučující podmínky NZÚ.

Analogicky byly stanoveny výdaje spojené se zateplení střešní konstrukce, zde byl použit online kalkulátor od DEK [28] jak pro stanovení ceny krytiny, tak zateplení pro jednotlivé úrovně. Stanovené výdaje jsou spojeny se zateplením, nikoliv s kompletní výměnou krovu, jak zamýšlí PD, což by provedený cenový odhad ještě navýšilo.

Ceny prostupů konstrukcí, tj. okna, dveře, poskytl přímo investor. Odhad výdajů spojených s realizací podlahy dle PD byl proveden manuálně přes plochu podlahy na terénu a cen jednotlivých skladeb v [Kč m⁻²].

U všech případů byla zanedbána cena práce, stejně jako další práce, které jsou spojeny s celkovou rekonstrukcí, ale nejsou přímo navázány na finanční dotaci z NZÚ. Lépe řečeno, cena montáže tepelné izolace o větší tloušťce vyvolá, jak plyne z charakteru činnosti, zanedbatelný rozdíl.

Ve výsledku je zajímavý rozdíl ve výdajích od dosažení požadované úrovně (zateplení dle PD) ke splnění doporučené úrovně (A3), a jeho vliv na dlouhodobý provoz vytápění RD. Vzhledem k velikosti nově vystavěného výminku, by efekt volby jiného druhu svislé konstrukce neměl až tak velký vliv na NPV, naopak by mohly vzniknout technologické problémy, proto je lepší v tuto chvíli považovat skutečnost volby druhu a výrobce zdiva za fakt.

Při řešení otázky realizace stavebních projektů je důležité mít na paměti, že nejvyšší finanční úspory lze docílit realizací v podobě vlastní pracovní kapacity. Projekty vztažené na rekonstrukce nebo opravy v sobě skrývají mnoho technologických otázek do doby skutečného odhalení stavu konstrukcí a jejich provedení oproti očekávání.

K dosažení tíženého výsledku provedeného stavební firmou je nutný odborný dozor, neboť odchýlení se od projektu, technologického postupu systémů, materiálů má za následek snížení kvality díly a nemusí být minimálně naplněna očekávání dle projektu, naopak mohou vzniknout stavy přímo poškozující objekt nebo prostředí, případně pohodu rezidentů.

Výpočty však neuvažují náklady spojené s vypracováním odborných posudků a vedení stavby, včetně získatelných dotací. Toto zanedbání nemá přímo negativní důsledek, neboť vstupuje do všech variant konstantně a jedná se vůči vstupním investicím o zanedbatelnou částku.

7.3. Energie země

7.3.1. Využití energie země tepelným čerpadlem země – voda

V této podkapitole bude provedeno vzájemné porovnání vytápění RD tepelným čerpadlem země – voda s připojeným okruhem buď na horizontální kolektor, energetický koš nebo vrt s a bez uvážení dosažitelné dotace. Z podstaty podmínky systému nuceného větrání se ZZT pro úroveň zateplení A3 musí být tento dílčí úsporný systém zohledněn i při výpočtu vytápění.

cena elektrické energie	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
efektivnost	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
kolektor PD	-1 062 387	-	-1 315 708	-	-1 321 080	-	-1 783 964	-
kolektor A3	-1 079 443	-	-1 248 885	-	-1 267 745	-	-1 577 359	-
koš PD	-1 120 657	-	-1 373 978	-	-1 379 350	-	-1 842 233	-
koš A3	-1 154 985	-	-1 324 427	-	-1 343 287	-	-1 697 668	-
sondy PD	-976 092	-	-1 229 413	-	-1 234 785	-	-1 551 197	-
sondy A3	-1 015 430	-	-1 184 871	-	-1 201 583	-	-1 524 969	-
kolektor PD - dotace	-962 387	-	-1 215 708	-	-1 221 080	-	-1 683 964	-
kolektor A3 - dotace	-879 443	-	-1 048 885	-	-1 067 745	-	-1 377 359	-
koš PD - dotace	-1 020 657	-	-1 273 978	-	-1 279 350	-	-1 742 233	-
koš A3 - dotace	-954 985	-	-1 124 427	-	-1 143 287	-	-1 452 901	-
sondy PD - dotace	-876 092	-	-1 129 413	-	-1 134 785	-	-1 597 668	-
sondy A3 - dotace	-815 430	-	-984 871	-	-1 001 583	-	-1 311 197	-

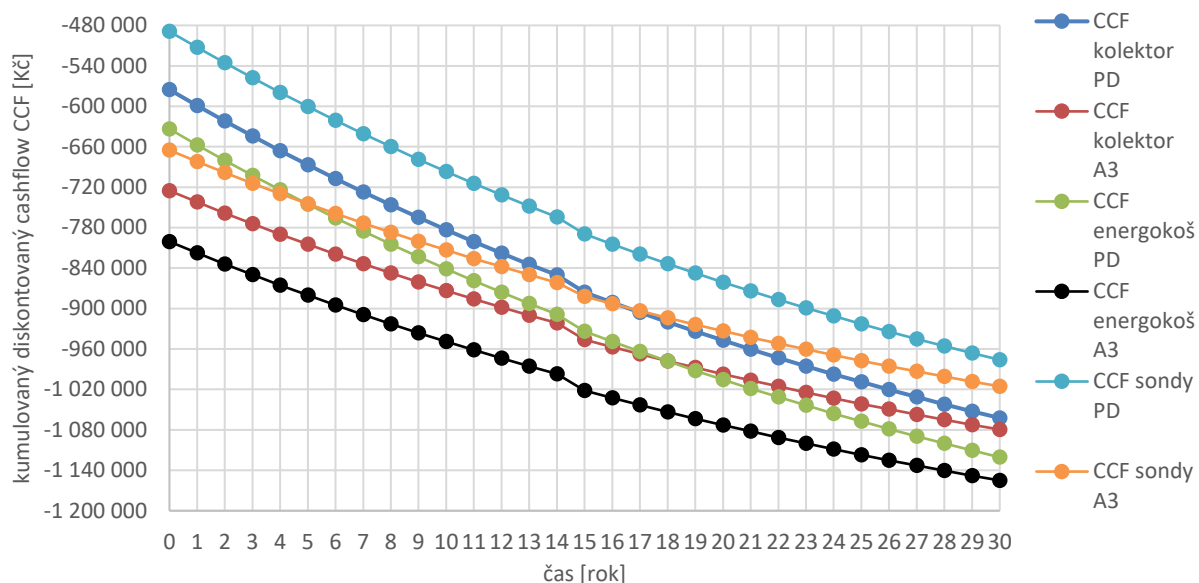
Tab. 10: Výsledky ekonomické efektivnosti NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny elektrické energie a diskontu systému odběru tepla ze země bez zohlednění nákladů na obnovu provozu nebo likvidaci

IRR v případě vytápění, obecně ryze záporných NPV nemá význam již z definice. Zásadnější otázka je životnost tepelných čerpadel země – voda, jelikož v případě kolektorů se životnost pohybuje na úrovni až 100 let.

Posuzovaný horizont životnosti TČ země – voda je 30 let, jedná se o odborný odhad, jelikož výrobce tuto informaci neposkytuje a každý z autorizovaných dodavatelů hovoří o velmi spolehlivém zařízení a vzhledem ke stáří celého konceptu tepelných čerpadel, jejich uvedení na trh, by toto tvrzení dobře korespondovalo s tímto zvoleným horizontem.

Z citlivostní analýzy plyne, že způsob odběru poměrně stabilní energie země pro tepelné čerpadlo země – voda je nejvhodnější, v případě RD Lojovice, v podobě vrtů. Důvodem je realizace pouze 1 – 2 vrtů do skály, to díky vysoké extrakční kapacitě (odběrovému výkonu), jež ve spojení s relativně levným provedením skalních vrtů jasně dominuje. Na druhou stranu, podíváme – li se na NPV všech variant pro vstupní parametry diskontu a eskalace ceny energie 0 %, není zas tak zásadní rozdíl, tj. mezi nejlepší a nejhorší variantou je necelých 100 000 Kč a jak již víme z nastavení trhu, nabídky jednotlivých dodavatelů se mohou mezi sebou velmi lišit, a proto je potřeba mít na paměti, že v určité reálné situaci by mohla vyjít lépe jiná varianta, než jak plyne z těchto odhadů.

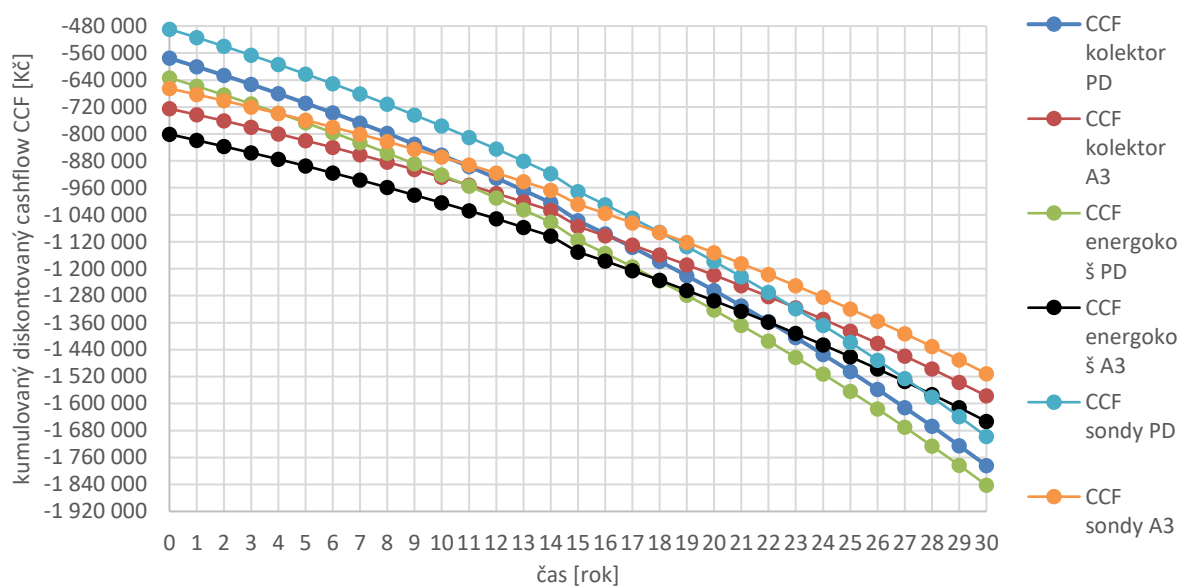
Samozřejmě, cenové odhady byly sestaveny z dílčích cenových nabídek a odhadu ceny zemních prací dle URS, opraveného na zisk 10 % a DPH 21 %. Zevrubně se ke stanovení odhadu za provedení zemních prací může použít odhad 500 Kč bez DPH, což je vyšší, než je odhad vypočtený dle URS, avšak někdy praktičtější. Současně se cena mění se vzdáleností poskytovatele zemních prací a skutečnému složení zeminy, která byla odhadnuta. Ve všech případech není zohledněna práce spojená s montáží, ovšem její zanedbání nezbytně nevytváří zavádějící výsledky, neboť z hlediska objemů je považována pro všechny případy ekvivalentní, tj. jednalo by se pouze o zvýšení výdaje konstantou.



Obr. 18: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie využití energie země

Nicméně, ze způsobů využití poměrně stabilního tepla země tepelným čerpadlem země – voda se bude dále pracovat pouze s vrty, které jsou v tuto chvíli nejlevnější, a v případě nárůstu ceny zemních prací bude jejich volba ještě více utvrzující.

Tímto nelze říci, že ostatní varianty jsou zavržení hodné, otázka je primárně založena spíše na preferenci a dané situace. Horizontální plošný kolektor je nejlépe využitelný v případech, kdy jsou zemní práce provedeny v rámci realizace samotného projektu, respektive do vykopané jámy například pro nový objekt nebo jeho dostavbu je uložen horizontální kolektor, a na něm dále pokračuje samotná výstavba, případně jiná variace typu energetická deska, energetické piloty, pasy atd.



Obr. 19: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země

V případě košů je vhodnější nakoupit vedení kolektoru a na stavbě je přímo vyrobit, například vyplněním kolem armatury, případně jiného prvku, ze kterého lze dočasně vyrobit formu pro vyplnění koše. Vyplněním vlastních košů lze reálně snížit investici na 1/3, což by při nákupní ceně cca 17 000 Kč s DPH za kus, pro RD je potřeba 6 – 8 košů, je zcela zásadní zásah do pořizovacích výdajů. Funkce koše tímto způsobem zůstane zachována, ale dojde ke snížení jeho vstupní investice, a opět analogie horizontálnímu kolektoru, optimální je využít stávajících výkopů nebo je alespoň integrovat na úspory z rozsahu. Koše jsou vhodné při omezeních využitelné plochy a vysoké ceně provedení vrtů spojených s písčitou zemínou.

V neposlední řadě, životnost potrubí kolektoru, sondy RAUEGO je až 100 let [9], v závislosti na provozním tlaku a teplotě, avšak trendy se mění a za 100 let dojde spíše ke kompletnímu odstranění stavby, v horizontu 60ti let je pravděpodobné zachování stávajícího provozu maximálně s výměnou teplotního média a tepelného čerpadla. Pro všechny případy je nutné si stanovit cenu likvidace systému, jeho částí.

Další grafické výstupy z citlivostní analýzy jsou součástí přílohy této diplomové práce.

	diskontované (3 % 60 rok)		diskontované (3 % 30 rok)		investice (0 % 0 rok)	
	obnova [Kč]	likvidace [Kč]	obnova [Kč]	likvidace [Kč]	obnova [Kč]	likvidace [Kč]
kolektor PD		35 389		85 899		208 499
kolektor A3		24 761		60 101		145 880
koš PD	47 873	24 445	116 201	59 335	282 051	144 022
koš A3		20 067		48 709		118 230
sondy PD		1 695		4 115		9 988
sonda A3		1 034		2 511		6 094

Tab. 11: Výdaje spojené s likvidací po ukončení provozu systému využití energie země, případně očekávané výdaje na obnovu (pokračování) stávajícího provozu v jednotlivých zlomových letech

Nejnižší částka za likvidaci vychází na sondy jelikož v tuto chvíli není možný racionální a ekonomicky efektivní způsob likvidace v podstatě injektovaných mikropilot, proto se potrubí pouze zkrátí a zaslepí, část sond je ve vrtu ponechána přirozenému rozkladu.

7.3.2. Vzdušný zemní výměník

Existuje řada názorů na instalaci a provoz vzdušného výměníků, nejčastější otázkou je způsob provádění údržby potrubí výměníku. Dle návodu výrobce se provádí kontrola filtrů a jejich případná výměna každé 3 měsíce, kontrola průchodu vzduchu a přístupných rozvodů s případným čištěním ročně. [12]

Jinými slovy základní údržba je ekvivalentní s provozem rekuperační jednotky s nuceným větráním. Jediná problematika nastává s případným čištěním potrubí, jež se může pohybovat kolem 200 Kč s DPH za metr čištění, pokud provozovatel neprovede sám ekvivalentní čištění potrubí například tlakovým proplachem. Nutno podotknout, že čištění potrubí VZT je zhruba stejně náročné ve chvíli, kdy je potrubí skryto v podhledu a disponuje nedostatkem poměrně dobře přístupných míst. Současná praxe ukazuje, že není pravidelně prováděno čištění rozvodů VZT.

V případě realizace vzdušného výměníku u RD lze dosáhnout nejvyšší míry úspory z chlazení v horkých letních měsících. Program ENERGIE pracuje s průměrnými teplotami v oblasti, které jsou poměrně nízké, a naopak vyžadují spíše přitápění v objektu, současně studentská verze programu zohledňuje manuální zvýšení průměrné teploty pouze u dvou měsíců, v rámci citlivostní analýzy je možné extrapolovat potřebu na chlazení pro další dva horké měsíce a zdvojnásobit tak původní úsporu.

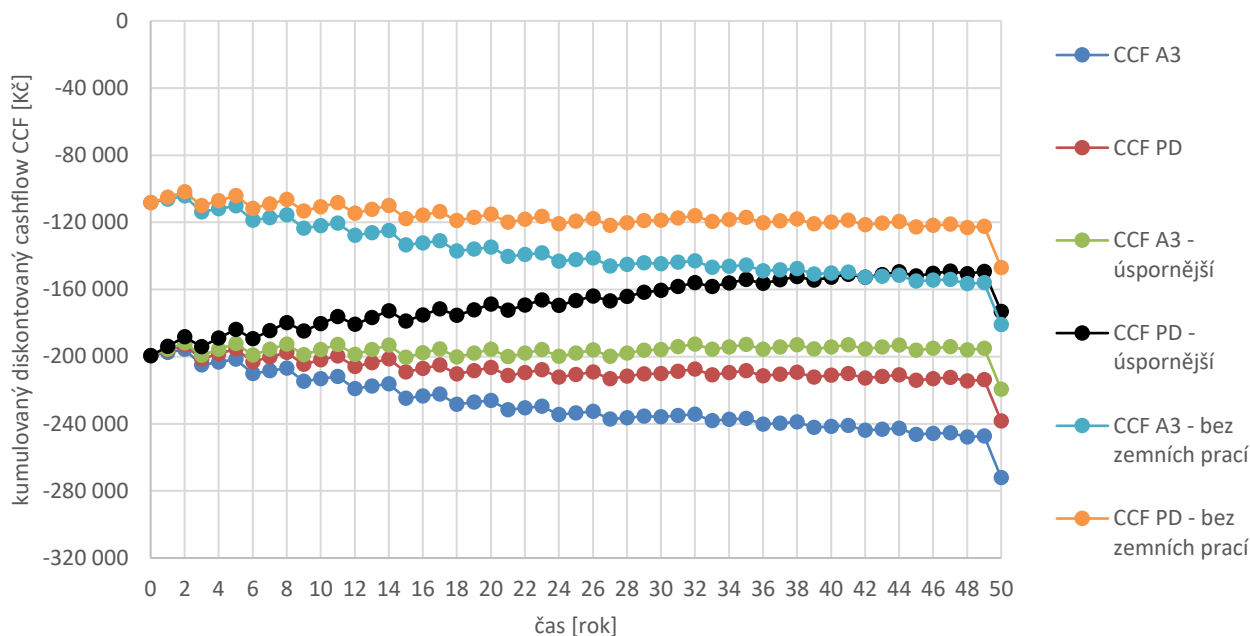
Jelikož se jedná o potrubí z PP, lze předpokládat dlouhou dobu životnosti, možná i více než 50 let, výrobce toto nespecifikuje. Byť se jedná o systém, ve kterém se nemůže příliš částí samovolně poškodit, je na místě vyvozovat skeptické závěry z hlediska chování antimikrobiální úpravy. Z tohoto důvodu si životnost dovolím odborně upravit na horizont 30ti let.

Z reálné praxe a přístupu si dovolím opravit četnost provedení čištění potrubí externím dodavatelem na každý třetí rok. V následující tabulce jsou dosažené výsledky ukazatele ekonomické efektivity NPV pro úroveň zateplení PD a A3, se zohledněním 2× zvýšení úspory chlazením, označeny „úspornější“, a bez zohlednění zemních prací vyjma pískového lože.

cena elektrické energie	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
efektivnost	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
PD	-210 153	-	-171 450	-	-216 003	-	-145 284	-
A3	-235 965	-	-210 957	-	-255 511	-	-209 816	-
PD - úspornější	-160 554	-	-95 536	-	-140 089	-	-21 283	-
A3 - úspornější	-195 836	-	-149 537	-	-194 091	-	-109 491	-
PD - bez zemních prací	-118 833	-	-80 130	-	-124 684	-	-53 964	-
A3 - bez zemních prací	-144 645	-	-119 637	-	-164 191	-	-118 496	-

Tab. 12: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu vzdušného zemního výměníku pro hodnocené období 30ti let

Z citlivostní analýzy realizace systému vzdušného výměníku plyne, že jeho úspora nepokryje ani jeho počáteční investici na horizontu 30ti let, tudíž nemá význam ho realizovat, nutno podotknout, že v hodnocení není zohledněna likvidace, která by diskontována k 30. roku činila 45 716 Kč s DPH.



