



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Energeticky úsporný dům v podmínkách ČR

Energy self-sufficient house in the Czech Republic

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

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

Bc. David Hrala
Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hrala** Jméno: **David** Osobní číslo: **459180**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající 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:

Energeticky úsporný dům v podmínkách ČR

Název diplomové práce anglicky:

Energy self-sufficient house in the Czech Republic

Pokyny pro vypracování:

- Analýza stavebních řešení a technických zařízení budov (vytápění, chlazení, přípravy teplé vody, větrání a osvětlení) vhodných pro úsporné domy v podmínkách ČR.
- Návrh variant řešení, například: Spotřeba energií - ostrovní provoz, hybridní provoz, aktivní provoz, potřebný příkon (kW), spotřeba elektřiny (kWh) a typické diagramy dodávky, případně spotřeba vody.
- Energetické bilance a sestavení ekonomického modelu.
- Vyhodnocení variant, shrnutí a vyhodnocení výsledků, 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. (2006) Katalog energeticky soběstačných řešení nejen pro nízkoenergetické domy. Praha: EkoWATT o. s.

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: **08.02.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2022**

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 předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Bc. David Hrala

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jiřímu Beranovskému, Ph.D., MBA za ochotu, cenné rady, vstřícnost při konzultacích a věnovaný čas při vedení diplomové práce. Také bych rád poděkoval rodičům, kteří mi poskytli veškeré dokumentace a informace týkající se jejich rodinného domu, pro který je rekonstrukce uvažována.

Anotace

Diplomová práce se zaměřuje na výběr nejvhodnější kombinace opatření pro rekonstrukci starého rodinného domu v Jižních Čechách do energeticky úsporného domu. V práci jsou popsány energetické standardy a průkaz energetické náročnosti, který je dále využit k hodnocení stavu budovy. U rodinného domu je důkladně analyzován stávající stav a energetická bilance, které indikují vhodnost volby jednotlivých opatření. Podle vhodnosti opatření jsou sestaveny rozdílné varianty, které jsou dále analyzovány za pomoci sestaveného ekonomicko-technického modelu a citlivostních analýz. Na základě tohoto vyhodnocení je doporučena optimální varianta k rekonstrukci rodinného domu.

Klíčová slova: Energetické standardy, rekonstrukce, energeticky úsporný dům, průkaz energetické náročnosti.

Annotation

The master thesis focuses on the selection of the most suitable combination of individual measures for the reconstruction of an old family house in South Bohemia into an energy self-sufficient house. The thesis describes energy standards and energy performance certificate which is further used to assess the condition of the building. The current state and energy balance of the house are thoroughly analyzed to indicate the suitability of individual measures. Combinations of individual measures are further economically and technically analyzed, what-if analysis are also performed. Based on this assessment, the optimal combination for the reconstruction is recommended.

Keywords: Energy standards, reconstruction, energy self-sufficient house, energy performance certificate.

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam použitých zkratk a symbolů	x
Úvod	1
1 Energeticky úsporný dům	5
1.1 Energetické standardy	5
1.1.1 Nízkoenergetický dům	5
1.1.2 Budova s téměř nulovou spotřebou	5
1.1.3 Pasivní dům	6
1.1.4 Další koncepty	7
1.2 Průkaz energetické náročnosti budov	8
1.3 Tepelně technické vlastnosti	10
1.3.1 Tepelný odpor	10
1.3.2 Součinitel prostupu tepla	12
1.3.3 Tepelná ztráta	13
1.4 Nová zelená úsporám	13
1.4.1 NZÚ - oblast podpory A	15
1.4.2 NZÚ - oblast podpory C	16
2 Rekonstrukce rodinného domu	19
2.1 Aktuální stav rodinného domu	19
2.1.1 Lokalita	19
2.1.2 Členění a orientace domu	20
2.1.3 Využitelné dispozice	22
2.1.4 Termovizní měření	23
2.2 Vývoj množství energonositelů	24
2.2.1 Spotřeba elektrické energie	25
2.2.2 Spotřeba zemního plynu	26
2.3 Rozpočet	27
2.4 Teplosměnná obálka budovy	28
2.5 Vyhodnocení stávajícího stavu podle ČSN 73 0331-1	29
2.6 Skladba obalových konstrukcí	30
2.7 Bilance tepelných toků	31
2.8 Energetická bilance	33
3 Jednotlivá opatření	34
3.1 Regenerace oken izolačním trojsklem	34
3.2 Izolace venkovních stěn	35
3.3 Systém větrání s rekuperací tepla	39
3.4 Tepelné čerpadlo	42
3.4.1 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch	43
3.5 Fotovoltaický systém	44
3.5.1 Průběh spotřeby domácnosti	45
3.5.2 Akumulace přebytků do nádrže s vodou	47