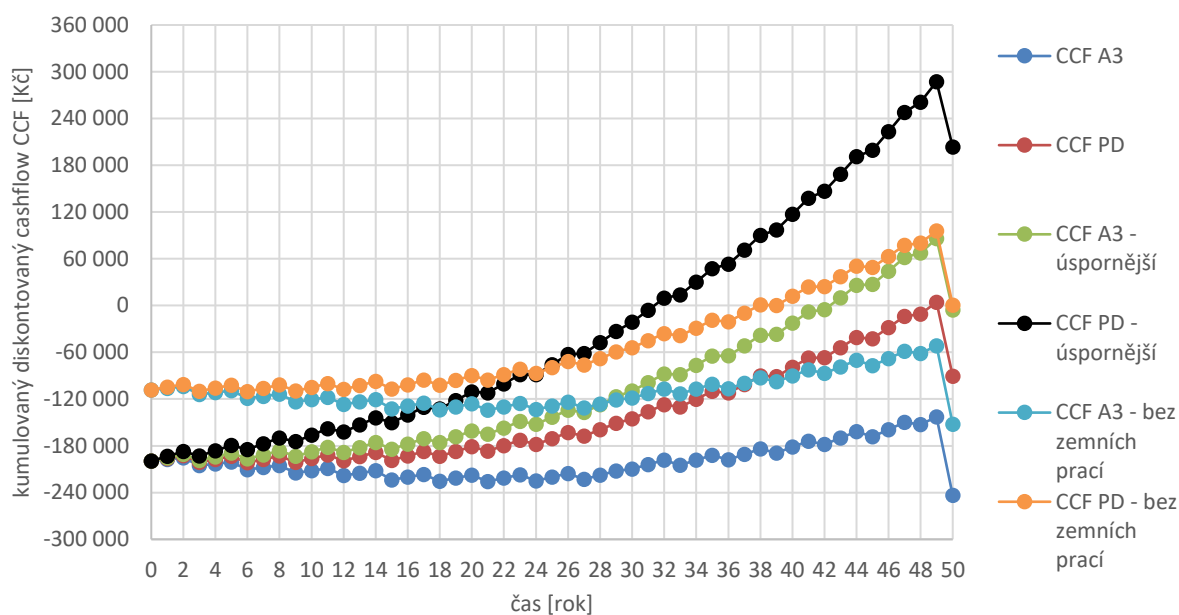
Obr. 20: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let

Nicméně, výše se hovořilo o odhadu provozu výměníku po dobu 50ti let, provedme výpočet NPV pro časový horizont předpokládané doby životnosti, dosažené výsledky viz následující tabulka.

cena elektrické energie	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
efektivnost	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
PD	-243 407	-	-153 083	-	-349 271	-	-102 974	-
A3	-277 291	-	-218 929	-	-415 116	-	-255 974	-
PD - úspornější	-178 298	-	-26 559	-	-222 747	-	191 019	-
A3 - úspornější	-224 613	-	-116 562	-	-312 749	-	-18 113	-
PD - bez zemních prací	-152 087	-	-61 764	-	-257 951	-	-11 654	-
A3 - bez zemních prací	-185 971	-	-127 609	-	-323 796	-	-164 654	-

Tab. 13: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu vzdušného zemního výměníku pro hodnocené období 50ti let včetně výdajů likvidace po skončení životnosti

Z výsledků pro celou předpokládanou dobu životnosti plyne, že systém má cenu realizovat pouze v případě, kdy by byl objekt silně přehříván v průběhu roku, a zároveň by se předpokládal intenzivní nárůst ceny elektrické energie, respektive cena kWh je v 50. roce 4,38× vyšší než v roce 0.



Obr. 21: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let

Vzhledem k nepříliš příznivým výsledkům z citlivostní analýzy se pro projekt RD Lojovice systém chlazení/ohřívání přiváděného čerstvého vzduchu zemním výměníkem nedoporučuje. Současně se jedná o objekt postavený na skále, který je z větší části kamenný a na pozemku se nachází řada stromů stínících objekt proti přehřátí, také zde není mnoho ploch, které by kumulovaly energii dopadajících slunečních paprsků, jež by následně v noci ohřívaly proudící vzduch.

Zemní výměník má určité své využití, zejména u průmyslových objektů, které nejsou stíněny, pouze trvale osluněny, kde nejsou travnaté plochy a hlavně stromy, které by ochlazovaly proudící vzduch.

Existuje řada názorů, že nelze zemní výměník přímo připojit na systém ZZT nebo tepelné čerpadlo vzduch – voda. Zde platí doporučení individuálního posouzení, neboť nerespektování podmínek výrobce stejně skutečných podmínek objektu je silně zavádějící.

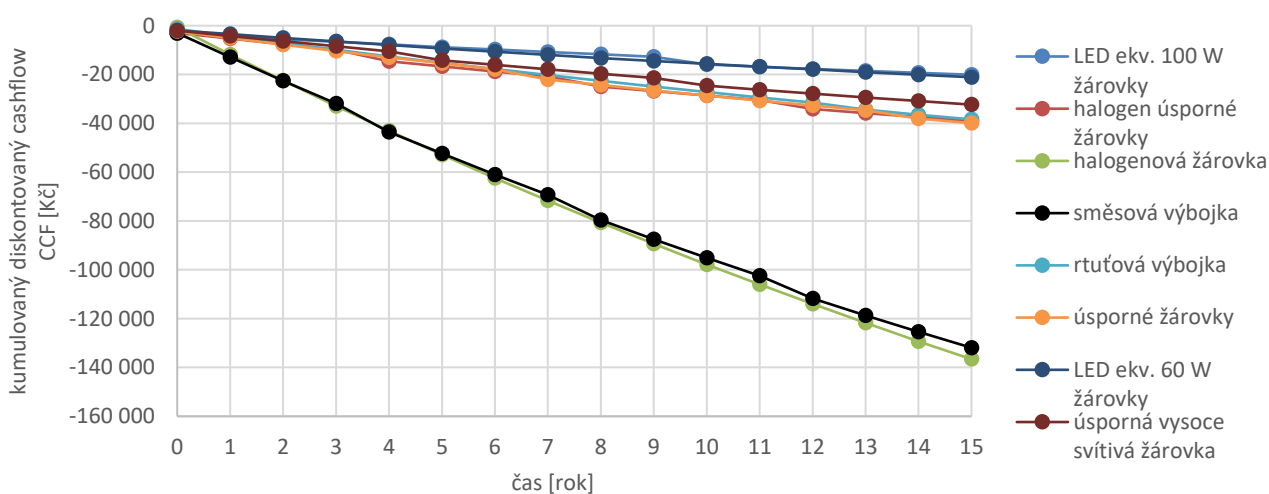
Též je zde nutné mít na paměti, že vzduch přiváděný do těchto systémů ze střešních ploch trvale osluněných konstrukcí je extrémní, a v případě nuceného větrání se ZZT je 90 % účinnost optimistická. Za takovýchto podmínek nabývá zemní vzdušný výměník smysl, protože jej lze v rámci realizace uložit pod objekt, nebo část objektu a uspořit tak cenu zemních prací a efektivně si chladit/ohřívát přiváděný vzduch.

7.4. Umělé osvětlení v rodinném domě

Umělé osvětlení není paušálně v rodinných domech řešeno, pokud by však byl tento požadavek nad rámec zadán, lze při konkrétním návrhu vyjít z kodexu ČSN, případně z hygienických doporučení, nicméně je důležité si uvědomit, že do druhu, velikosti, počtu a rozmístění svítidel vstupuje sám investor dle svých osobních preferencí, jež se v průběhu realizace projektu mění, a projekt je dle nich v maximálně možném rozsahu upravován.

Posouzení nejlepšího způsobu umělého osvětlení by vyžadovalo konkrétní návrh statických svítidel a provedení analýzy dostupných svítidel na trhu, jejichž vlastnosti se liší dle výrobce, výkonu, druhu, také se nesmí zapomenout na úhel světelného toku, který se mezi svítidly může lišit. V případě volby osvětlení v RD Lojovice se omezíme pouze na obecné doporučení, vycházející ze zásadních zjednodušení, druhu použitých žárovek z hlediska provozu, tj. jedná – li se o LED, halogenovou, halogen úspornou, úspornou žárovku, případně výbojku (rtuťová, směšová).

Program ENERGIE počítá potřebné množství energie na osvětlení, při zadání typu budovy RD z programu NZÚ, z průměrného požadavku na osvětlení v zóně rovné 90 lx, dále předpokládá měrný příkon osvětlení $0,05 \text{ Wm}^{-2}\text{lx}^{-1}$, s roční dobou provozu 900 h osvětlení během dne a 600 h v noci. [26]



Obr. 22: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel

Provedme velmi zjednodušený výpočet potřeby počtu žárovek pomocí fundamentálních vztahů. Řekněme, že průměrnou intenzitu osvětlení v RD zvýšíme proti odhadu z ENERGIE na 110 lx, pak součin průměru intenzity osvětlení [lx] a užité plochy RD [m^2] poskytne potřebný světelný tok [lm], který podělením světelného toku uvedeného výrobcem svítidla udá potřebný počet žárovek.

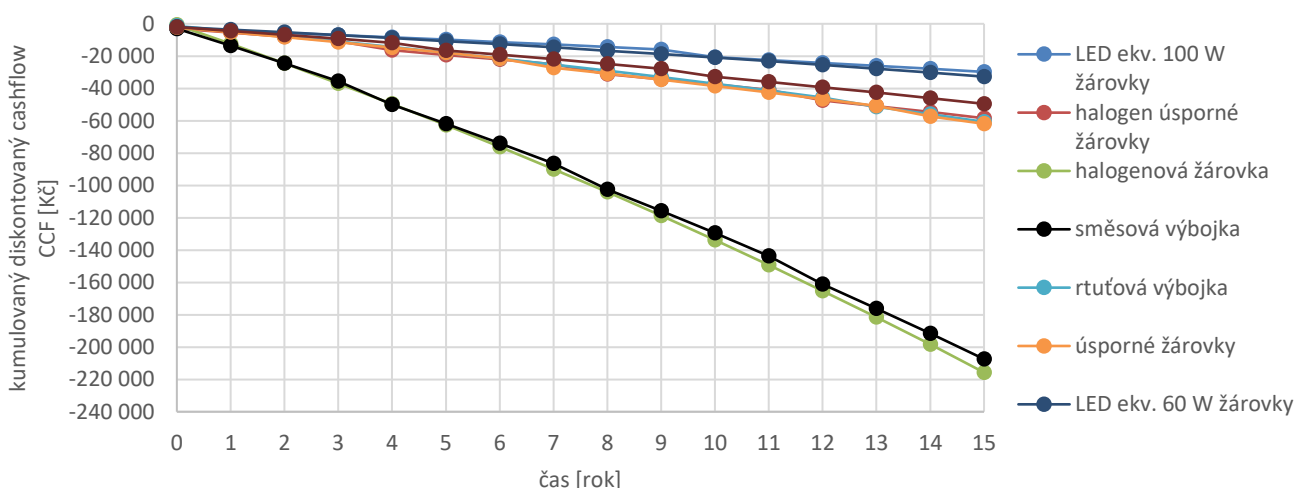
Je důležité si uvědomit, že toto je opravdu velmi hrubé zjednodušení problematiky optimalizace vnitřního umělého osvětlení nerespektující geometrii ani teplotu osvětlení, slouží čistě k hrubému porovnání a stanovení ekonomické efektivity s cílem volby varianty s maximálním NPV jakožto jediným hodnotícím kritériem.

Vypočtené ekonomické ukazatele v následující tabulce jsou tedy čistě vztažené k celkovému světelnému toku v objektu, bez respektování rozložení v místnosti, pokud bychom chtěli ukazatele více přiblížit skutečnému stavu, mohli bychom odhad počtu žárovek opravit do počtu alespoň jedné žárovky na místnost, což by vedlo k zásadnímu nárůstu vstupní investice u rtuťových výbojek a úsporných vysoce svítivých žárovek, v ostatních případech by změna nebyla až tak citelná.

cena elektrické energie efektivnost	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
	NPV [Kč]	RCF [Kč]	NPV [Kč]	RCF [Kč]	NPV [Kč]	RCF [Kč]	NPV [Kč]	RCF [Kč]
LED ekv. 100 W žárovky	-20 096	-1 594	-23 859	-1 805	-24 655	-1 540	-29 764	-1 762
halogen úsporné žárovky	-39 004	-3 226	-46 467	-3 412	-48 288	-3 170	-58 419	-3 359
halogenová žárovka	-136 587	-11 380	-169 202	-11 700	-171 434	-11 380	-215 711	-11 700
směšová výbojka	-131 917	-3 152	-163 144	-3 825	-165 013	-3 129	-207 405	-3 848
rtuťová výbojka	-38 372	-3 152	-47 641	-3 825	-48 065	-3 129	-60 649	-3 848
úsporné žárovky	-39 903	-3 237	-48 710	-3 593	-49 894	-3 198	-61 848	-3 564
LED ekv. 60 W žárovky	-21 098	-1 752	-26 014	-2 220	-26 014	-1 719	-32 689	-2 231
úsporná vysoce svítivá žárovka	-32 331	-2 708	-39 283	-2 917	-40 071	-2 671	-49 509	-2 884

Tab. 14: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé druhy žárovek, eskalaci ceny elektrické energie a diskontu provozu umělého vnitřního osvětlení v RD bez zohlednění likvidace vyřazených žárovek

Z hlediska dosažení pohody rezidentů v objektu je vhodné mít intenzitu osvětlení v takové míře, aby nebyla příliš silná nebo naopak aby v místnosti nebylo šero, což při ryzím užití žárovek s vysokou intenzitou světelného toku nemůže být kompenzováno, jako v případě nižšího toku kompenzovaného počtem žárovek.



Obr. 23: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel

Z dostupného druhu osvětlení lze doporučit žárovky, obecně osvětlení LED. Pro konkrétní volbu osvětlení v objektu je nutné poté zhodnotit i jednotlivé výkony (světelné toky) žárovek, případně i jiného druhu osvětlení, například LED pásků.

Likvidace po skončení se předpokládá odvozem do sběrného dvora, vzhledem k velikosti a počtu žárovek by bylo zbytečné zohledňovat náklady na uskladnění krabice s vyřazenými žárovkami ve stodole.

7.5. Rekuperace tepla odpadní (šedé) vody

V této práci byla uvažována centrální jednotka umístěná vně objektu pod úrovní terénu. Dodavatel poskytuje transport a instalaci jednotky zcela zdarma. Je na zvážení, zda – li je při instalaci rekuperátoru samostatně vhodné zajišťovat zemní práce dodavatelsky nebo svépomocí. Vzhledem k objemu výkopu cca 1 m³ je na první pohled zjevné, a tím i zcela zbytečné uvažovat o provedení samostatných zemních prací dodavatelsky. Mnohem vhodnější je systém rekuperace začlenit do celkového objemu prováděných zemních prací, kde bude znatelná úspora z rozsahu.

Vzhledem k výchozí premise budou vždy při rekonstrukci prováděny zemní práce, a proto lze zjednodušeně pracovat s odhadem poměrové částky stanovené z objemu z ceny zemních prací vyvolaných například při realizaci využití srážkové vody, či je dokonce přímo zanedbat, a současně lze vzít v úvahu, že objem výkopu se pohybuje na hranici celkové rozlišovací schopnosti, tj. na úrovni odchylky odhadu, neboť zemní práce jen pro využití srážkových vod se pohybují na úrovni cca 113 m³.

Největší otázkou v případě instalace rekuperátoru odpadního tepla z šedé vody je popis reálného stavu míry úspory z jeho využití. Dodavatel garantuje účinnost zařízení na úrovni 78,8 % [15]. Samozřejmě, pokud se odhad míry úspory stanoví z potřeby tepla na ohřev teplé vody získané z modelu v programu ENERGIE, ve kterém mimo jiné lze přímo zadat účinnost rekuperátoru, budou ukazatele ekonomické efektivity této investice vždy pozitivní a budou doporučovat její realizaci.

Ideálního výše popsaného stavu by však mohl dosáhnout například průmyslový objekt v provozu 24/7 nebo hotel, nejlépe u letiště, nikoliv však rodinný dům. Důvod je prostý, vzhledem ke kapacitě rekuperátoru a počtu osob v rodinném době, jejich setrvání v objektu, v prodlevě a celkové spotřebě teplé vody, lze dojít k závěru, že v rekuperátoru bude vždy zůstat starší voda. Z dat PVK a.s. [29] je pro rekuperátor využitelných asi 304 litrů za den pro 4 člennou rodinu, objem rekuperátoru je 370 l, současně běžný den v týdnu se využije část teplé vody ráno a pozdním odpolední.

Dodavatel zařízení garantuje tepelnou ztrátu 2 °C / 10 hodin [15], která je velmi dobrá, pokud nejsou v odběru vody velké prodlevy. Také nelze pracovat s okamžitou teplotou vody například po sprchování či praní prádla, z důvodu prostoju jsou okolní povrchy (vana, sprchový kout, potrubí) chladné, řekněme na úrovni pokojové teploty a jejich povrch je vzhledem k objemu vody poměrně velký, a proto musí nutně dojít k poměrně zásadnímu ochlazení.

Lze předpokládat, že reálně dosažitelná míra přehřevu vodovodu rekuperátorem u RD se bude pohybovat na teplotním ohřevu 10/20 °C, v rámci citlivostní analýzy bude zvážen ještě případ velmi pozitivního odhadu přehřevu vody 10/30 °C.

cena elektrické energie	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
výrobce	15 093	3,97%	90 586	7,28%	84 353	3,97%	222 299	7,28%
30/55	-58 121	-1,71%	-21 474	1,71%	-27 707	-1,71%	39 258	1,71%
20/55	-102 689	-10,97%	-89 688	-4,93%	-95 921	-10,97%	-72 165	-4,93%
výrobce - dotace	30 093	5,15%	105 586	8,49%	99 353	5,15%	237 299	8,49%
30/55 - dotace	-43 121	-0,86%	-6 474	2,57%	-12 707	-0,86%	54 258	2,57%
20/55 - dotace	-87 689	-10,11%	-74 688	-4,28%	-80 921	-10,11%	-57 165	-4,28%

Tab. 15: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy finanční dotace, eskalace ceny elektrické energie a diskontu rekuperace tepla šedých vod

Z výsledků je zřejmé, že stav přehřátí na 20 °C vody nemá význam realizovat a pro optimističtější variantu ohřevu dokonce na 30 °C vody vstupující do objektu je investice zisková se zohledněním meziroční eskalace ceny elektrické energie na úrovni 3 %, která v horizontu 30ti let násobí původní hodnotu cca 2,4×.

Z grafů je okamžitě jasné, že návratnost pro parametry výrobce je dosaženo při diskontu 3% a 0% eskalaci ceny energie cca v 25. roce, finanční dotace návratnost investice posouvá do 21. roku. Pro diskont 0 % a eskalaci ceny elektrické energie ročně o 3 % pak dle parametrů výrobce dosahuje návratnosti investice cca ve 12., respektive 15. roce bez dotace, návratnosti dosáhne též přehřev 30/55 °C v cca 22. a 25. bez finanční dotace z programu.

7.6. Využití srážkových vod a recyklace šedé vody

7.6.1. Využití srážkových vod

Srážkové vody lze primárně využít dvojitým způsobem, sběrem z odvodněných ploch do nádrže s využitím následně čistě k zálivce zahrady nebo kombinaci zálivky zahrady a splachování WC. [17]

Je na zváženu, zda – li v případě využití dešťové vody nezačlenit do systému i využití vody pro praní prádla a úklid. Tento koncept dotační program Dešťovka přímo nezmiňuje, avšak v části často kladených dotazů lze nalézt, že rozšíření původního systému není v rozporu s dotačním programem. [25]

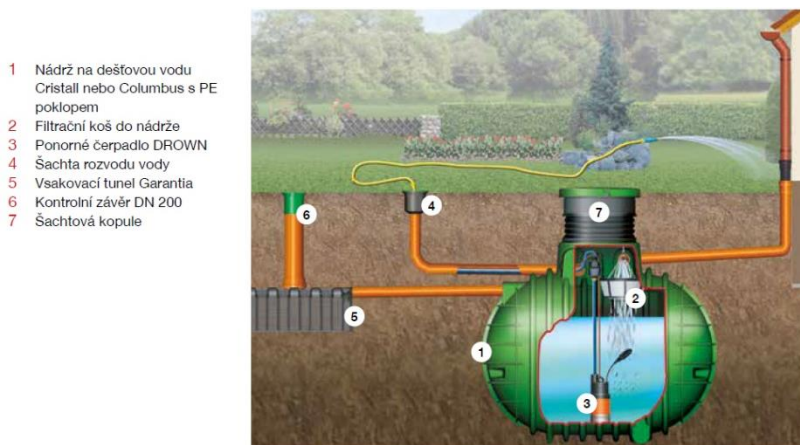
Lze nalézt články doporučující využití srážkové vody k praní, dokonce hovoří i o jisté úspoře vzhledem k obsahu minerálů a nízké tvrdosti vody. Srážkové vody obecně nejsou považovány za závadné z hlediska užití k praní, splachování toalet. Nicméně riziko kontaminace a její následné zdravotní závadnosti pramení zejména z nebezpečí kontaminace ptačím trusem. [30]

Podstatné je si uvědomit, že srážkové vody nejsou v zásadě nijak upravovány, a jsou filtrovány pouze košíčkovým filtrem mezi svodem odvodněné plochy a nádrží. [31]

Vzhledem k odhadnutým životnostem hlavních částí systému bude doba porovnání pro stanovení ukazatelů ekonomické efektivity 30 let.

7.6.1.1. Využití srážkových vod pouze k zálivce zahrady

Stanovit míru úspory využití srážkových vod, zejména čistě jen pro zálivku části zahrady, není úplně jednoduché z pohledu jisté nemožnosti dlouhodobé předpovědi vývoje počasí. Další omezení tkví v kapacitě nádrže, pokud bychom vzali celkové normály úhrnů srážek za rok, bylo by teoretické získatelné množství srážkových vod v objemu cca 160 m³.



Obr. 24: Schéma systému využití srážkových vod k zálivce zahrady [32]

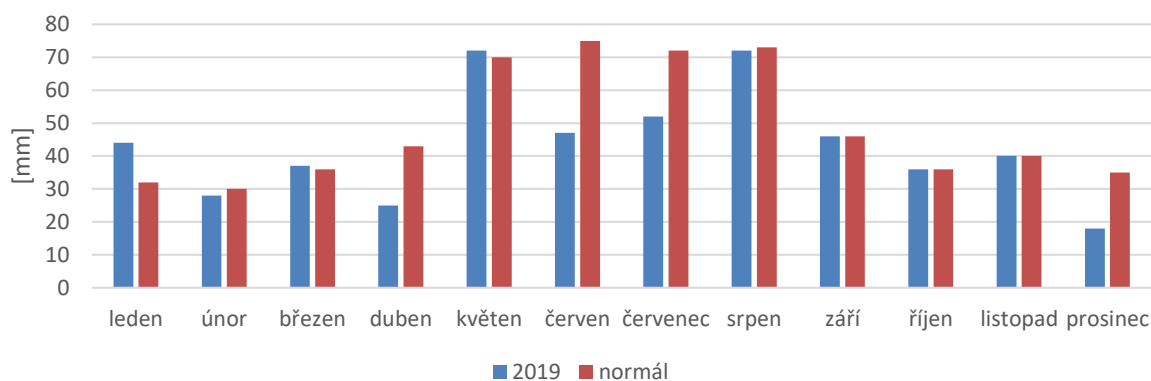
Většina dostupných nádrží se pohybuje do 20 m³ a část z nich nemá vodní přepad proti přeplnění, dle výrobce jsou větší objemy limitovány nedostatečnou prostorovou tuhostí konstrukce a materiálu, zároveň je zde limit finanční podpory z dotace Dešťovka.

Tedy využití nádrží na zálivku části zahrady, zde je důležité použít výraz části, neboť kdyby se měly vzít hodnoty směrné roční potřeby vody na zálivku zahrady dle vyhlášky [33], v platném znění, pak by zásoba vody pouze na kritické období dvou letních měsíců činila optimálně cca 50 m³ v závislosti na rozložení množství rostlin v zahradě. Potřebný objem lze samozřejmě dekomponovat a rozdělit mezi více zdrojů. Velmi elegantním řešením je využití nádrže dotované programem Dešťovka a využití právě odpadních vod z domácí ČOV.

Z dat uvedených ČHMÚ pro Prahu a Středočeský kraj lze vynést následující graf měsíčních úhrnů srážek, ze kterých je zatím jasné, že žádný z měsíců nevykazuje nulový úhrn srážek, proto výpočet úspory bude pracovat s průměrnou hodnotou mezi dlouhodobým normálem a hodnotami z roku 2019 za období mezi 4. – 9. měsícem.

Mnoho podstatných informací o stavu, a případně predikci vývoje epizod sucha poskytuje vyjma portálu ČHMÚ též na webový portál Intersucho. [34]

Z úhrnů srážek v jednotlivých měsících kritických na epizody sucha by mělo být možné stále získat cca 1 – 2 nádrže za kalendářní měsíc. V kombinaci se závlahou přečištěné vody z domácí ČOV produkující cca 18 m³rok⁻¹ se množství vody k závlaze zahrady dostane na úroveň cca 34,8 m³, což je pro odhadnutou původní bilanci spotřeby vody pro zálivku dostatečující.



Obr. 25: Měsíční úhrn srážek na území Prahy a Středočeského kraje [24]

Model výpočtu ztrát bude vždy velmi zjednodušený jednak z hlediska nemožnosti dlouhodobé předpovědi počasí, která je sama o sobě závislá na mnoha proměnných, ale také na celkových změnách klimatu daných životním stylem celé společnosti, vzájemným pohybem vesmírných těles. Množství potřebné vody pro zálivku zahrady se nezbytně odvíjí i od stavu samotné půdy, pokud je zde velmi špatná retence či je půda příliš degradovaná, bude závlaha bezcílně z velké části odtékat a vypařovat se.

Zejména plochy trvale osluněné musejí být zavlažovány ve správnou dobu, aby nedošlo k téměř okamžitému odpaření zálivky v horkých dnech. Všechny tyto vstupy jsou z velké části neovlivnitelné, minimálně v krátkodobém horizontu a proto je nezbytné mít tyto nekvantifikovatelné parametry stále na paměti při hodnocení investice do akumulární nádrže srážkových vod, která je než finanční spíše morální investicí a vzájemnou solidaritou občanů v regionu, které mohou při epizodách sucha velmi rychle vydat opatření pro omezení využívání veřejných vodovodů z důvodu rapidního poklesu hladiny spodní vody ve vrtech.

V rámci citlivostní analýzy si vezmeme stav úhrnů srážek pro území Prahy a Středočeského kraje normálu 1961 – 1990, stav za rok 2019 a průměrné hodnoty stanovené z let 2016 – 2019 včetně. Získané výsledné hodnoty NPV a IRR se zohlednění vlivu dosažitelné finanční dotace uvádí následující tabulka.

cena vodného efektivnost	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
normál	-115 868	-2,61%	-56 051	0,98%	-71 449	-2,61%	37 852	0,98%
průměr	-128 228	-3,46%	-74 969	0,19%	-90 368	-3,46%	6 950	0,19%
2019	-133 526	-3,85%	-83 078	-0,17%	-98 476	-3,85%	-6 294	-0,17%
normál - dotace	-60 868	-0,75%	-1 051	2,95%	-16 449	-0,75%	92 852	2,95%
průměr - dotace	-73 228	-1,70%	-19 969	2,06%	-35 368	-1,70%	61 950	2,06%
2019 - dotace	-78 526	-2,13%	-28 078	1,66%	-43 476	-2,13%	48 706	1,66%

Tab. 16: Výsledky ekonomické efektivnosti NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému využití srážkových vod k zálivce zahrady

Pokud uvažíme cenovou eskalaci meziročně na úrovni 3 %, pak pro představu bude cena vodného na konci 30 roku cca 2,4× vyšší než v prvním roce. S mírou diskontu k vyšší hodnotě

nemá v tuto chvíli význam pohybovat, protože zvyšování míry diskontu bude mít pouze za následek zhoršení NPV ve všech případech, a to bez další přidané informace.

Pokud by byl diskont na úrovni státních dluhopisů, případně ještě lépe interpretovatelné nuly, NPV bude stále záporné, tj. investice se za sledované období ani nezaplátí, ale v případě uvážení eskalace ceny vodného, jak s uvážením finanční dotace, tak bez, se NPV dostane do kladných hodnot, respektive bude za sledované období a podmínek výnosné.

Dobrou otázkou by bylo stanovení míry vlivu eskalace ceny elektrické energie u koncového odběratele, řekněme na úrovni 3 %, pak se proti původnímu stavu NPV sníží o 849 Kč. Růst ceny elektrické energie zvyšuje cenu provozu čerpadla, nicméně vzhledem k poměrně malé spotřebě se tato změna v konečné částce příliš neprojeví.

Návratnost investice, viz výše tabulka výsledků ekonomické efektivity, při úspoře počítané z normálu je dosažena cca v 27. roce, pro průměr pak ve 30. roce. Zohlednění finanční dotace posouvá křivky o 55 000 Kč, proto je návratnosti investice dosaženo dříve, a to již cca 22. roce pro normál, pro průměr a 2019 poté cca v 26. roce provozu.

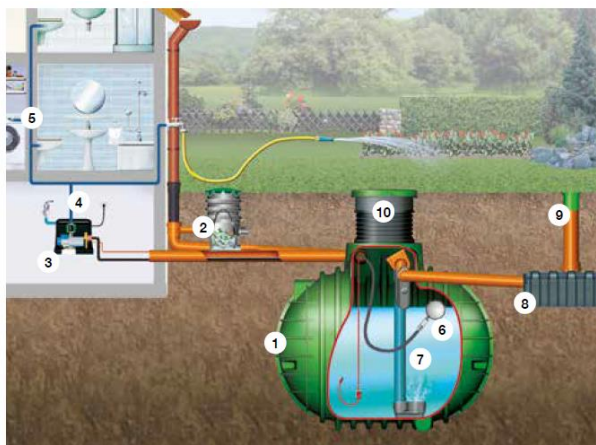
V neposlední řadě je nutno připomenout problematiku vsakovacích galerií nebo tunelů, ve výpočtech jejich rozsahu se pracuje s koeficientem vsaku, který lze přesně stanovit až na základě geologického průzkumu. V závislosti na schopnosti vsakování zeminy může být odhadnutý tunel složený například ze 10cti dílů, ale i z 21 pro zeminu více jílovitou, rozdíl jen na ceně dílů tunelu bude činit cca 38 000 Kč bez DPH.

Z citlivostní analýzy vstupů plyne, že i přes uvážení finanční podpory z dotačního programu Dešťovka nebude tato investice z hlediska úspory provozu objektu při předpokladu standardního vývoje stavu světa finančně zajímavá, proto ji nástroje hodnocení ekonomické efektivity zamítají. Dosažení alespoň návratu vstupní investice, nebo zisku na horizontu 30ti let, by muselo dojít k zásadnímu růstu ceny vodného.

7.6.1.2. Kombinované využití srážkové vody

Využití srážkových vod pro splachování toalety, praní a úklid se liší proti systému využití pouze pro zálivku zahrady, případně mytí vozidel, zejména jiným typem čerpadla a realizací separovaných rozvodů srážkové vody ke spotřebičům.

- 1 Nádrž na dešťovou vodu Columbus s PE poklopem
- 2 Filtrační šachta DN 400
- 3 Čerpadlo Essential (domácí vodárna)
- 4 Tlaková nádoba 15 l
- 5 Filtř 10"
- 6 Plovoucí sání (hadice 3 m)
- 7 Klidný nátok – sada
- 8 Vsakovací tunel Garantia
- 9 Kontrolní závěr DN 200
- 10 Šachtová kopule



Obr. 26: Schéma systému využití srážkových vod v objektu a k zálivce zahrady [32]

PVK a.s. stanovili na území hlavního města Prahy průměrnou denní spotřebu pitné vody na osobu. Jelikož se jedná o průměrnou hodnotu, a chování jedinců je poměrně stabilně extrapolovatelné napříč kraji, použije se k odhadu míry úspory spotřeba vody v RD právě z tohoto průměru, přičemž jsou podstatné pouze hodnoty denní spotřeby pro toaletu, praní a úklid. [29]

Vraťme se zpět k předchozímu modelu pracujícím pouze s omezeným obdobím využití srážek k zálivce zahrady a upravme jej o investice spojené se systémem využívajícím srážkové vody i pro splachování, praní a úklid.

Řízení spotřeby srážkové vody bude přednostně nastaveno pro zálivku zahrady v období pěstování plodin, a v zejména v zimním období nebo období intenzivních dešťů bude srážková voda využita pro splachování toalet, praní a úklid.

Tímto způsobem se využije maximum z dešťových vod, bohužel i řízené rozvržení spotřeby vody vyžaduje realizaci vsakovacího tunelu nebo galerie v rámci prevence intenzivních přívalových dešťů.

cena vodného	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
efektivnost	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
normál	-118 670	-2,25%	-45 074	1,54%	-67 855	-2,25%	66 624	1,54%
průměr	-131 047	-2,99%	-64 017	0,86%	-86 799	-2,99%	35 681	0,86%
2019	-136 328	-3,32%	-72 101	0,55%	-94 882	-3,32%	22 477	0,55%
normál - dotace	-53 670	-0,12%	19 926	3,83%	-2 855	-0,12%	131 624	3,83%
průměr - dotace	-66 047	-0,97%	983	3,04%	-21 799	-0,97%	100 681	3,04%
2019 - dotace	-71 328	-1,35%	-7 101	2,69%	-29 882	-1,35%	87 477	2,69%

Tab. 17: Výsledky ekonomické efektivity NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému kombinovaného využití srážkových vod

S nastavením rozsahů a kombinací míry diskontu, eskalace ceny vodného pro různé stavy zisku srážkové vody shodně předchozímu případu, docházíme k analogickým závěrům. Aby se investice vyplatila z hlediska ukazatelů ekonomické efektivity, muselo by dojít k zásadnímu zdražení vodného, avšak situaci zmírňuje možnost zisku finanční podpory.

S uvážením finanční dotace a zamítnutím předpokladu zásadního růstu vodného, lze konstatovat, že se investice na horizontu 30ti let spíše navrátí, než – li bude zisková.

Analogicky předchozímu případu, není systém výrazně ovlivnitelný změnou ceny elektrické energie na úrovni odběratele, při 3% roční eskalaci ceny elektrické energie se NPV sníží o 1 095 Kč.

Návratnost investice je v krajních případech modelu dosaženo při uvážení normálu úhrnu srážek se započtením finanční podpory s diskontem 3 % a eskalací vodného cca v 26. roce provozu, pro průměr začátkem 30. roku. Pro diskont 0% a 3% meziroční eskalaci ceny vodného pak normál dosahuje s dotací návratnosti v 16. roce, průměr a 2019 v 23. Bez zohlednění dotace je návratnost dosažena v případě normálu v 26. roce, průměru a úhrnů za rok 2019 v 28.

7.6.2. Recyklace šedé odpadní vody

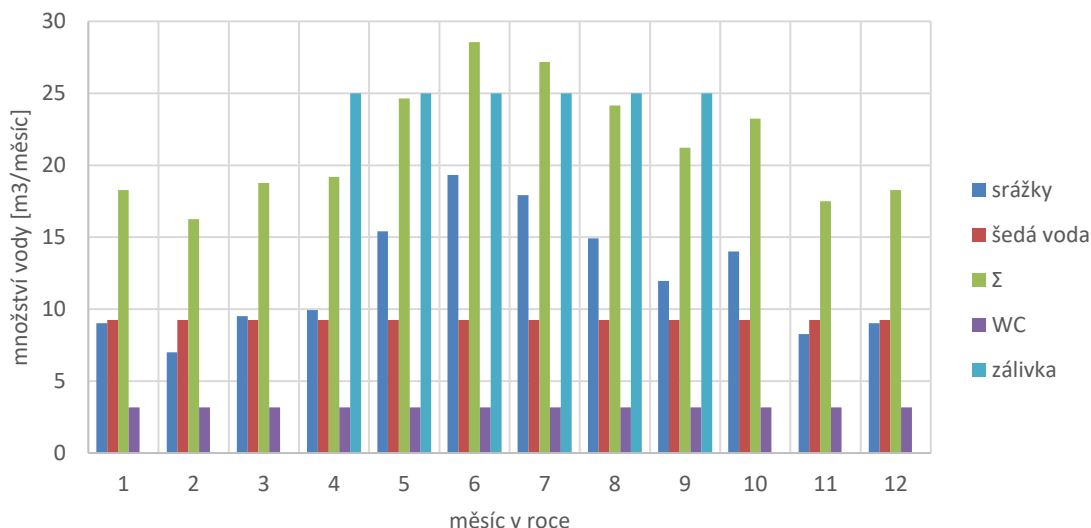
Systém recyklace šedé odpadní vody funguje pouze pro odpadní vodu ze sprch, praček, myček, umyvadel, do systému nesmí být svedena voda obsahující moč a fekálie. Z tohoto důvodu vyžaduje systém oddělené potrubí k jednotkám přečištění odpadní vody, tj. potrubí odvádějící fekálie a moč je napojeno na stávající kanalizaci, v případě tohoto projektu na DČOV. [35]

Přečištěnou vodu z domácnosti lze využívat pouze na splachování toalety nebo zálivku zahrady, pokud je povoleno. Je otázkou, zda – li se pak nevyplatí budovat dvě nádrže pro dva separátní kooperující systémy, respektive systém přečištění šedé vody ke splachování toalet, zálivce zahrady a systém akumulace srážkových vod k praní, úklidu a zálivce zahrady, nicméně v konečném důsledku by každý systém využíval jen adekvátní část úspor provozní vody.

Z tohoto důvodu by samostatně posouzené systémy managementu šedých a odpadních vod musely být výnosné, protože část úspory v kooperaci systémů se přesune na jiný, a v případě sloučení nádrží do společné pro srážkové a odpadní vody z domácnosti, dokonce zmizí. Přečištěné vody jsou považovány stále za odpadní a kontaminují srážkové vody v nádrži, které by bylo jinak možné využít i na praní a úklid.

Poměrně netriviální úkol je stanovit výši úspory z provozu přečištění šedých vod v kombinaci s využitím též vod srážkových, které při svodu z odvodněných ploch do stejné nádrže zvýší vstupní výdaje minimálně.

Následující graf množství vody v jednotlivých měsících uvádí úhrny srážek z odvodňované plochy pro průměrnou hodnotu úhrnů mezi léty 2016 – 2019 [24], šedá voda je stanovený měsíční odhad ze statistiky spotřeby uvedené PVK [29], zcela analogicky pak spotřeba pro splachování toalety, Σ vyjadřuje součet měsíčních úhrnů srážek a vyprodukované šedé vody, zálivka je určena z vyhlášky [33] pro celou zahradu.



Obr. 27: Množství vody v jednotlivých měsících pro různé zdroje a spotřeby

Spotřeba vody na splachování toalety pro 4 člennou rodinu je cca 3,2 m³/měsíc, produkce přečištěné šedé vody je cca 9 m³/měsíc. V suchých letních měsících se voda nevyužitá na splachování využije pro záливku zahrady, případně pro další využití na zahradě, jako je mytí vysokotlakým čističem. Napojením svodů z odvodněné plochy lze za téměř zanedbatelnou částku využít srážkové vody a plně využít potenciál nádrže. Bohužel, nelze vzít jednoduše roční úhrny z přečištěné šedé vody a srážek, které by reprezentovaly dosaženou úsporu, kterou by jinak uživatel přímo odebral z vodovodního řádu.

Nezbytnost korekce na tuto prvopočáteční úvahu pramení ze skutečných potřeb vody jak pro splachování toalety, tak záливky. Skutečná úspora bude založena pouze na konstantní spotřebě vody pro splachování přes všechny měsíce a dosažitelného množství pro záливku, kterou by též šlo korigovat, neboť není nezbytně nutné zalévat celou zahradu, nýbrž jen klíčové rostliny náchylné na dostatek vláhy. V neposlední řadě se nesmí zapomenout, že odpadní voda bude filtrována DČOV a přečištěná voda taktéž poslouží k záливce zahrady. Veškeré přebytky vody, ať již srážkové nebo přečištěné, jsou pro uživatele bezcenné, protože je nelze dlouhodobě skladovat.

Z hlediska běžné údržby je nutné proplachovat membránovou filtrační patronu, jejíž intervaly výrobce udává mezi týdenními až ročními, v závislosti na provozu. Taktéž je nutné čištění reaktoru 1 × ročně a čištění nátokového sítka od vlasů, chlupů 1 – 4 × měsíčně. [35]

Energetická spotřeba systému přečištění šedých odpadních vod, se dle výrobce pohybuje na úrovni cca 3 kWh/m³ přečištěné šedé vody. Energetická spotřeba je dána v podstatě provzdušňujícím dmychadlem a čerpadlem (sání, proplachování). [35]

cena vodného efektivnost	diskont 3 %				diskont 0 %			
	eskalace 0 %		eskalace 3 %		eskalace 0 %		eskalace 3 %	
	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]	NPV [Kč]	IRR [%]
reálný	-307 488	-7,73%	-223 313	-2,26%	-284 854	-7,73%	-131 045	-2,26%
optimistický	-283 772	-6,20%	-187 015	-1,16%	-248 556	-6,20%	-71 754	-1,16%
reálný - dotace	-206 488	-6,41%	-122 313	-0,64%	-183 854	-6,41%	-30 045	-0,64%
opt - dotace	-182 772	-4,71%	-86 015	0,58%	-147 556	-4,71%	29 246	0,58%

Tab. 18: Výsledky ekonomické efektivnosti NPV a IRR pro různé stavy, zohlednění finanční dotace, eskalace ceny vodného a diskontu systému recyklace šedé vody

Rozdíl mezi úsporou stanovenou mezi stavem reálným a optimistickým je v rozložení potřeby vody. V obou případech se stále dá konstatovat jistá nadsázka, neboť racionální uživatel objektu by množství potřebné vody na celou plochu zahrady z vodovodního řádu nikdy nekompenzoval. Optimistická úspora je stanovena jako roční součet průměrné potřeby na splachování toalety a potřeby vody na zálivku celé zahrady dle vyhlášky [33] od dubna do konce září. Reálná úspora opravuje potřebu zálivky na dosažitelné množství vody z průměrných úhrnů srážek a produkce přečištěné vody z domácnosti.