3.5.3	Akumulace přebytků do baterie	47
4	Přehled hodnocených variant	50
4.1	Varianta 0	51
4.2	Varianta I	52
4.3	Varianta II	54
4.4	Varianta III	55
4.5	Souhrnné porovnání variant	57
5	Ekonomické zhodnocení	60
5.1	Cena elektrické energie a zemního plynu	60
5.2	Predikce vývoje cen	61
5.3	Diskont	62
5.4	Ekonomické ukazatele	63
5.4.1	Doba hodnocení projektu	63
5.4.2	Čistá současná hodnota	64
5.4.3	Vnitřní výnosové procento	65
5.4.4	Doba návratnosti	65
5.5	Zjednodušující předpoklady modelu	66
5.6	Ekonomické porovnání variant	67
5.7	Citlivostní analýzy	70
5.7.1	Citlivostní analýza NPV na diskontu	71
5.7.2	Citlivostní analýza NPV na inflaci	71
5.7.3	Citlivostní analýza NPV na eskalaci cen energií	72
5.7.4	Dvojrozměrná citlivostní analýza NPV na dotaci	73
5.7.5	Citlivostní analýza NPV na ceně energií	73
5.7.6	Citlivostní analýza NPV na změně spotřeby	75
5.7.7	Citlivostní analýza NPV na změně výše investičních nákladů	75
5.7.8	Zhodnocení citlivostních analýz	76
5.8	Kvalitativní zhodnocení	77
	test	78
	Literatura	80
	Seznam příloh	86

Seznam obrázků

1	Porovnání celkové potřeby energie budov pro jednotlivé energetické standardy, převzato z [6]	2
1.1	Vzor PENB, program Energie 2020, zdroj: autor	9
1.2	Podporované oblasti program NZÚ, převzato z [9]	14
2.1	Lokalita rodinného domu a směrová růžice, zdroj: Google Maps	20
2.2	Půdorys jednotlivých pater, zdroj: projektant Jan Füllsack	21
2.3	Elektrický zásobníkový ohřívač vody OKCE 160, zdroj: autor	22
2.4	Kotel na zemní plyn GARDE G 42 ECO, zdroj: autor	22
2.5	Termovizní měření rodinného domu, zdroj: autor	23
2.6	Termovizní měření - detail komínu po izolaci kouřovodu, zdroj: autor	24
2.7	Historický vývoj spotřeby EE podle nízkého tarifu (NT) a vysokého tarifu (VT), zdroj: autor	25
2.8	Historický vývoj spotřeby ZP, zdroj: autor	26
2.9	Teplosměnná obálka budovy z pohledu VJV, zdroj: autor	29
2.10	Bilance tepelných toků, zdroj: autor	32
3.1	Rozdíl mezi dvojskly a trojskly, převzato z [38]	34
3.2	Rozdílné způsoby ukotvení, převzato z [40]	36
3.3	Graf závislosti součinitele prostupu tepla U na tloušťce d dodatečné izolace, zdroj: autor	37
3.4	Centrální jednotka řízeného větrání s rekuperací tepla, převzato z [53]	39
3.5	Účinnost rekuperace jednotky Atrea 300 EASY, převzato z [53] a upraveno	41
3.6	Bilance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v lednu, zdroj: autor	46
3.7	Bilance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v červnu, zdroj: autor	47
4.1	PENB (zkrácená verze) - varianta 0, program Energie 2020, zdroj: autor	51
4.2	PENB (zkrácená verze) - varianta I, program Energie 2020, zdroj: autor	53
4.3	PENB (zkrácená verze) - varianta II, program Energie 2020, zdroj: autor	55
4.4	Bilance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v červnu při uvažování strojního chlazení, zdroj: autor	56
4.5	NZÚ logo, převzato z [9]	58
5.1	Míra inflace pro ČR v průběhu letu, převzato z [72]	61
5.2	Varianta I - přehled (diskontovaných) hotovostních toků a kumulovaných (diskontovaných) hotovostních toků, zdroj: autor	68
5.3	Přehled kumulovaných diskontovaných hotovostních toků pro všechny varianty, zdroj: autor	69
5.4	Citlivostní analýza NPV na diskontu, zdroj: autor	71
5.5	Citlivostní analýza NPV na eskalaci cen energií, zdroj: autor	72
5.6	Dvojrozměrná CA NPV na výši dotace pro variantu III, zdroj: autor	73
5.7	Citlivostní analýza NPV na ceně variabilní části zemního plynu, zdroj: autor	74
5.8	Citlivostní analýza NPV na změně výše investičních nákladů, zdroj: autor	75