V případě využití systému přečištění vod z domácnosti začíná o něco více hrát roli meziroční eskalace ceny elektrické energie, která se na úrovni 3 % projeví při diskontu 3 % snížením NPV o 17 222 Kč.

Zlepšením NPV by mohlo dojít při kombinaci s vytápěním objektu pomocí tepelného čerpadla a získáním tak příhodnější ceny elektrické energie. Pokud se úvaha implementuje, při diskontu 3 % a 0 % eskalaci se NPV zvýší o 10 785 Kč.

7.6.3. Ukončení činnosti

V předchozích podkapitolách jednotlivých úsporných opatření nebylo řečeno, co se stane po 30. roce provozu. Pro všechny případy jsou možné následující scénáře:

- pokračovat do doby selhání částí zařízení a pak se dle dostupnosti a cen rozhodnout
- pokračovat za předpokladu provedení kontroly hlavních částí a racionálního zhodnocení jejich možného stavu provozu a nového zhodnocení investice do sanace částí systému, které již nejsou provozuschopné
- ukončení projektu a zajištění jeho likvidace.

Vyjma prvního bodu lze logicky očekávat odtok finančních prostředků, je nutné zvážit přičtení diskontované investice k NPV projektu, neboť se opět předpokládá, že u budoucí investice ji její budoucí dosažené úspory zaplatí, a zajistí rentabilitu projektovaného opatření. Tato myšlenka vede k rozdělení NPV jednotlivých systémů a současných hodnot budoucích investic na pokračování provozu nebo jejich likvidaci.

	budoucí hodnota (3 % 30. rok)		Investice (0 % 0. rok)	
	obnova [Kč]	likvidace [Kč]	obnova [Kč]	likvidace [Kč]
srážkové vody pro zálivku	4 835	34 722	11 737	84 278
Kombinace využití srážkových vod	9 023	36 411	21 901	84 878
recyklace šedé vody	16 199	34 704	39 320	84 236

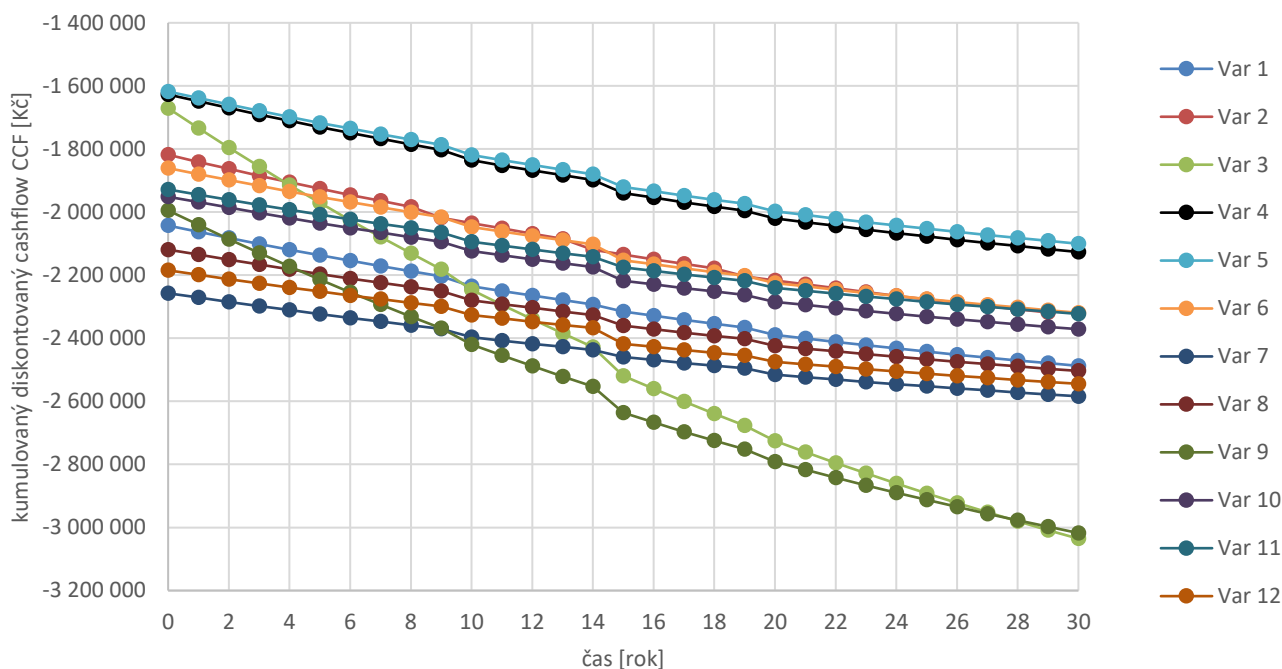
Tab. 19: Zhodnocení variant po skončení odhadnuté doby životnosti systémů využití vod v RD

Uvedená tabulka uvádí hodnoty investic v současných cenách (vpravo), ale i jejich hodnotu přepočtenou pomocí diskontu (hodnoty peněz) na úrovni 3 %. Ve všech případech zohlednění likvidace značně sníží hodnotu NPV, a i krajní mez citlivostní analýzy již není v řadě případů rentabilní.

V tomto případě lze doporučit nejlepší možný postup následující, vzhledem k absenci dat skutečné životnosti nádrží, jejichž realizace a likvidace tvoří dominantní část investice, bude vhodné sledovat stav nádrže a v případě známek značné degradace zhodnotit případnou sanaci. Systém je tedy vhodné provozovat identicky do doby selhání funkčnosti nádrže, případně do doby ohrožení její prostorové tuhosti, která by měla za následek ohrožení zdraví a majetku, poté zajistit likvidaci.

8. Dosažené výsledky pro varianty řešení

Z opatření, která nebyla přímo zamítnuta v předchozích kapitolách, nebo na základě dominujícího systému v oblasti stejných charakteristik, jsou sestaveny přípustné varianty řešení, které jsou uvedeny v následujících tabulkách Tab. 20 (bez vlivu finanční dotace z podpor) a Tab. 21 (s dotací).



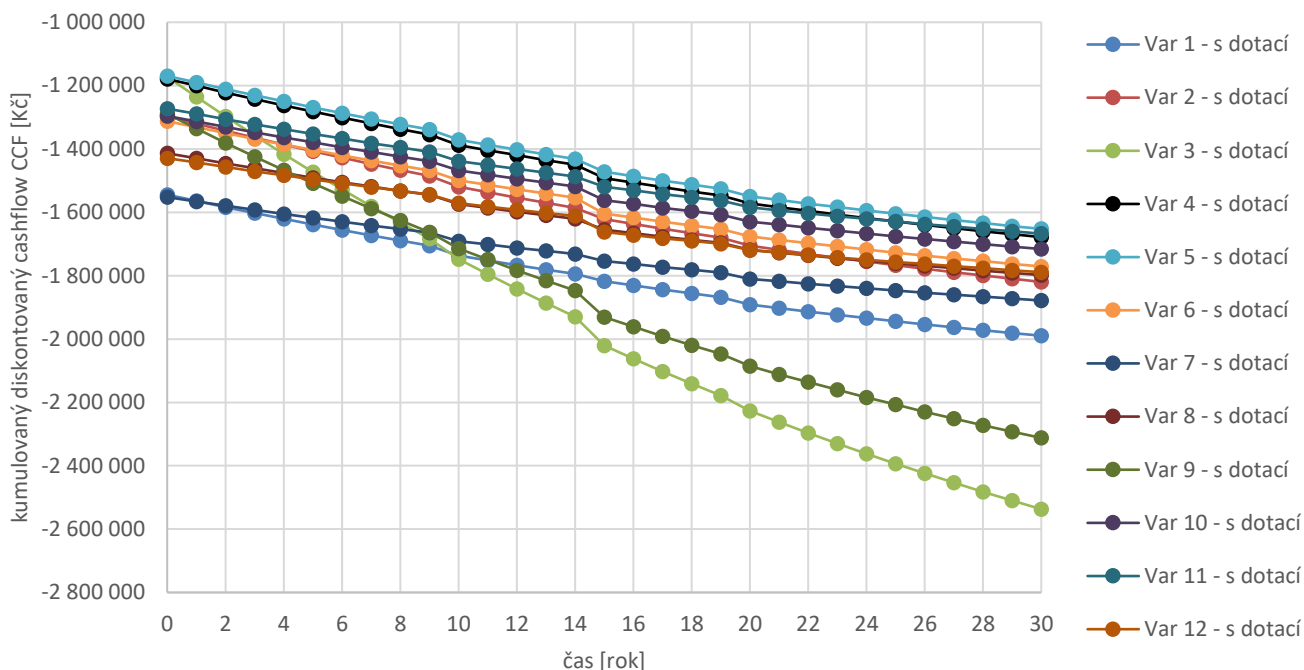
Obr. 28: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů

Je důležité hodnotit stavy jak se zohledněním reálně dosažitelné finanční dotace z programů, tak bez nich. Jednotlivé varianty v základu vycházejí z úrovně zateplení konstrukcí na požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla, tj. úroveň PD a A3, pro které jsou následně porovnávány jednotlivé druhy dostupného vytápění v RD a přípravy teplé vody.

Určitě lze tento způsob kritizovat, na druhou stranu, nemá přidanou hodnotu řešit větší matici řešení, která může být zjednodušena o dominované varianty.

Varianty řešení v sobě zahrnují systém nakládání se srážkovou vodou pro splachování toalet, praní a úklid, pokud by však byl systém investorem vyloučen, zvýšilo by se NPV o 124 071 Kč.

Z pohledu investora je v podstatě primární kritérium minimalizace výdajů, tedy maximalizace NPV. Jenže, bude – li provedeno rozhodnutí čistě na základě jednoho parametru, tj. investor se bude rozhodovat monokriteriálně, hrozí přílišné zjednodušení úlohy. Vhodnější je stanovit řadu kritérií, která jsou pro investora důležitá. Dílčím rozhodovacím kritériem může být pak rozklad investice v letech a provozní výdaje, v podstatě v některých případech může být preferenční vysoká vstupní investice na úkor nízkých provozních výdajů, a naopak.



Obr. 29: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů

Volba optimální varianty řešení dané situace se bude lišit v závislosti na preferencích investora, obecně by se nelišilo v případě monokriteriálního rozhodování založeného na minimalizaci nákladů, tj. maximalizaci NPV.

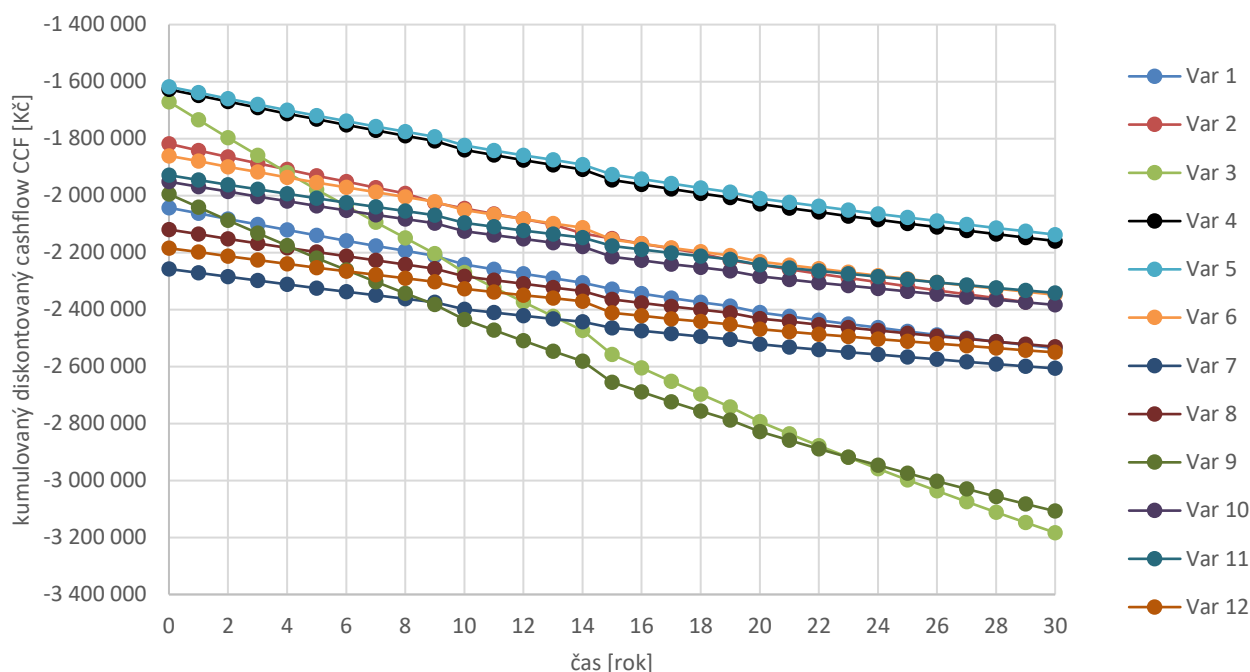
Hlediska hodnocení mohou být různá, zde jsou použita následující kritéria:

- NPV
- RCF
- stabilita ukazatelů ekonomické efektivity vůči změně vstupních parametrů
- počáteční investice
- roční provozní náklady
- manipulace s palivem
- zabezpečení dodávky energie
- prostorová náročnost
- estetika.

Sestavením vah preferenčních kritérií lze dojít k různým výsledkům, a proto by měla nejlépe reflektovat požadavky investora, případně očekávání uživatele.

Pro užití metody globálního kritéria dle kapitoly 5 je nezbytné stanovit pořadí kritérií, přičemž některá jsou si rovnocenná. Nejdůležitější kritéria jsou NPV a RCF, následně o něco méně důležitá jsou stabilita NPV a RCF, nutná manipulace s palivem, zabezpečení dodávky energie a náročnost zdroje na prostor. V neposlední řadě jsou kritéria výše počáteční investice a ročních provozních nákladů. Posledním kritériem je estetika, tj. jakým způsobem zdroj ovlivňuje celkový ráz objektu.

Důvod seřazení v tomto pořadí přímo plyne z vazby na rezidenty, nejdůležitější je minimalizace výdajů za provoz, již méně podstatná je náchylnost systému vůči změnám situace, jejíž vývoj v horizontu 30ti let lze považovat spíše za hrubý odhad, navíc zde nejsou zohledněny skokové změny, které se mohou lokálně objevit, ale na dlouhém časovém horizontu se věří v ustálení a dosažení jistého stabilního trendu.



Obr. 30: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 2 % inflaci, 3 % eskalaci elektrické energie, 3 % eskalaci ceny tuhých paliv a 3 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů

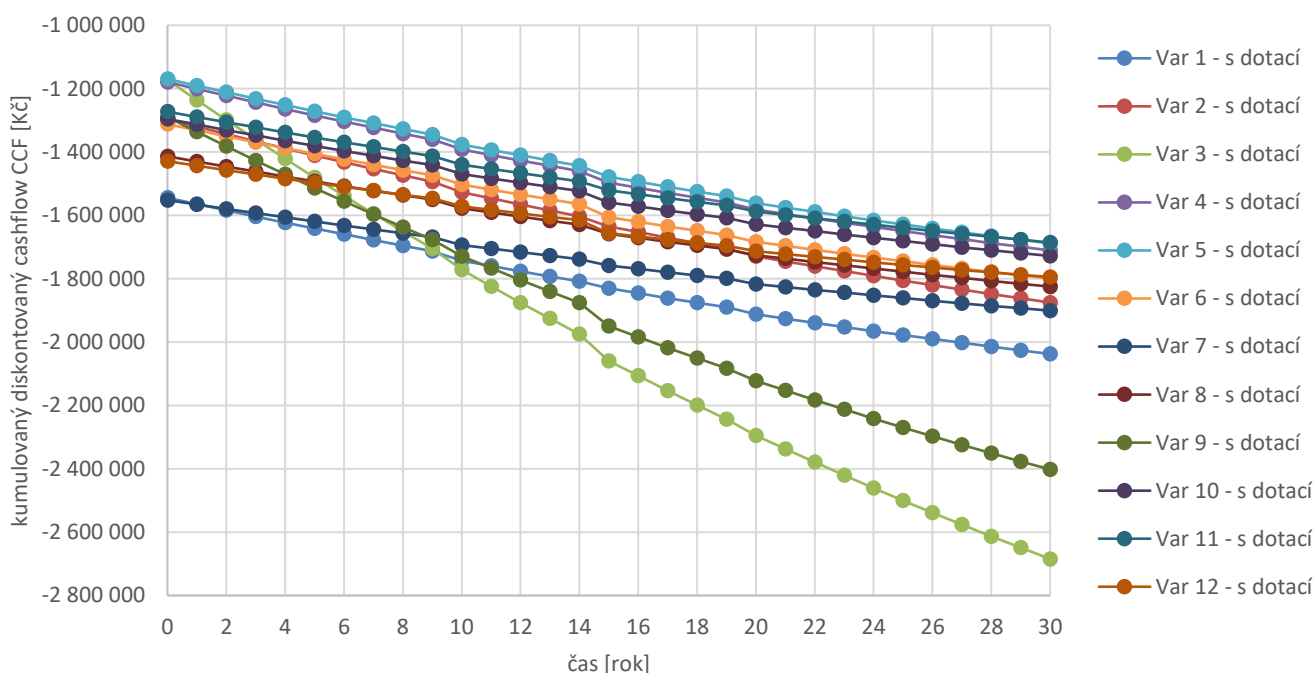
Jakákoliv manipulace s palivem je paušálně na obtíž. Toto tvrzení se stupňuje s věkem rezidentů. Výše počáteční investice nebo ročních provozních nákladů není směrodatná, neboť rezidenti mají dospívající potomky a předpokládá se, že jejich produktivní část života bude pokrývat velkou část hodnoceného období. Estetika je nejméně důležitá, jelikož se jedná o primárně užitná zařízení.

U volby zdrojů vytápění, případně ohřevu teplé vody, využívající spalování kusového dřeva nebo pelet bych, na posuzovaném horizontu 30ti let, byl opatrný z hlediska monotónnosti scénáře, sice ano, analýza provozu byla provedena, historicky je to dobře zavedený způsob vytápění, jenže, moderní trend společnosti, a zejména Evropské unie, je formovat životní způsoby ke snižování emisí CO₂, NO_x a dalších plynů do ovzduší.

Existuje nemalá pravděpodobnost, že v 10. roce provozu bude zařízení považováno za zastaralé a jeho provoz bude muset být ukončen, a nahrazen vhodnějším zdrojem, vzhledem k intenzivní motivaci evidentně tepelným čerpadlem. Pokud by tato situace nastala, stát by musel motivovat populaci k změně stávajících zdrojů, tj. například zákaz použití zvoleného druhu zařízení a dotace k pořízení tepelného čerpadla. S uvážením přechodné doby takovýchto opatření se okamžik nahrazení velmi blíží k pravděpodobnému dožití provozovaného kotle.

Případ přechodu ze zplyňovacího kotle na tuhá paliva na tepelné čerpadlo vzduch – voda není součástí primárně hodnocených přípustných variant, ale je vhodné ji zevrubně zhodnotit pro bližší představu o dopadech vzniklé situace. NPV za řekněme standardních podmínek 3 % diskontu a 0 % inflace a eskalací pak bude – 2 311 649 Kč bez vlivu dosažitelné dotace v nultém roce a – 1 863 299 Kč s jejím zohledněním, vypočtená NPV nezohledňují případnou dotaci v 15. roce na pořízení náhradujícího tepelného čerpadla.

Změní – li se nákupní cena kusového dřeva, z nyní levného smrkového na stabilně dražší dubové, budou NPV – 2 837 636 Kč (bez dotace) a – 2 389 286 Kč (s dotací). Při užití bukových briket se tato varianta od 27. roku, v závislosti na zohlednění dotace, dostane na stejnou úroveň kumulovaného diskontovaného cash flow jako prostý provoz kotle na tuhá paliva, viz varianta 4.



Obr. 31: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 3 % diskontu, 2 % inflaci, 3 % eskalaci elektrické energie, 3 % eskalaci ceny tuhých paliv a 3 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů

V následující tabulce jsou u NPV a RCF uvedeny v závorce parametry při jejich stanovení, více výsledků slouží k provedení základní citlivostní analýzy. Jedná se o některé kombinace změn, zejména eskalací. Pro získání lepší představu o stabilitě NPV a RCF vůči změně vstupních parametrů byla stanovena rozpětí z celé citlivostní analýzy v podobě rozdílu maxima a minima těchto ekonomických ukazatelů variant.