Seznam tabulek

1	Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění, převzato z [1, 2, 3] a upraveno	1
1.1	Zjednodušený přehled faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů energie, převzato z [21] a upraveno	8
1.2	Ukazatele energetické náročnosti pro novou a rekonstruovanou budovu, převzato z [21] a upraveno	10
1.3	Závislost tepelných odporů na směru, převzato z [27] a upraveno	11
1.4	Požadované parametry v oblasti podpory A, převzato z [29]	15
1.5	Výše podpory v oblasti podpory A, převzato z [29]	16
1.6	Výše podpory v oblasti podpory C.3, převzato z [29] a upraveno	17
2.1	Základní údaje o rodinném domě, zdroj: autor	21
2.2	Fixní náklady při odběru zemního plynu (ZP) a elektrické energie (EE), vypočteno na základě [32, 33], zdroj: autor	27
2.3	Maximální rozpočet dle energonositele, zdroj: autor	27
2.4	Rozdílné hodnoty dodané energie dle profilu užívání, zdroj: autor	29
2.5	Faktory ovlivňující výpočty s požadavky dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. a dle nastaveného profilu, zdroj: autor	30
2.6	Skladba obalových konstrukcí a výplně stavebních otvorů, zdroj: autor	31
2.7	Energetická bilance objektu - bazická varianta, zdroj: autor	33
3.1	Cenová kalkulace vč. DPH regenerace trojskel za dvojskla	35
3.2	Cenová kalkulace bez DPH materiálů vztažená na m ² pro tloušťku $d = 60$ mm, převzato z [44, 45] a upraveno	37
3.3	Cenová kalkulace bez DPH materiálů vztažená na m ² pro tloušťku $d = 100$ mm, převzato z [44, 45] a upraveno	38
3.4	Cenová kalkulace bez DPH činností spojených se zateplením fasády vztažená na m ² , převzato z [46] a upraveno	38
3.5	Základní údaje a cenová kalkulace vč. DPH pro decentralní jednotku, zdroj: [47, 48]	39
3.6	Základní údaje a cenová kalkulace bez DPH pro centrální jednotku, zdroj: [52]	40
3.7	Vypočtené chladicí výkony pro jednotlivé místnosti, zdroj: autor	43
3.8	Cenová kalkulace bez DPH pro klimatizaci s invertní technologií vytápění, zdroj: [62]	44
3.9	Parametry panelu Canadian Solar 420Wp POLY, převzato z [64] a upraveno .	45
3.10	Kombinace nárůstu instalovaného výkonu a kapacit baterie, zdroj: autor . . .	48
3.11	Porovnání subvariant fotovoltaického systému dle kritéria NPV, zdroj: autor .	49
4.1	Měrné náklady a měrné dotace pro zvolená opatření, zdroj: autor	53
4.2	Srovnání variant s bazickou variantou dle energetických ukazatelů, zdroj: autor	58
4.3	Srovnání variant dle dalších ukazatelů, zdroj: autor	58
5.1	Rozdělení tarifu elektrické energie a zemního plynu dle fixní a variabilní části a dle regulovaných a neregulovaných složek, shrnuto na základě [32, 33, 71], zdroj: autor	60
5.2	Srovnání variant dle ekonomických ukazatelů, zdroj: autor	69
5.3	Shrnutí citlivostních analýz, zdroj: autor	76