Proměnou r [-] se rozumí diskont, inf [-] umožňuje zohlednění inflace, e_e [-] vyjadřuje meziroční eskalaci ceny elektrické energie, e_p [-] představuje meziroční eskalaci tuhého paliva a e_v [-] reprezentující meziroční eskalaci vodného. Pokud je eskalace ceny tuhých paliv *dub*, značí to změnu ceny tuhého paliva, v tomto případě užití polen [Kč/kg]. Cena tuhých paliv je jednak poměrně variabilní, a umožňuje, dle vyčleněných kapacit, i předzásobení se. Stav s *dub* ukazuje výsledky ekonomické efektivity s cenou dubového dřeva dodavatele paliv, v ostatních případech je uvažována cena dřeva z pily, která je vzhledem ke kůrovcové kalamitě velice nízká.

varianta	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
úroveň zateplení	[-]	PD	PD	PD	PD	PD	PD	A3	A3	A3	A3	A3	A3
zdroj vytápění	[-]	TČ země - voda	TČ vzduch - voda	kotel - automat	kotel - zplyňovací	krbová vložka + elektrokotel	krbová vložka + TČ vzduch - voda	TČ země - voda	TČ vzduch - voda	kotel - automat	kotel - zplyňovací	krbová vložka	krbová vložka + TČ vzduch - voda
ohřev teplé vody	[-]	ZT	ZT	přímotop	AKU + přímotop	AKU	ZT	ZT	ZT	přímotop	AKU + přímotop	přímotop	ZT
zálivka + WC srážkovou vodou	[-]	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
provozní a spotřební výdaje	[Kč rok ⁻¹]	-20 727	-24 219	-65 641	-22 584	-21 784	-20 023	-14 487	-16 949	-48 000	-18 338	-17 538	-14 782
počáteční investice (bez dotace)	[Kč]	-2 042 788	-1 795 232	-1 670 801	-1 627 477	-1 617 957	-1 860 649	-2 257 573	-2 119 283	-1 994 852	-1 951 528	-1 928 418	-2 184 700
počáteční investice (s dotací)	[Kč]	-1 544 438	-1 296 882	-1 172 451	-1 179 127	-1 169 607	-1 312 299	-1 551 973	-1 413 683	-1 289 252	-1 295 928	-1 272 818	-1 429 100
vnitřní umělé osvětlení	[-]	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED
nucené větrání včetně ZZT	[-]	-	-	-	-	-	-	ano	ano	ano	ano	ano	ano
manipulace s palivem	[-]	ne	ne	zřídka	vždy	vždy	zřídka	ne	ne	zřídka	vždy	vždy	zřídka
skladovatelnost paliva (r, infl, e _e , e _p , e _v)	[%]	ne	ne	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano	ano	ano
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 487 668	-2 318 190	-3 035 468	-2 126 606	-2 100 570	-2 319 272	-2 584 001	-2 503 600	-3 017 601	-2 371 282	-2 322 933	-2 544 463
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 762 827	-2 629 666	-3 128 128	-2 219 267	-2 193 230	-2 455 321	-2 783 462	-2 728 667	-3 110 796	-2 464 477	-2 416 127	-2 652 463
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-2 487 668	-2 318 190	-3 661 630	-2 305 001	-2 278 964	-2 435 959	-2 584 001	-2 503 600	-3 448 966	-2 494 179	-2 445 829	-2 623 898
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 3 %)	[Kč]	-2 428 041	-2 258 563	-2 975 841	-2 066 979	-2 040 942	-2 259 645	-2 524 373	-2 443 972	-2 957 974	-2 311 655	-2 263 305	-2 484 835
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-2 762 827	-2 629 666	-3 754 290	-2 397 661	-2 371 624	-2 572 009	-2 783 462	-2 728 667	-3 542 161	-2 587 373	-2 539 024	-2 731 898
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-2 703 199	-2 570 039	-3 694 663	-2 338 033	-2 311 997	-2 512 382	-2 723 835	-2 669 039	-3 482 533	-2 527 746	-2 479 396	-2 672 271
NPV (3 %, 2 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-2 535 913	-2 373 726	-3 183 100	-2 159 406	-2 137 050	-2 348 121	-2 606 453	-2 530 462	-3 107 562	-2 383 863	-2 341 436	-2 550 313
NPV (3 %, 2 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 388 179	-2 201 096	-2 731 246	-2 014 484	-1 992 128	-2 215 755	-2 510 556	-2 417 013	-2 788 820	-2 276 567	-2 234 140	-2 462 660
NPV (0 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 724 713	-2 596 925	-3 761 612	-2 392 923	-2 358 100	-2 564 362	-2 758 303	-2 708 880	-3 562 437	-2 595 590	-2 533 587	-2 737 206
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 % dub, 0 %)	[Kč]	-2 487 668	-2 318 190	-3 035 468	-2 990 204	-2 964 167	-2 884 151	-2 584 001	-2 503 600	-3 017 601	-2 966 217	-2 917 867	-2 929 006
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 3 % dub, 0 %)	[Kč]	-2 487 668	-2 318 190	-3 661 630	-3 626 804	-3 600 767	-3 300 550	-2 584 001	-2 503 600	-3 448 966	-3 404 772	-3 356 423	-3 212 472
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-126 919	-118 272	-154 867	-108 498	-107 170	-118 328	-131 834	-127 732	-153 956	-120 981	-118 514	-129 817
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-140 957	-134 164	-159 595	-113 225	-111 897	-125 269	-142 010	-139 215	-158 710	-125 736	-123 269	-135 327
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-126 919	-118 272	-186 814	-117 599	-116 271	-124 281	-131 834	-127 732	-175 964	-127 251	-124 784	-133 869
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 3 %)	[Kč]	-123 877	-115 230	-151 825	-105 456	-104 127	-115 285	-128 792	-124 690	-150 914	-117 939	-115 472	-126 774
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-140 957	-134 164	-191 541	-122 327	-120 999	-131 222	-142 010	-139 215	-180 718	-132 006	-129 539	-139 379
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-137 915	-131 121	-188 499	-119 285	-117 956	-128 180	-138 968	-136 172	-177 676	-128 964	-126 497	-136 337
RCF (3 %, 2 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-166 095	-155 472	-208 484	-141 435	-139 970	-153 795	-170 715	-165 738	-203 536	-156 136	-153 357	-167 038
RCF (3 %, 2 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-156 419	-144 165	-178 889	-131 943	-130 478	-145 125	-164 434	-158 307	-182 659	-149 108	-146 330	-161 297
RCF (0 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-90 824	-86 564	-125 387	-79 764	-78 603	-85 479	-91 943	-90 296	-118 748	-86 520	-84 453	-91 240
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 % dub, 0 %)	[Kč]	-126 919	-118 272	-154 867	-152 558	-151 230	-147 147	-131 834	-127 732	-153 956	-151 334	-148 867	-149 436
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 3 % dub, 0 %)	[Kč]	-126 919	-118 272	-186 814	-185 037	-183 708	-168 392	-131 834	-127 732	-175 964	-173 709	-171 242	-163 898
rozpětí NPV	[Kč]	374 648	428 570	1 030 366	1 612 320	1 608 639	1 084 796	272 906	311 654	773 616	1 128 205	1 122 283	749 812
rozpětí RCF	[Kč]	75 271	68 908	83 096	105 273	105 105	82 913	78 771	75 442	84 788	87 189	86 789	75 798

Tab. 20: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé stavy diskontu, vlivu inflace, eskalace ceny elektrické energie, tuhých paliv, vodného a vlivu změny celkové ceny tuhých paliv přípustných varianty řešení bez zohlednění dosažitelné finanční dotace

varianta	[-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
úroveň zateplení	[-]	PD	PD	PD	PD	PD	PD	A3	A3	A3	A3	A3	A3
zdroj vytápění	[-]	TČ země - voda	TČ vzduch - voda	kotel - automat	kotel - zplyňovací	krbová vložka + elektrokotel	krbová vložka + TČ vzduch - voda	TČ země - voda	TČ vzduch - voda	kotel - automat	kotel - zplyňovací	krbová vložka	krbová vložka + TČ vzduch - voda
ohřev teplé vody	[-]	ZT	ZT	přímotop	AKU + přímotop	AKU	ZT	ZT	ZT	přímotop	AKU + přímotop	přímotop	ZT
zálivka + WC srážkovou vodou	[-]	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
provozní a spotřební výdaje	[Kč rok ⁻¹]	-20 727	-24 219	-65 641	-22 584	-21 784	-20 023	-14 487	-16 949	-48 000	-18 338	-17 538	-14 782
počáteční investice (bez dotace)	[Kč]	-2 042 788	-1 795 232	-1 670 801	-1 627 477	-1 617 957	-1 860 649	-2 257 573	-2 119 283	-1 994 852	-1 951 528	-1 928 418	-2 184 700
počáteční investice (s dotací)	[Kč]	-1 544 438	-1 296 882	-1 172 451	-1 179 127	-1 169 607	-1 312 299	-1 551 973	-1 413 683	-1 289 252	-1 295 928	-1 272 818	-1 429 100
vnitřní umělé osvětlení	[-]	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED
nucené větrání včetně ZZT	[-]	-	-	-	-	-	-	ano	ano	ano	ano	ano	ano
manipulace s palivem	[-]	ne	ne	zřídka	vždy	vždy	zřídka	ne	ne	zřídka	vždy	vždy	zřídka
skladovatelnost paliva (r, infl, e _e , e _p , e _v)	[%]	ne	ne	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano	ano	ano
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-1 989 318	-1 819 840	-2 537 118	-1 678 256	-1 652 220	-1 770 922	-1 878 401	-1 798 000	-2 312 001	-1 715 682	-1 667 333	-1 788 863
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 264 477	-2 131 316	-2 629 778	-1 770 917	-1 744 880	-1 906 971	-2 077 862	-2 023 067	-2 405 196	-1 808 877	-1 760 527	-1 896 863
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-1 989 318	-1 819 840	-3 163 280	-1 856 651	-1 830 614	-1 887 609	-1 878 401	-1 798 000	-2 743 366	-1 838 579	-1 790 229	-1 868 298
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 3 %)	[Kč]	-1 929 691	-1 760 213	-2 477 491	-1 618 629	-1 592 592	-1 711 295	-1 818 773	-1 738 372	-2 252 374	-1 656 055	-1 607 705	-1 729 235
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-2 264 477	-2 131 316	-3 255 940	-1 949 311	-1 923 274	-2 023 659	-2 077 862	-2 023 067	-2 836 561	-1 931 773	-1 883 424	-1 976 298
NPV (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-2 204 849	-2 071 689	-3 196 313	-1 889 683	-1 863 647	-1 964 032	-2 018 235	-1 963 439	-2 776 933	-1 872 146	-1 823 796	-1 916 671
NPV (3 %, 2 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-2 037 563	-1 875 376	-2 684 750	-1 711 056	-1 688 700	-1 799 771	-1 900 853	-1 824 862	-2 401 962	-1 728 263	-1 685 836	-1 794 713
NPV (3 %, 2 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-1 889 829	-1 702 746	-2 232 896	-1 566 134	-1 543 778	-1 667 405	-1 804 956	-1 711 413	-2 083 220	-1 620 967	-1 578 540	-1 707 060
NPV (0 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-2 226 363	-2 098 575	-3 263 262	-1 944 573	-1 909 750	-2 016 012	-2 052 703	-2 003 280	-2 856 837	-1 939 990	-1 877 987	-1 981 606
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 0 % dub, 0 %)	[Kč]	-1 989 318	-1 819 840	-2 537 118	-2 541 854	-2 515 817	-2 335 801	-1 878 401	-1 798 000	-2 312 001	-2 310 617	-2 262 267	-2 173 406
NPV (3 %, 0 %, 0 %, 3 % dub, 0 %)	[Kč]	-1 989 318	-1 819 840	-3 163 280	-3 178 454	-3 152 417	-2 752 200	-1 878 401	-1 798 000	-2 743 366	-2 749 172	-2 700 823	-2 456 872
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-101 494	-92 847	-129 442	-85 623	-84 295	-90 351	-95 835	-91 733	-117 957	-87 533	-85 066	-91 266
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-115 532	-108 738	-134 169	-90 351	-89 022	-97 292	-106 011	-103 215	-122 711	-92 288	-89 821	-96 777
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-101 494	-92 847	-161 388	-94 725	-93 397	-96 304	-95 835	-91 733	-139 964	-93 803	-91 336	-95 319
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 %, 3 %)	[Kč]	-98 451	-89 805	-126 400	-82 581	-81 253	-87 309	-92 792	-88 690	-114 914	-84 491	-82 024	-88 224
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 0 %)	[Kč]	-115 532	-108 738	-166 116	-99 452	-98 124	-103 246	-106 011	-103 215	-144 719	-98 558	-96 091	-100 829
RCF (3 %, 0 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-112 490	-105 696	-163 074	-96 410	-95 082	-100 203	-102 969	-100 173	-141 677	-95 515	-93 049	-97 787
RCF (3 %, 2 %, 3 %, 3 %, 3 %)	[Kč]	-133 454	-122 832	-175 843	-112 069	-110 605	-117 880	-124 500	-119 523	-157 321	-113 196	-110 417	-117 548
RCF (3 %, 2 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-123 778	-111 525	-146 248	-102 577	-101 113	-109 210	-118 219	-112 092	-136 445	-106 169	-103 390	-111 807
RCF (0 %, 0 %, 0 %, 0 %, 0 %)	[Kč]	-74 212	-69 953	-108 775	-64 819	-63 658	-67 200	-68 423	-66 776	-95 228	-64 666	-62 600	-66 054
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 0 % dub, 0 %)	[Kč]	-101 494	-92 847	-129 442	-129 684	-128 355	-119 171	-95 835	-91 733	-117 957	-117 886	-115 419	-110 886
RCF (3 %, 0 %, 0 %, 3 % dub, 0 %)	[Kč]	-101 494	-92 847	-161 388	-162 162	-160 834	-140 415	-95 835	-91 733	-139 964	-140 261	-137 794	-125 348
rozpětí NPV	[Kč]	374 648	428 570	1 030 366	1 612 320	1 608 639	1 084 796	272 906	311 654	773 616	1 128 205	1 122 283	749 812
rozpětí RCF	[Kč]	59 242	52 879	67 068	97 343	97 176	73 215	56 077	52 747	62 093	75 594	75 194	59 294

Tab. 21: Výsledky ekonomické efektivity NPV a RCF pro různé stavy diskontu, vlivu inflace, eskalace ceny elektrické energie, tuhých paliv, vodného a vlivu změny celkové ceny tuhých paliv přípustných varianty řešení se zohledněním dosažitelné finanční dotace

9. Diskuse a závěr

Z aplikace multikriteriálního rozhodování na varianty řešení dle Tab. 20 a 21, vyplývá, že nejvhodnější je realizace varianty 2, ať již se zohledněním či bez finanční dotace, která je složena z komponent:

- zateplení na úroveň PD pomocí minerální vaty Isover TF Profi
- tepelné čerpadlo vzduch – voda NIBE F2040 s SMO20, případně NIBE F2120, s ZT
- LED osvětlení v interiérových svítidlech, doporučeno Phillips, Tesla
- systém využití srážkových vod pro zálivku i splachování, praní a úklid GARANTIA
- nastavení mysli rezidentů ve vztahu k snížení spotřeby elektrické energie a vody.

S koncem hodnoceného období se předpokládá zhodnocení stavu provozuschopnosti zařízení a jejich částí, která budou v případě přímé poruchy kompletně nahrazena, nebo dojde k nahrazení pouze určitých částí novými ekvivalentními zařízeními. Cílem v posledních letech provozu bude zachovat provoz s minimálními dalšími výdaji. Odchýlení se od této premisy se nevylučuje.

Je zajímavé, že varianta 8, analogie doporučené variantě, avšak s úrovní zateplení A3 a nuceným větráním se ZZT, byla zamítnuta. Důvodem je nedostatečná finanční dotace, ale z hodnot kritérií lze konstatovat, že je velmi blízce zamítnutá, tudíž pokud by investorovi imponoval systém, jež není obsažen ve variantě 2, volba varianty 8 bude opodstatněná. Pouze je důležité mít na paměti, že v případě nesplnění podmínek pro zisk předpokládané výše finanční dotace již varianta 8 není téměř ekvivalentní variantě 2, jako při jejím zohlednění.

pořadí dle multikriteriálního rozhodování	vítězná	vhodná	(vhodná s dotací)	doporučená	nevhodná
varianta	2	1	8	6	12
úroveň zateplení	PD	PD	A3	PD	A3
zdroj vytápění	TČ vzduch - voda	TČ země - voda	TČ vzduch - voda	krbová vložka + TČ vzduch - voda	krbová vložka+ TČ vzduch - voda
ohřev teplé vody	ZT	ZT	ZT	ZT	ZT
zálivka + WC srážkovou vodou	ano	ano	ano	ano	ano
vnitřní umělé osvětlení	LED	LED	LED	LED	LED
nucené větrání včetně ZZT	-	-	ano	-	ano
manipulace s palivem	ne	ne	ne	vždy	vždy
skladovatelnost paliva	ne	ne	ne	ano	ano

Tab. 22: Výsledky aplikace multikriteriálního rozhodování na varianty řešení

Varianta 1, tedy vytápění RD tepelným čerpadlem země – voda s vrtem a zateplením na úrovni PD, je díky velmi vysoké, až srovnatelné, hodnotě kritérií také vhodná pro realizaci. Zvolením této varianty proti variantě 2 se investor nedopustí takové chyby.

Při uvážení vlivu dosažitelné výše finanční podpory je toto tvrzení méně stabilní, neboť se zhorší hodnota kritérií a vznikne prostor pro doporučení nově téměř srovnatelné varianty 8.

Byť z multikriteriálního rozhodování přímo nevychází doporučení pro realizaci, nezavrhoval bych variantu 6, tedy kombinaci TČ vzduch – voda (v případě preferencí lze též země – voda s vrtem) v bivalentním zapojení s krbovou vložkou. V této práci se počítalo s poměrně vysokým výdajem za rekonstrukci stávajícího komínu, jenže, jak u rekonstrukcí platí, dokud není konstrukce odhalena, jedná se o odhady. V závislosti až na skutečném stavu komínu bych porovnal přidání krbové vložky k systému TČ. Z hlediska provozu je cena dřeva být variabilnější, a určité roky je výhodné topit přednostně dřevem vzhledem k ceně elektrické energie.

Také nezapomínejme, že kvalitní architektonické provedení objektu, vnitřní dispozice, celkového návrhu interiérových prvků, evokuje silné pocity v každém rezidentovi, návštěvníkovi RD, a tento pocit pohody a spokojenosti může být ve výsledku pro rozhodovatele mnohem důležitější než dosažená finanční úspora.

Zcela nevhodné varianty jsou 12, bez zohlednění finanční dotace, a 3 s uvážením veškeré dosažitelné finanční dotace z probíhajících programů.

Skutečný stav, který zvolil investor při postupné realizaci svého rodinného domu je vytápění pomocí tepelného čerpadla vzduch – voda s integrovaným zásobníkem tepla (NIBE Split HBS 12 a AMS 10 – 12 s HEV 300 l) a přirozeného větrání zemním vzdušným výměníkem (REHAU AWADUKT THERMO), kde k zajištění trvalé výměny vzduchu slouží komín s ventilační hlavicí. Zateplení objektu rodinného domu respektuje návrh projektové dokumentace.

Každá z variant v sobě ukrývá vlastní výhody, na základě kterých by mohla být preferována. Kotle na tuhá paliva přináší malé provozní náklady v době velmi levného paliva způsobeného třeba kůrovcovou kalamitou, naopak mohou být ohroženy neustálým nátlakem na snižování emisí skleníkových plynů.

Oproti tepelnému čerpadlu však mají výhodu možnosti uskladnění paliva na otopnou sezónu, takže v případě krátkodobého, případně i rozsáhlého blackoutu je uživatel dopadům uchráněn, tedy jen částečně, neboť většina systémů ke svému provozu vyžaduje napájení čerpadel v otopné soustavě, což musí být řešeno záložním zdrojem v podobě baterií nebo dieselagregátem. Bohužel je zde potřeba třeba pravidelných revizí spalinové cesty a vydání vlastní energie na zatápění a manipulaci s palivem, což do určité míry odbourává kotel na pelety s automatickým příkládáním ze zásobníku, který se blokově naplní.

Tepelná čerpadla jsou určitě zajímavá, avšak vyžadují velmi vysokou počáteční investice a jsou ryze závislá na dodávce elektrické energie, stejně jako systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla.