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	[m ²]	Teplosměnná plocha obálky budovy
a	[m]	Charakteristický rozměr tloušťky zasklení
CA		Čitlivostní analýza
CF	[Kč]	Cash flow = hotovostní tok
CF_t	[Kč]	Cash flow v roce t
CO ₂		Oxid uhličitý
ČSN		Česká technická norma
DCF	[Kč]	Diskontovaný cash flow
DCF_t	[Kč]	Diskontovaný cash flow v roce t
d_i	[m]	Tloušťka i -tého materiálu
DPH		Daň z přidané hodnoty
EE		Elektrická energie
FVE		Fotovoltaická elektrárna
H	[W/K]	Měrná tepelná ztráta prostupem tepla
IRR		Internal rate of return = vnitřní výnosové procento
JJZ		Jiho-jihozápad
n_{50}	[1/h]	Průvzdušnost obálky budovy při 50 Pa
NP		Nadzemní podlaží
NPV		Net present value = čistá současná hodnota
NT		Nízký tarif
NZEB		Vysoký tarif
NZÚ		Nová zelená úsporám
OZE		Obnovitelné zdroje energie
PD		Pasivní dům
PENB		Průkaz energetické náročnosti budovy
PHPP		Passive House Planning Package
P_{inst}	[kW]	Instalovaný výkon
POZE		Podporované zdroje energie
Q	[W]	Tepelná ztráta budovy
$Q_{FV,celk}$	[kWh]	Celkový teoretický zisk fotovoltaického systému
R_i	[(m ² .K)/W]	Tepelný odpor vrstvy i
r_n	[-]	Nominální diskont
r, r_r	[-]	Reálný diskont
R_{se}	[(m ² .K)/W]	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_{si}	[(m ² .K)/W]	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
R_T	[(m ² .K)/W]	Celkový tepelný odpor složené konstrukce

TČ		Tepelné čerpadlo
T_e	[K]	Vnější výpočtová teplota
T_i	[K]	Vnitřní výpočtová teplota
T_n	[rok]	Prostá doba návratnosti investice
T_{nD}	[rok]	Diskontovaná doba návratnosti investice
TNI		Technická normalizační informace
$T_{\dot{z}}$	[rok]	Doba životnosti (hodnocení) projektu
U	[W/(m ² .K)]	Součinitel prostupu tepla
U_{em}	[W/(m ² .K)]	Průměrný součinitel prostupu tepla
$U_{N,20}$	[W/(m ² .K)]	Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla
$U_{em,rec,20}$	[W/(m ² .K)]	Doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla
$U_{pas,20}$	[W/(m ² .K)]	Doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla pro PD
U_f	[W/(m ² .K)]	Součinitel prostupu tepla rámu
U_g	[W/(m ² .K)]	Součinitel prostupu tepla skla
VT		Vysoký tarif
VJV		Východo-jihovýchod
ZP		Zemní plyn
α_e	[W/(m ² .K)]	Přestup tepla na vnější straně konstrukce
α_i	[W/(m ² .K)]	Přestup tepla na vnitřní straně konstrukce
Δ		Změna v příslušné jednotce
α	[-]	Míra inflace
λ_i	[W/(m.K)]	Tepelná vodivost i -té vrstvy

Úvod

Kvůli stále se zvyšující poptávce po energiích a kvůli globálnímu oteplování se stává energetická efektivita a energetická soběstačnost budov důležitější než doposud. Technologie výstavby se zdokonalují a umožňují konstrukci budov s nižšími nároky na vytápění a možností výroby vlastní elektrické energie. Právě tyto dva parametry rozhodují o klasifikaci budov s velmi nízkou energetickou náročností. [1] Obecně uznávané názvy jsou zachyceny v Tab. 1, pokud je kategorie definována v některé normě, zákonu či vyhlášce, tak je použit tento název.

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
Starší budovy	160 - 280 kWh/(m ² .a) i více
Obvyklá novostavba do r. 2007	80 - 140 kWh/(m ² .a) v závislosti na faktoru tvaru A/V
Nízkoenergetická budova	≤ 50 kWh/(m ² .a)
Budova s téměř nulovou spotřebou energie	obvykle 30 - 70 kWh/(m ² .a)
Pasivní budova	≤ 20 kWh/(m ² .a)
Budova s nulovou potřebou tepla na vytápění	≤ 5 kWh/(m ² .a)
Energeticky nulová budova	potřeba konečné energie pro provoz budovy = 0 kWh/(m ² .a)
Energeticky plusová budova	potřeba konečné energie pro provoz budovy < 0 kWh/(m ² .a)
Energeticky soběstačná budova	nelze jednoznačně stanovit; nezávislost na obvyklém energetickém zásobování

Tab. 1: Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění, převzato z [1, 2, 3] a upraveno

První uvedená a také nejméně náročná kategorie je nízkoenergetická budova, která je definována měrnou potřebou tepla na vytápění nižší než 50 kWh/(m².a) [2] a dalšími technickými parametry jako jsou součinitel prostupu tepla, neprůvzdušnost obálky, apod. v technické normalizační informaci TNI 73 0329 [4]. Z důvodu technického pokroku v oblasti stavebnictví a z důvodu zpřísnování legislativy se v této době jedná o zastaralý pojem. [3]

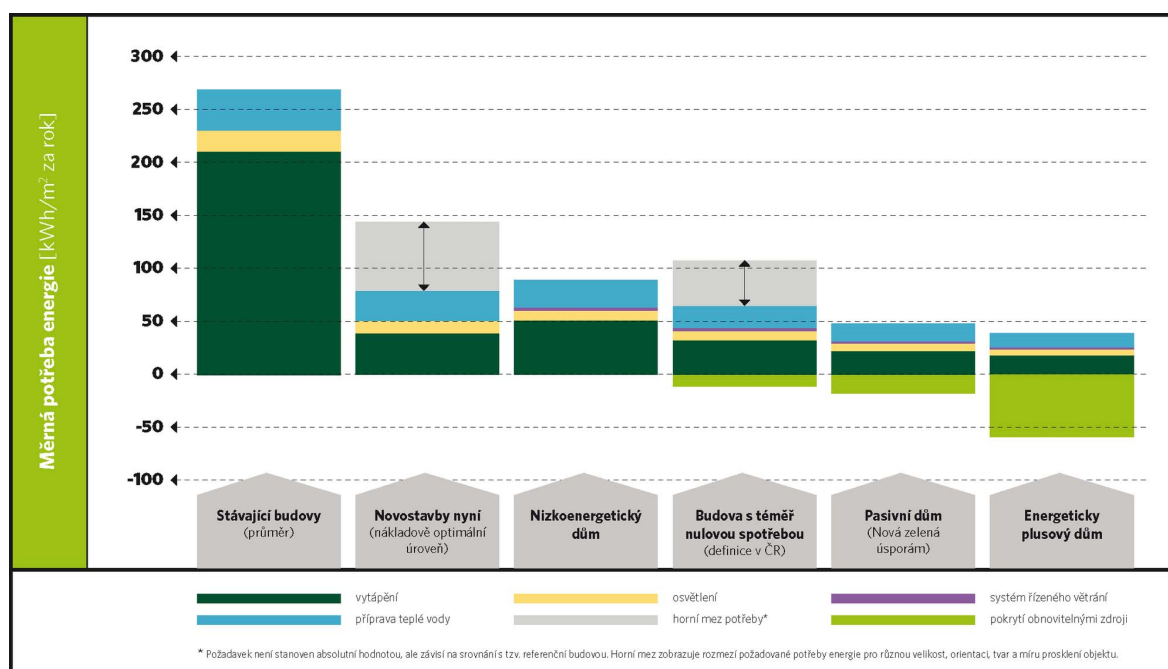
Přísnější nároky z hlediska potřeby tepla na vytápění jsou kladeny na pasivní budovu, maximální hranice je 20 kWh/(m².a)¹⁾. Na pasivní budovy jsou kladeny další požadavky jako množství neobnovitelné primární energie, neprůvzdušnost obálky nebo maximální

¹⁾Dle ČSN 73 0540, resp. TNI 73 0329 pro rodinné domy, dle Passive House Planning Package (PHPP) je požadavek 15 kWh/(m².a)

četnost překročení nejvyšší stanovené teploty vzduchu v letních měsících. [3] Největší důležitost se dává omezení tepelných ztrát a dosažení navrhovaných vnitřních teplot vzduchu. Samotnou nízkou energetickou potřebu lze pokrýt systémem nuceného větrání s účinnou rekuperací tepla a zařízením na ohřev vzduchu v období chladných dnů. [1].