Jak z výše uvedeného vyplynulo, realizace zemního vzdušného výměníku není v případě RD Lojovice doporučena, a jak je i patrné z citlivostní analýzy v kapitole 7.3.2. Význam výměníku roste pro objekty vyžadující větší výdaje na vytápění nebo chlazení, a samozřejmě nejlépe, pokud může být potrubí umístěno pod základy nebo do jiné části kde jsou prováděny zemní práce.

Na druhou stranu trvalé provětrávání vnitřních prostor zemním výměníkem řeší u starších objektu problematiku nadměrné vlhkosti způsobené výměnou výplní v prostupech konstrukcí (okna, dveře), zvyšující těsnost obálky objektu. Nicméně, existuje řada technik k odvodu vlhkosti z RD, proto bych nedoporučoval tento přínos stavět na primární pozici při rozhodování

Využití tepla odpadních vod, neobsahujících moč a fekálie, není, po provedení citlivostní analýzy, vhodné pro aplikaci v malém měřítku a zejména s přerušovaným provozem u RD. Samozřejmě, v případě průmyslových objektů nebo větších hotelů a hotelových komplexů bude situace zcela odlišná.

Doporučení realizace akumulací nádrže srážkových vod s využitím pro splachování toalet, praní a umývání, spočívá v morální hodnotě a určité pojistce v případě vydání příkazu na omezení spotřeby vody ve vsi.

Samozřejmě, pokud celkově nastane absence atmosférických srážek, nádrž bude postrádat smysl, ale za normální situace je to poměrně zajímavé zařízení. Volba této konfigurace nakládání se srážkovou vodou byla zvolena na základě nejlepšího výsledku z citlivostní analýzy a snadného přechodu k jednodušší variantě užití srážkové vody jen k zálivce zahrady. V rámci omezení spotřeby vody je doporučena instalace úsporných hlavice ve sprchách a obecně cílení myšlení uživatelů na snižování spotřeb jak vody, taky energie.

Obdobným způsobem není zajímavá investice do recyklace šedých vod, jejíž velmi nákladná technologie a případné otázky provozu z hlediska zanesení potrubí nejsou pro podmínky RD Lojovice vhodné. Systém je vhodný do oblastí s velkým nedostatkem vody a pro ostrovní systémy.

10. Použité zdroje

- [1] ING. ARCH. KECEK, PAVEL, (R21 Architects s.r.o.). *PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE - REKONSTRUKCE RODINNÉHO DOMU LOJOVICE Č.P. 8 PARC. Č. 15.* 2016.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ (ATREA S.R.O.). *Rovnotlaké větrání a chlazení* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.atrea.cz>
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ (ATREA S.R.O.). *Marketingový katalog Duplex R5* [online]. 2016. Dostupné z: [file:///D:/Stažené soubory/marketingovy_katalog_duplex_r5_cz_2016_06.pdf](file:///D:/Stažené%20soubory/marketingovy_katalog_duplex_r5_cz_2016_06.pdf)
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Heat pumps* [online]. 2020. Dostupné z: https://www.mpoweruk.com/heat_engines.htm
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ (NIBE ENERGY SYSTEMS S.R.O.). *Technologie* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/technologie>
- [6] KOLEKTIV AUTORŮ (ATREA S.R.O.). *Tepelná čerpadla* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/vyrobky-zt>
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ (DAKON). *Kotle na tuhá paliva* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.dakon.cz>
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ (UPONOR). *Ground Energy Technical Information* [online]. 2012. Dostupné z: www.uponor.com
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ (REHAU S.R.O.). *RAUEGO systémy.* 2007.
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ (MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ). *Tepelná čerpadla pro využití potenciálu podzemních vod a horninového prostředí vrtů* [online]. 2019. Dostupné z: https://www.mmr.cz/getattachment/de48ed46-14a6-4259-824a-6e8eb96cd352/Tepelna-cerpadla-srpen_2019_aktualni.pdf.aspx?lang=cs-CZ&ext=.pdf
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ (FRANK GMBH). *FRANK WET / Water Heat Exchanger* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.frank-gmbh.de/en/product-groups/Geothermal-Systems/energy-Extraction-From-Water.php>
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ (REHAU S.R.O.). *AWADUKT THERMO - technická informace.* 2012.
- [13] KOLEKTIV AUTORŮ (REHAU S.R.O.). *Ceník AWADUKT THERMO REHAU.* 2019.
- [14] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technika prostředí* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Zemni-vymenik-kolektor>
- [15] KOLEKTIV AUTORŮ (AKIRE S.R.O.). *AKIRETHERM* [online]. 2020. Dostupné z: <https://akire.cz/produkty/akiretherm/>
- [16] KOLEKTIV AUTORŮ (WWW.TZB-INFO.CZ). *Tepelná zátěž od umělého osvětlení* [online]. 2007. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/4276-tepelna-zatez-od-umeleho-osvetleni>

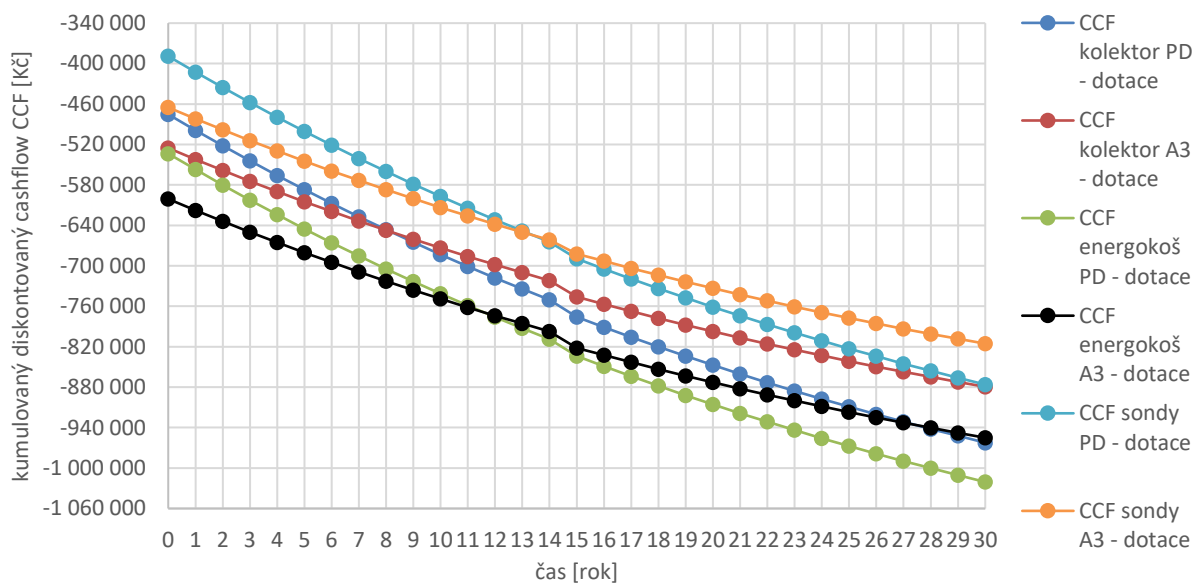
- [17] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Výzva č. 12/2017 k předkládání žádostí o poskytnutí podpory v rámci Národního programu Životní prostředí „Dešťovka“* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.narodniprogramzp.cz/dokumenty/detail/?id=639>
- [18] KOLEKTIV AUTORŮ (NICOLL S.R.O.). *Výpočet vsakování a retence* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/vsakovani-a-retence/dimenzovani-vsakovaciho-zarizeni.html>
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Nová zelená úsporám*. 2017.
- [20] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Nová zelená úsporám - archiv* [online]. 2017. Dostupné z: <https://archiv.novazelenausporam.cz/podminky-oblasti-podpory-a-3-vyzva/index.htm>
- [21] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám Rodinné domy v rámci 3. výzvy k podávání žádostí* [online]. 2020. Dostupné z: https://archiv.novazelenausporam.cz/file/867/nzu_zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva_06-2017.pdf
- [22] KOLEKTIV AUTORŮ (WWW.TZB-INFO.CZ). *Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN, 20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky* [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [23] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Kotlíkové dotace* [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.opzp.cz/o-programu/kotlikove-dotace/>
- [24] KOLEKTIV AUTORŮ (ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚŘAD). *Územní srážky* [online]. 2019. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>
- [25] KOLEKTIV AUTORŮ (STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ). *Dotazy dotačním programu Dešťovka* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.dotacedestovka.cz/dotazy.html>
- [26] DOC. SVOBODA, Zbyněk. *Energie 2019 EDU* [online]. 2020. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=369>
- [27] KOLEKTIV AUTORŮ (SAINT - GOBAIN). *Kalkulátor zateplení - WEBER* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.weber-kalkulator.cz/fasady/zatepleni/krok/5/1>
- [28] KOLEKTIV AUTORŮ (STAVEBNINY DEK A.S.). *DEK - konfigurátor* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.dek.cz/konfigurator-rozcestnik/>
- [29] KOLEKTIV AUTORŮ (PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE A.S.). *Spotřeba pitné vody* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [30] KOLEKTIV AUTORŮ (DOLIUM - TECH S.R.O.). *Hygienické aspekty využití dešťové*

- vody [online]. 2020. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/20368-hygienicke-aspekty-vyuziti-destove-vody>
- [31] KOLEKTIV AUTORŮ (NICOLL S.R.O.). *Filtrace vody* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/nadrze-na-destovou-vodu/filtracni-sachty.html>
- [32] KOLEKTIV AUTORŮ (NICOLL S.R.O.). *Hospodaření s dešťovou vodou* [online]. 2017. Dostupné z: www.nicoll.cz
- [33] KOLEKTIV AUTORŮ (WWW.ZAKONYPROLIDI.CZ). *Vyhláška č. 120/2011 Sb.* [online]. 2011. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-120?text=zahrada>
- [34] KOLEKTIV AUTORŮ. *Intersucho* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/?from=2020-03-08&to=2020-04-05¤t=2020-03-29>
- [35] KOLEKTIV AUTORŮ (ASIO TECH S.R.O.). *Projekční a instalační podklady* [online]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/materialy-as-gw-aqualoop>

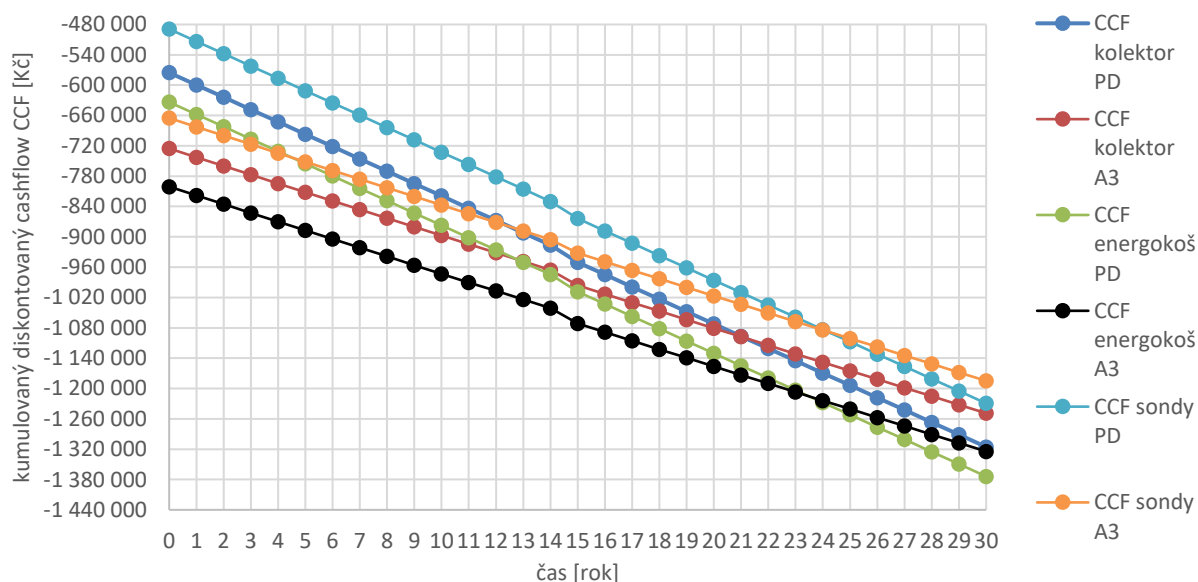
11. Přílohy

11.1. Grafy citlivostní analýzy

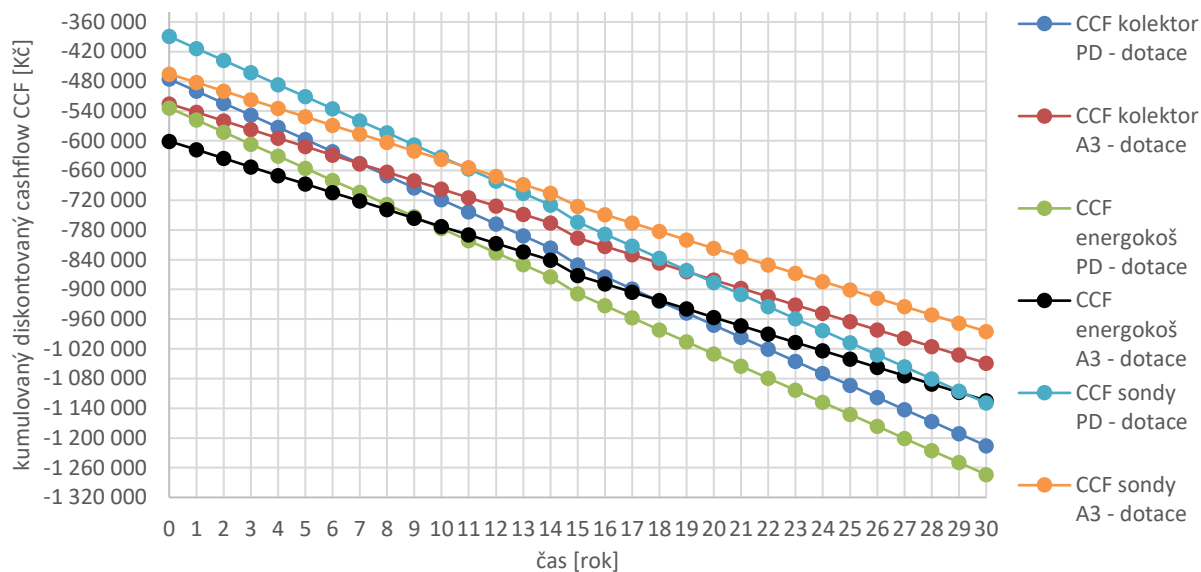
11.1.1. Grafy ke kapitole využití energie země tepelným čerpadlem



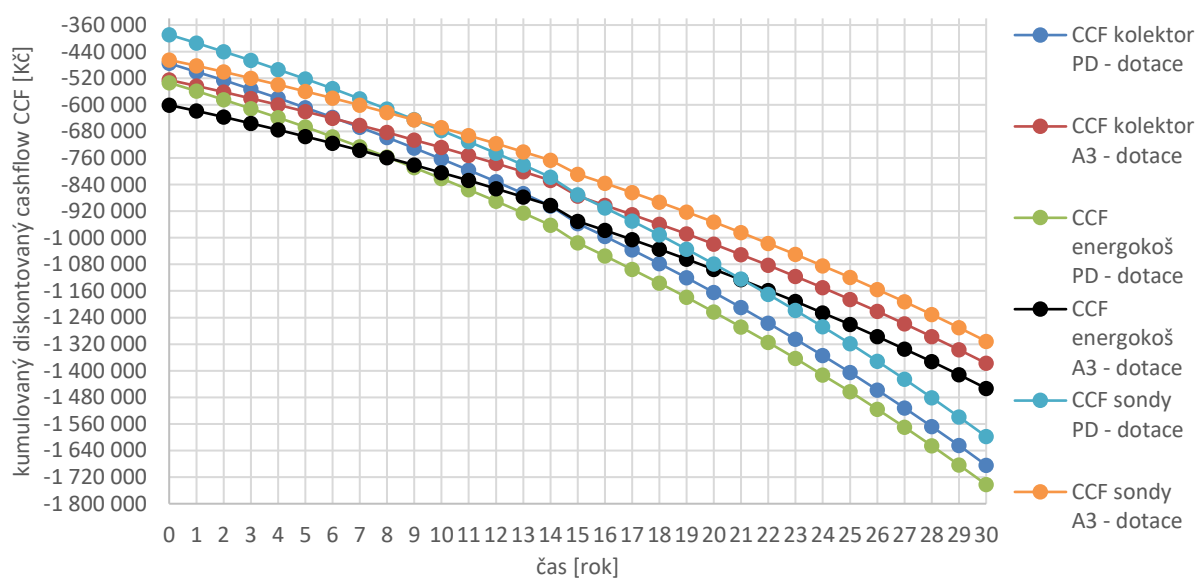
Obr. 32: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie využití energie země



Obr. 33: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy bez uvážení finanční dotace při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země

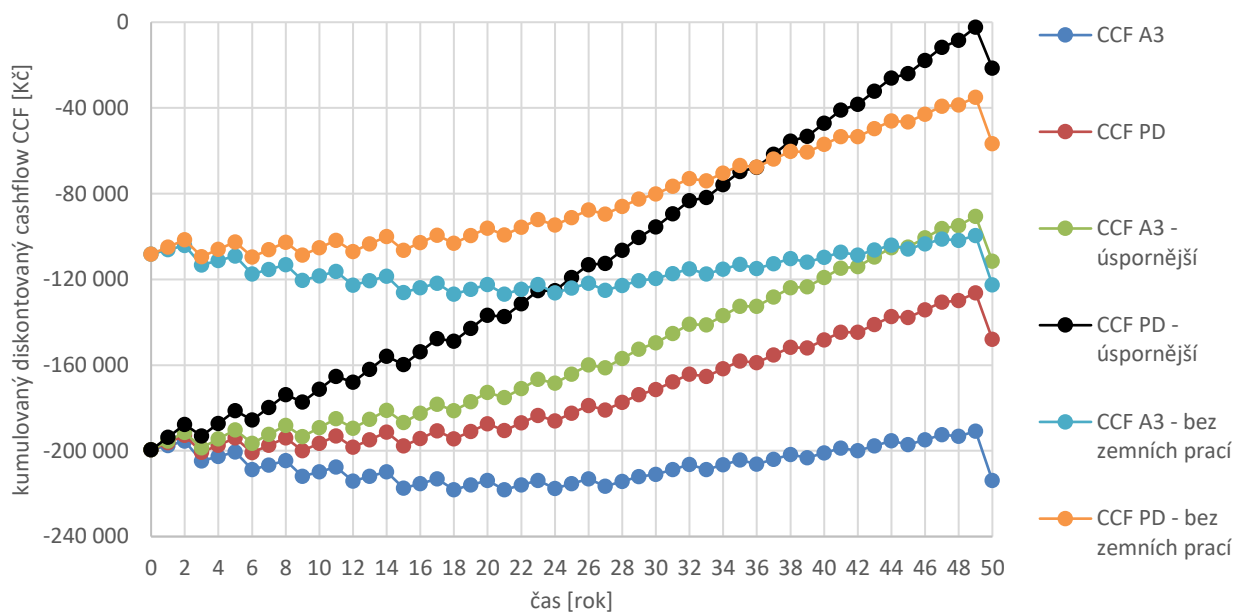


Obr. 34: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země



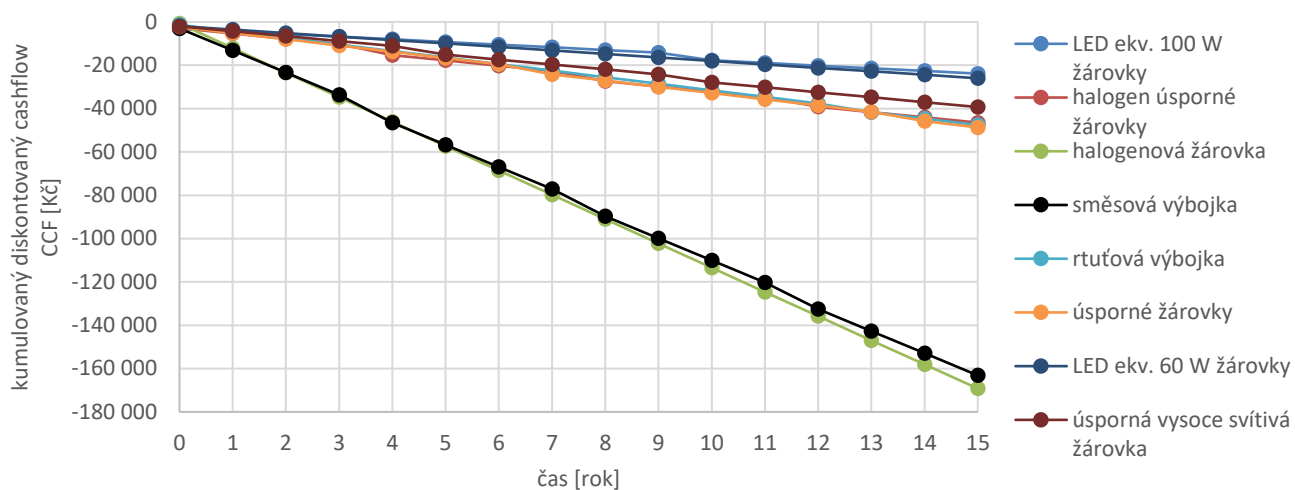
Obr. 35: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy s uvážením finanční dotace při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie využití energie země

11.1.2. Grafy ke kapitole vzdušný zemní výměník



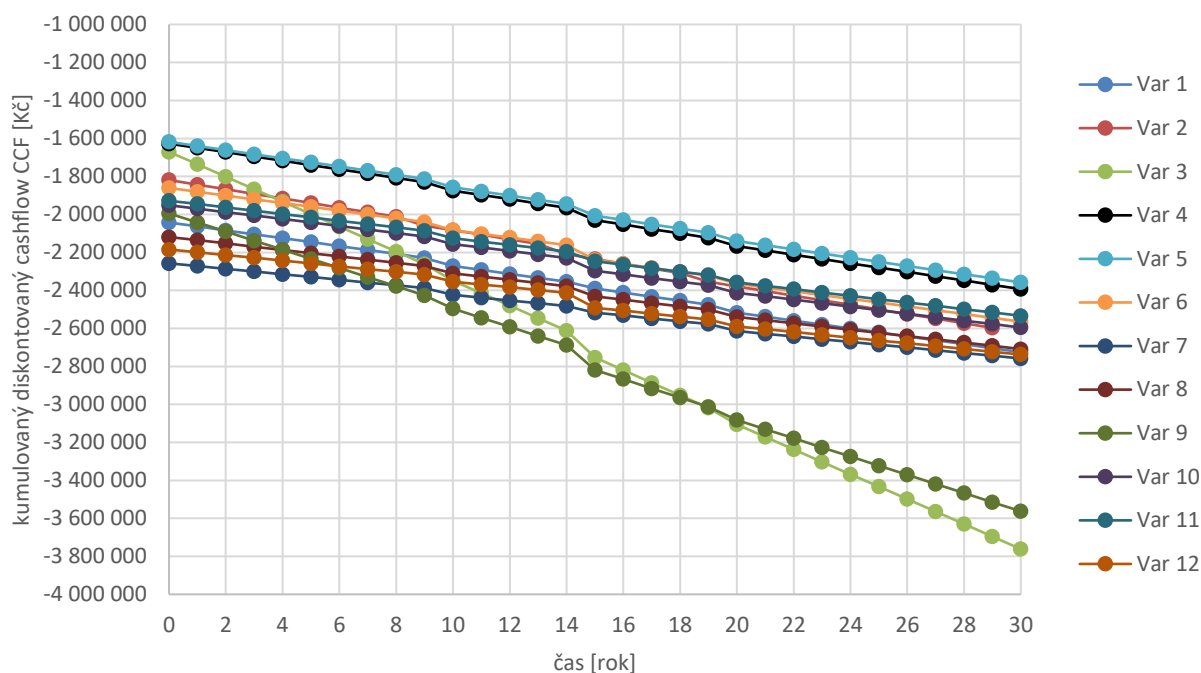
Obr. 36: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé systémy při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vzdušného výměníku v horizontu 50ti let

11.1.3. Grafy ke kapitole umělé osvětlení v rodinném domě

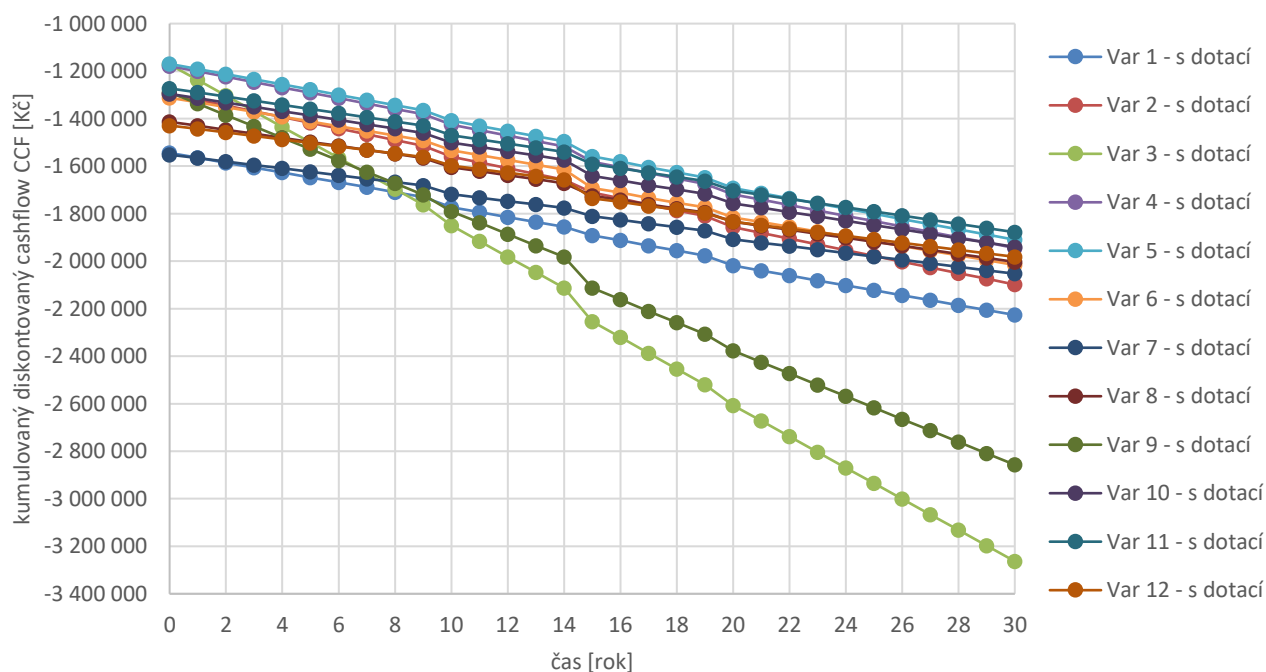


Obr. 37: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé druhy žárovek při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie provozu vnitřních umělých svítidel

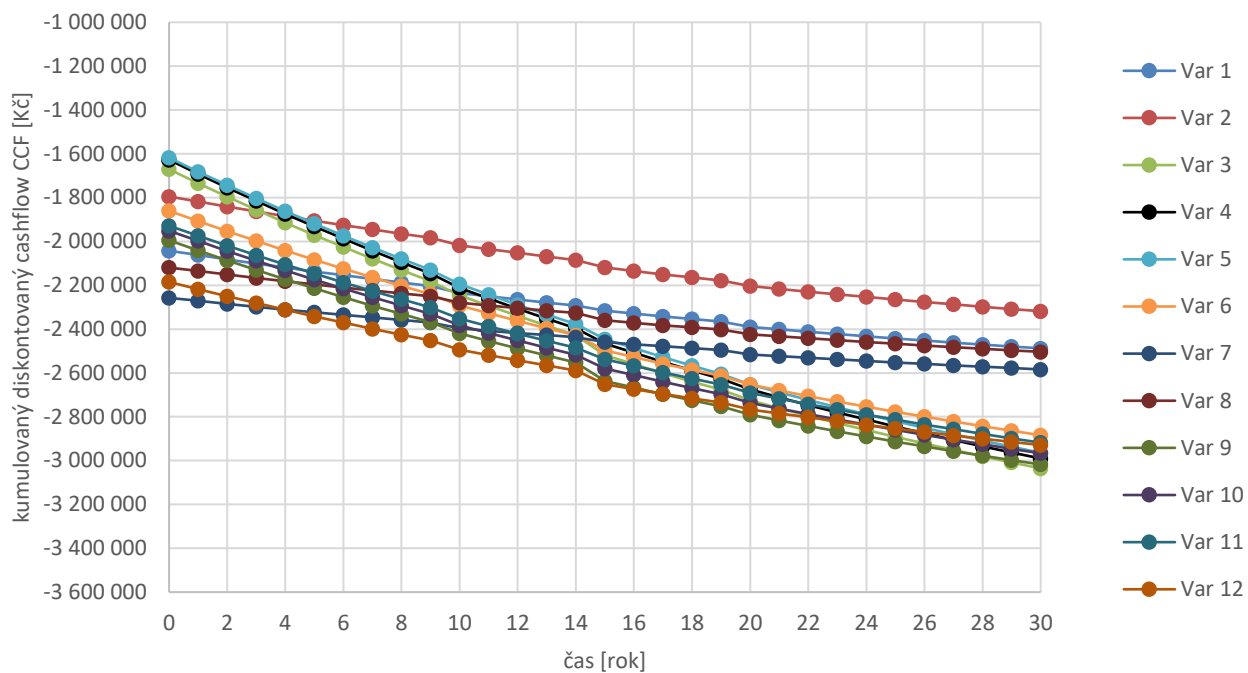
11.1.4. Grafy citlivostní analýzy přípustných variant řešení



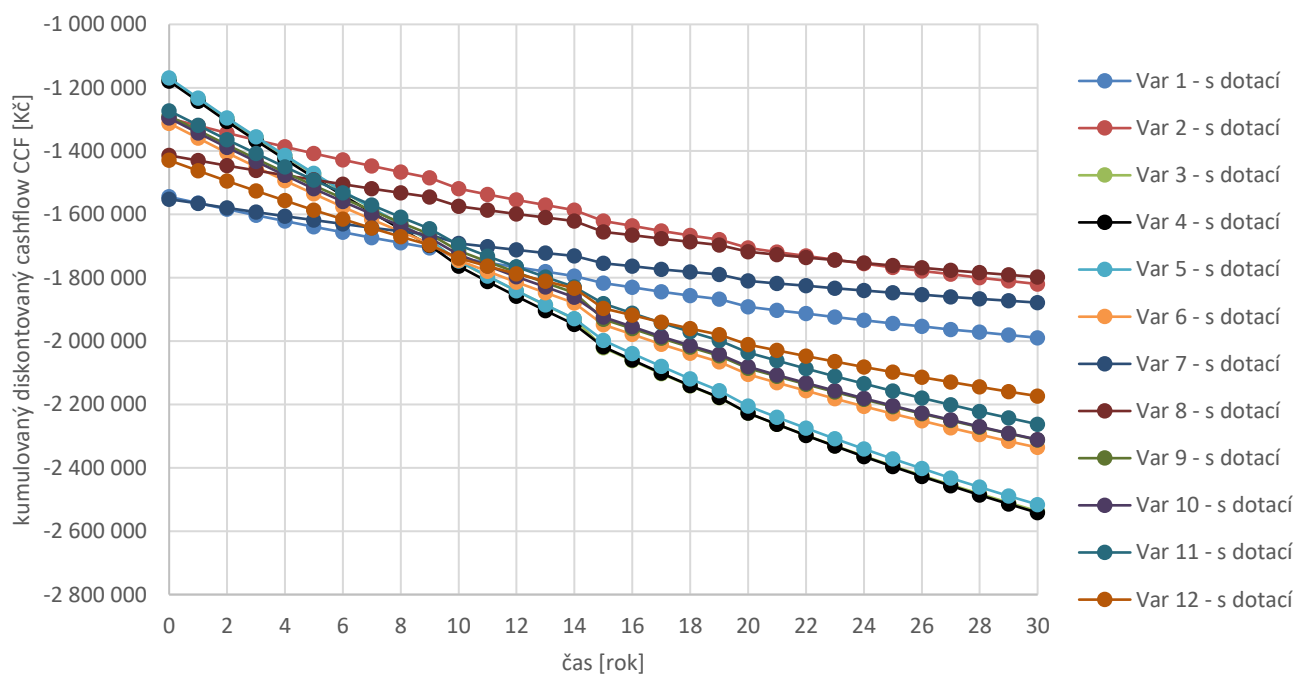
Obr. 38: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů



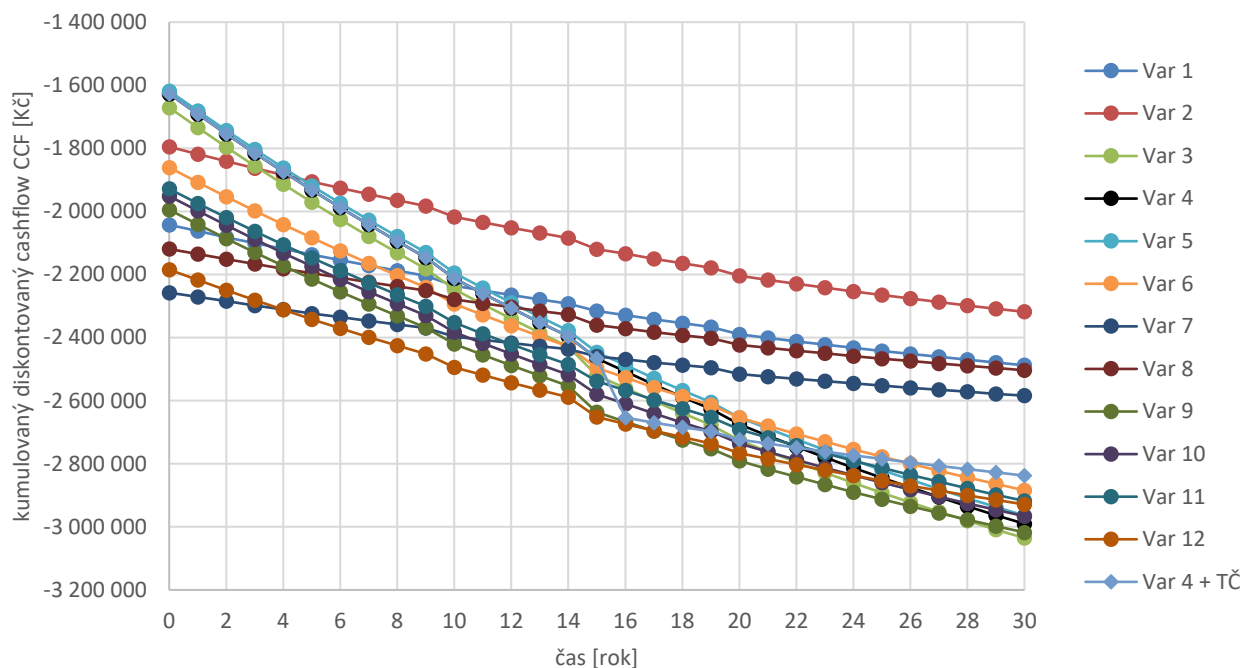
Obr. 39: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv a 0 % eskalaci vodného se zohledněním vlivu finančních dotací z programů



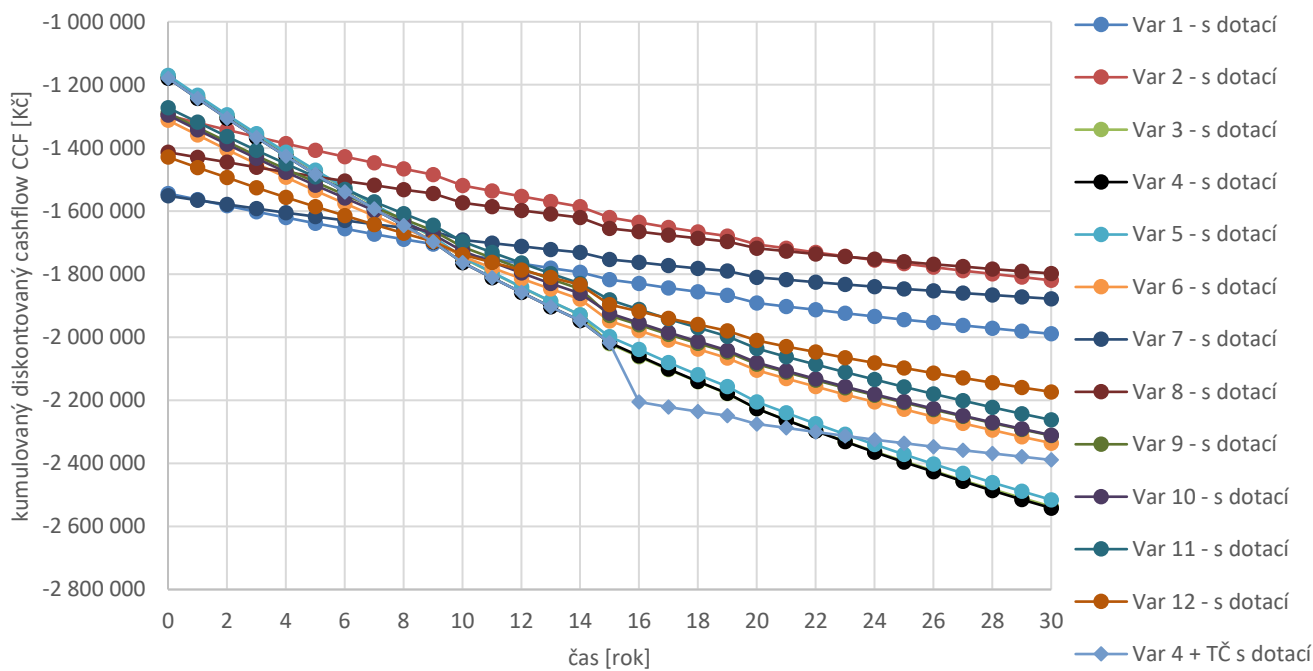
Obr. 40: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů



Obr. 41: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) se zohledněním vlivu finančních dotací z programů

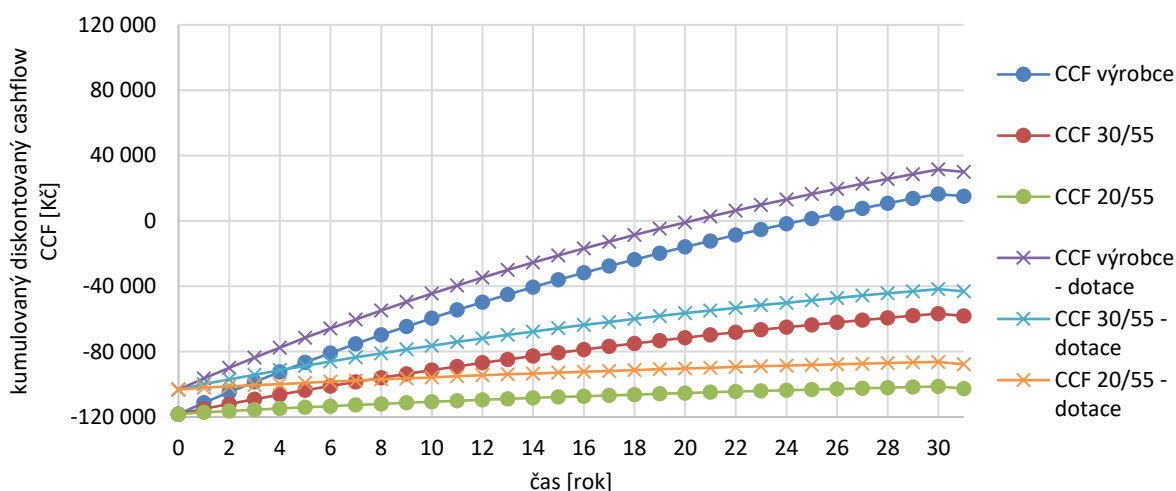


Obr. 42: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) bez zohlednění vlivu finančních dotací z programů

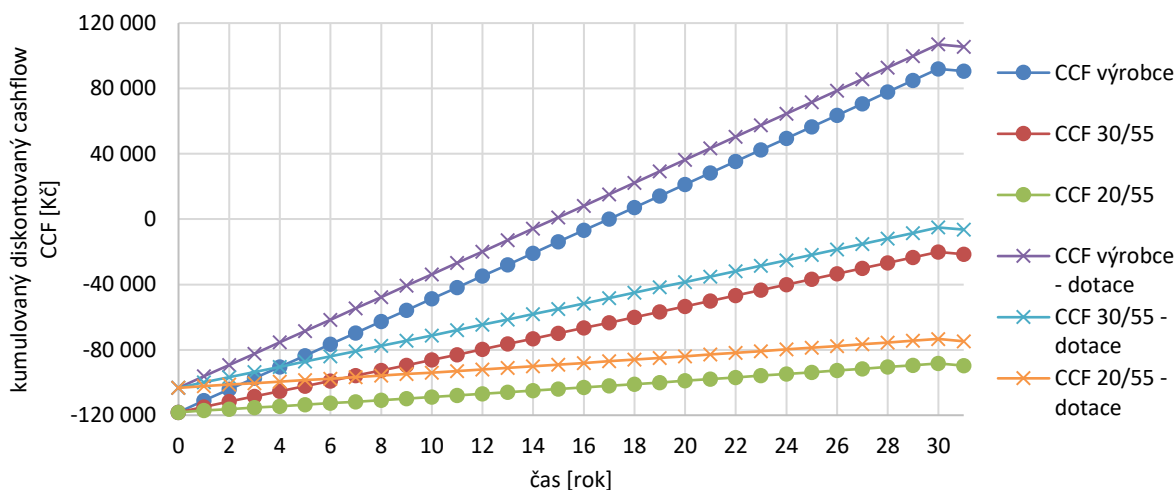


Obr. 43: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé přípustné varianty řešení při 0 % diskontu, 0 % inflaci, 0 % eskalaci elektrické energie, 0 % eskalaci ceny tuhých paliv, 0 % eskalaci vodného, ale se změnou ceny tuhého paliva (dřevěných polen) se zohledněním vlivu finančních dotací z programů

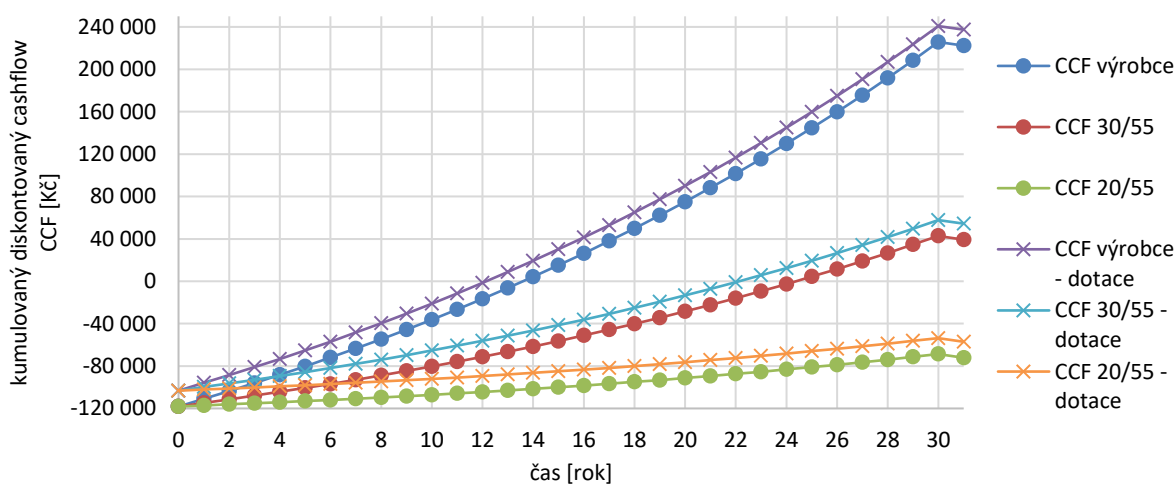
11.1.5. Grafy ke kapitole rekuperace odpadního tepla šedých vod



Obr. 44: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci elektrické energie

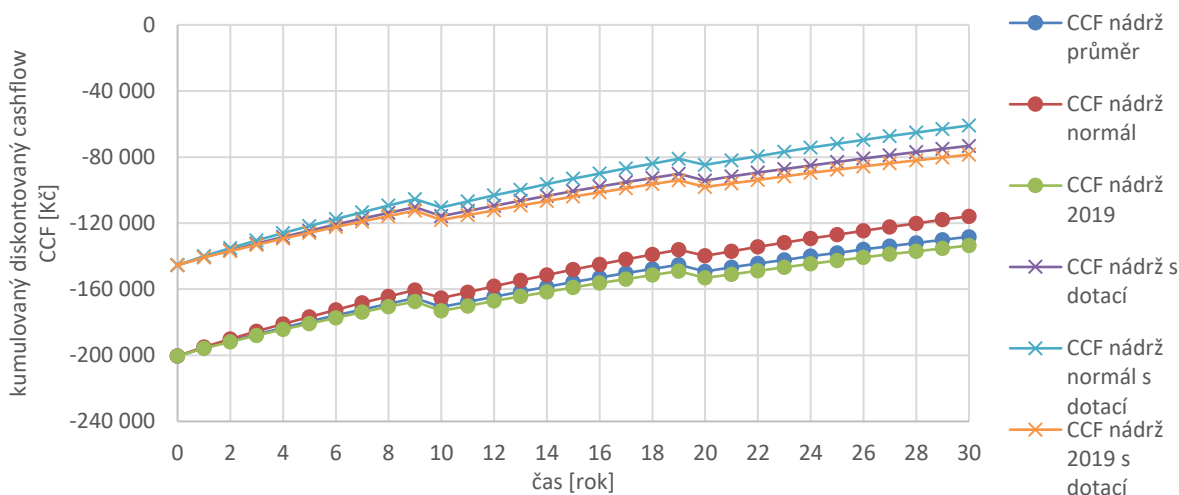


Obr. 45: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie

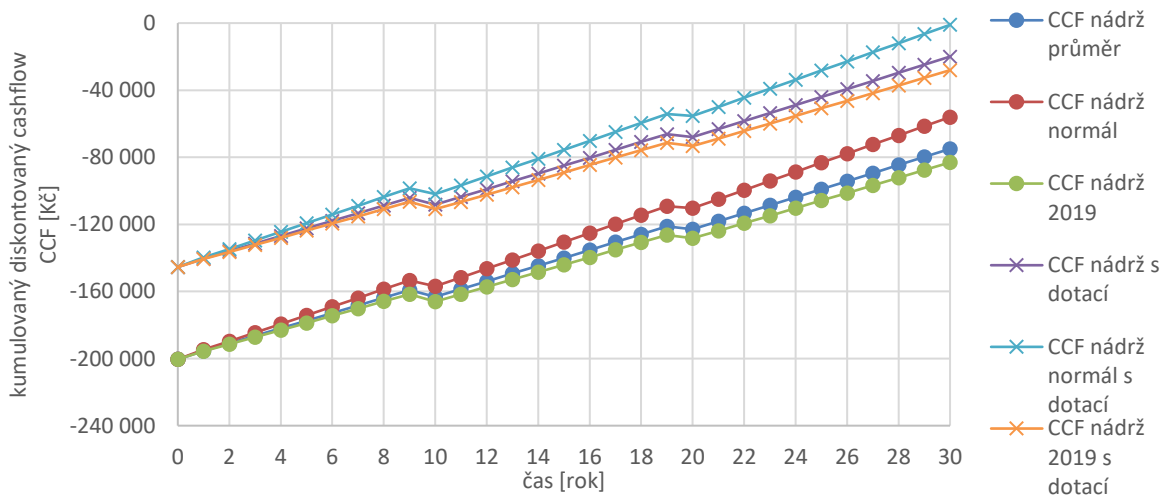


Obr. 46: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci elektrické energie

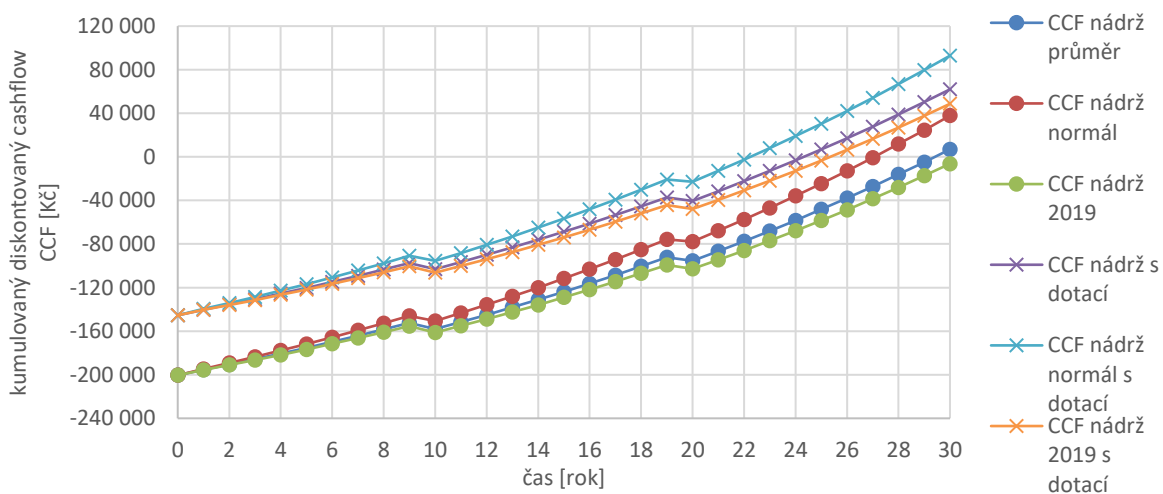
11.1.6. Grafy ke kapitole využití srážkových vod k zálivce zahrady



Obr. 47: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady

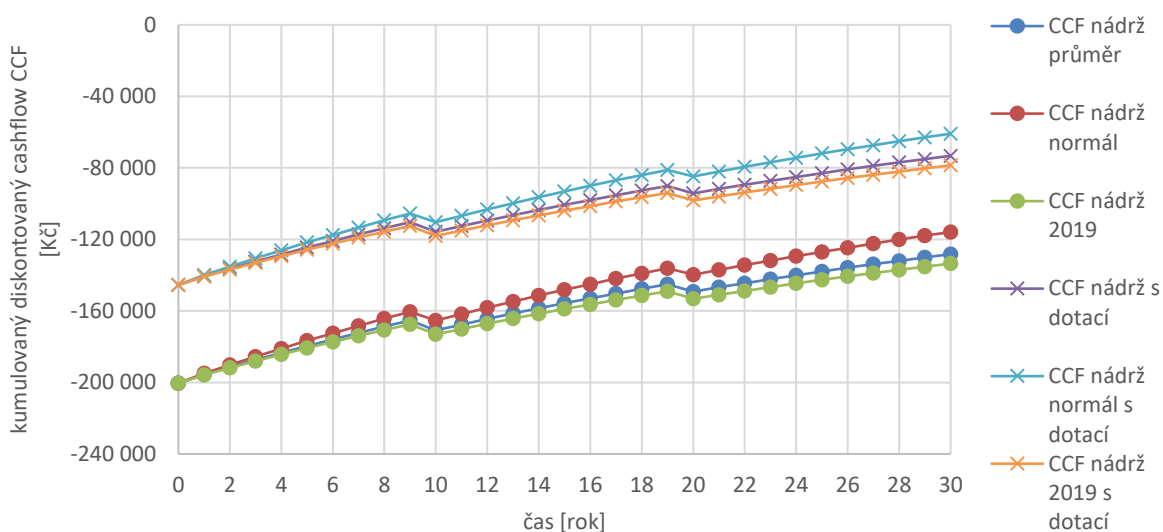


Obr. 48: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady

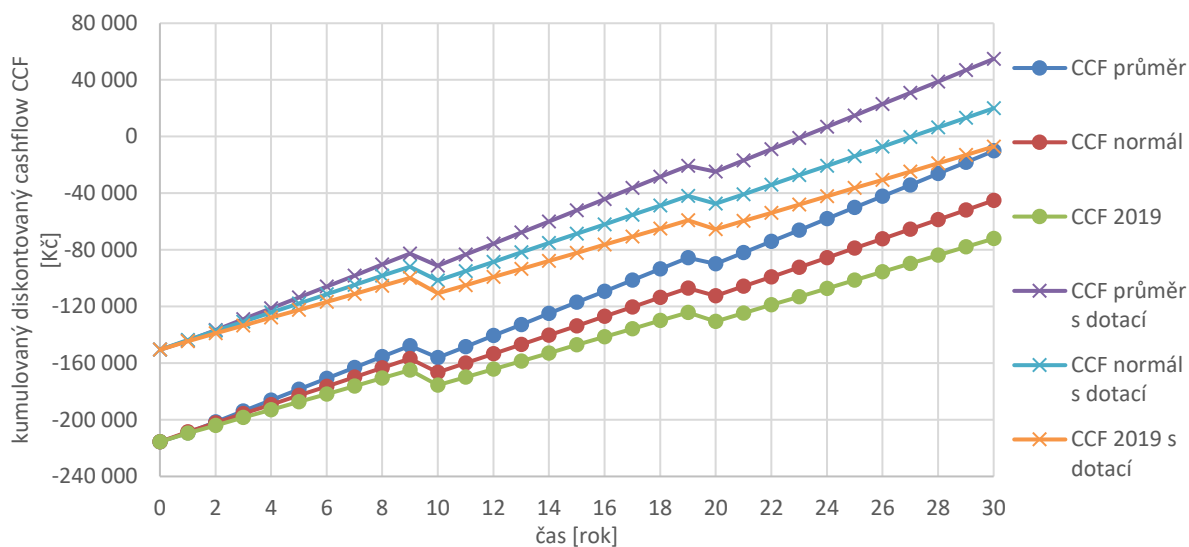


Obr. 49: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému využití srážkových vod k zálivce zahrady

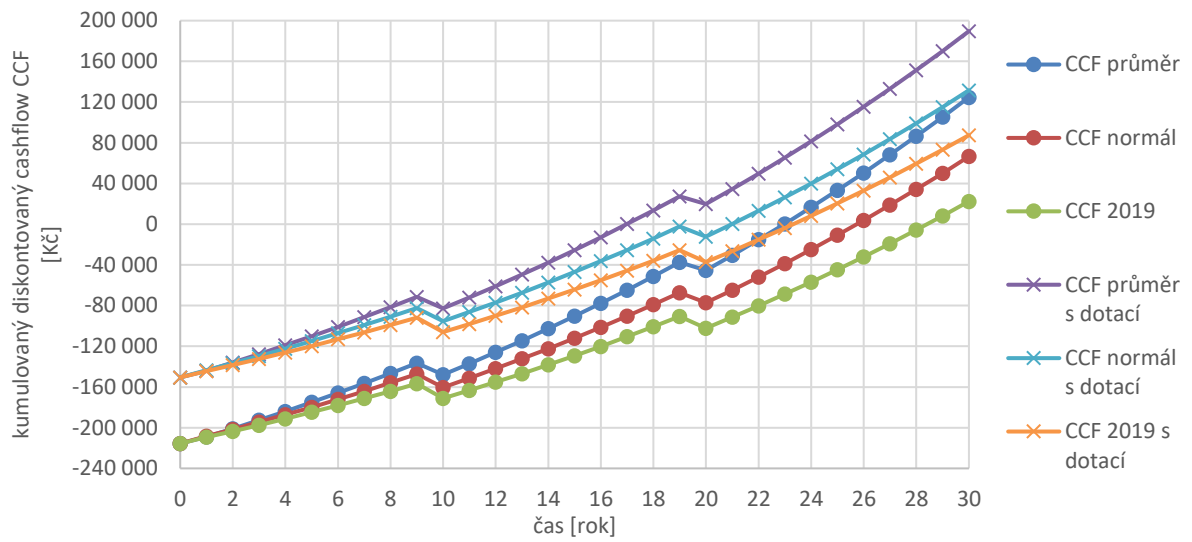
11.1.7. Grafy ke kapitole kombinované využití srážkové vody



Obr. 50: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod

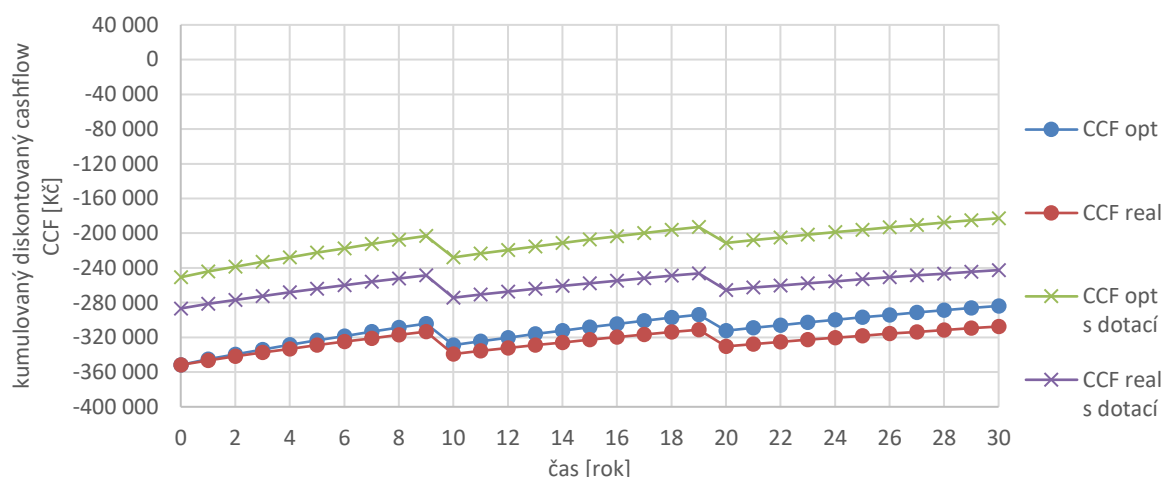


Obr. 51: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod

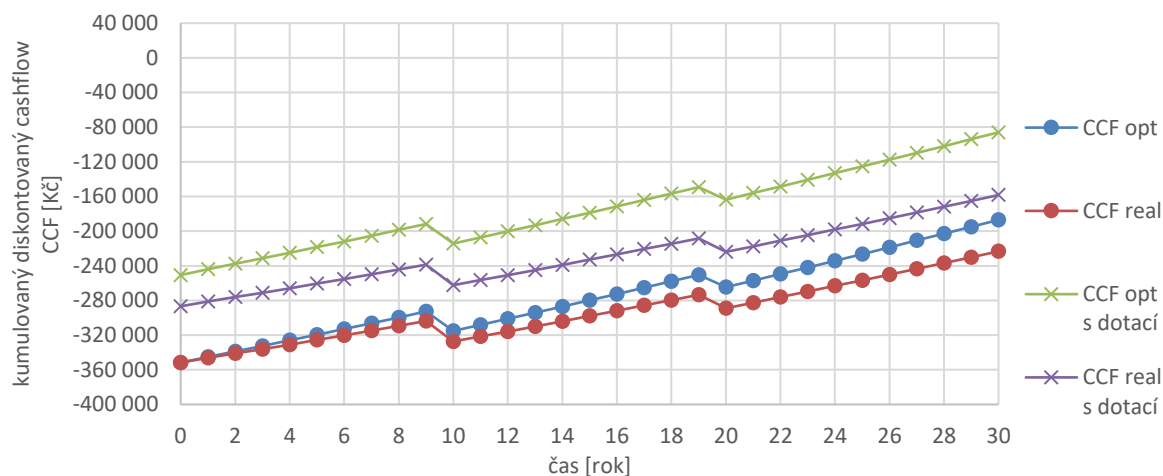


Obr. 52: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému kombinovaného využití srážkových vod

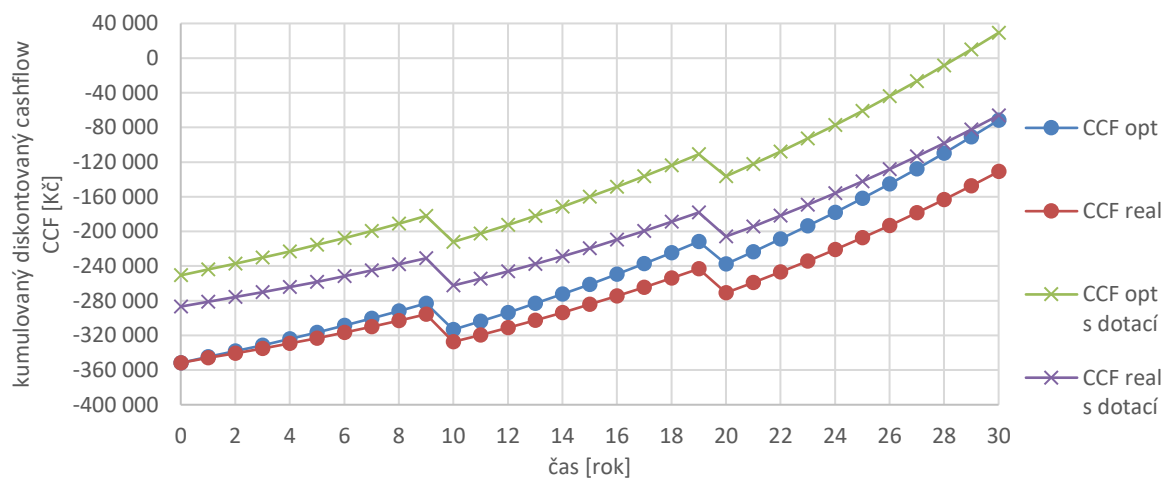
11.1.8. Grafy ke kapitole recyklace šedé vody



Obr. 53: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 0 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody



Obr. 54: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 3 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody



Obr. 55: Graf kumulovaného diskontovaného cashflow CCF [Kč] pro jednotlivé stavy úspor při 0 % diskontu a 3 % eskalaci vodného systému recyklace šedé vody