Parametrů nulových a energeticky plusových budov na rozdíl od pasivních budov není obvykle dosaženo zlepšením tepelné izolace, ale navýšením vlastní výroby el. energie, čehož je možné dosáhnout např. větší plochou fotovoltaických panelů. Pokud je dosaženo nulového nebo energeticky plusového standardu, tak jsou zpravidla splněny podmínky pasivního standardu. Takové typy budov v letních měsících dodávají přebytky energie do nadřazené sítě a v zimních měsících ze sítě mohou čerpat. V případě energeticky nulové budovy je výsledná roční bilance energetických toků nulová, pro energeticky plusovou budovu je tato bilance kladná. [5]

Následující Obr. 1 dává do grafického porovnání jednotlivé kategorie z hlediska potřeby energie pro vytápění, přípravu teplé vody, osvětlení a systém větrání. Pro poslední tři standardy je znázorněno také pokrytí OZE. Jedná se pouze o přibližné rozpětí, jelikož absolutní hodnoty požadavků nabývají různých hodnot v závislosti na tvaru budovy, míře prosklení a orientaci oken na světovou stranu. [3]



Obr. 1: Porovnání celkové potřeby energie budov pro jednotlivé energetické standardy, převzato z [6]

Výše zmíněná klasifikace neuvažuje závislost či nezávislost budovy na inženýrských sítích. Je zřejmé, že energeticky plusová budova, která je dimenzována tak, aby dodávala energii do sítě, musí být připojena k jednotlivým distribučním soustavám. Existují možnosti poloostrovních až ostrovních řešení²⁾, které se vyznačují mírou nezávislosti na inženýrských sítích, zejména

²⁾ Často se užívá termín off-grid.

se jedná o elektřinu, vodu, zemní plyn, teplo a kanalizaci. Typickým představitelem ostrovních řešení bývaly hospodářské statky, ve kterých se energie zajišťovala ve formě dřeva z přilehlého lesa, potrava se v dostatečné míře pěstovala a kanalizace byla pouze lokální a na velmi primitivní úrovni.

V podmínkách České republiky dosahují domácnosti čtvrtinové celkové spotřeby elektrické energie³⁾ a jsou největšími odběrateli tepla⁴⁾. V absolutních hodnotách lze na tyto údaje nahlížet jako na 15,3 TWh elektrické energie a 33,7 PJ tepla [7, 8]. Z těchto skutečností lze vyvodit, že domácnosti v České republice disponují značným potenciálem k úsporám energií.

Šetření energií při výstavbě nových budov či při rekonstrukci stávajících budov je státem podporováno pomocí dotačních programů, mezi nejdůležitější dotační program z hlediska budov patří Nová zelená úsporám, která v sobě zahrnuje dotace např. na solární systémy, na komplexní zateplení budovy či bonus za použití materiálů s vydaným environmentálním prohlášením typu III. [9]

Náklady na elektrickou energii a teplo obvykle tvoří podstatnou část provozních nákladů domácnosti. Jedná se o jeden z nejdůležitějších faktorů, který zvyšuje zájem o budovu s nižší energetickou náročností, resp. s vyšší energetickou účinností. Další rozhodující faktor je nezanedbatelná míra nejistoty s ohledem na dodávky energie, jelikož může dojít k přerušení dodávky elektrické energie zákazníkům např. z důvodů povodně či poničení elektrického vedení sněhovou kalamitou nebo silným větrem [10, 11], ale rovněž se může jednat o plánovanou odstávku ze strany distributora. V neposlední řadě zde figurují zájem o životní prostředí a zájem o technologické inovace.

Přesto zájem o takový typ bydlení nemusí být pouze ekonomický. Pasivní, nulové i plusové budovy poskytují pro uživatele komfortní vnitřní prostředí nad obvyklou úrovní. Kvality bydlení je dosaženo stálým přívodem čerstvého vzduchu bez průvanu, teplotních výkyvů v místnosti a také za pomoci dodržování doporučené vnitřní vlhkosti v zimě i v létě. [12] Tyto budovy jsou rovněž připraveny na nastupující elektromobilitu, kdy přebytek energie je možné využít k nabíjení elektromobilu či případně opačný proces při nedostatku a energii z baterie čerpat. [5]

Kromě obecného zájmu o nízkoenergetické budovy existují zákony a nařízení, které se touto problematikou zabývají. Zákony v České republice vychází ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a ze Směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti budov. [13, 14] Z těchto směrnic vyplývá úprava zákona č. 406/2000 Sb. [15, 16] Zákon č. 406/2000 Sb. definuje pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie jako *"budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů"*. [16] Navzdory

³⁾Spotřeba elektrické energie domácností pro rok 2019 činí 26 %.

⁴⁾Spotřeba tepla domácností pro rok 2019 činí 42 %.

podobnosti názvů s pojmem "budova s nulovou potřebou tepla na vytápění", se jedná o velmi rozdílné definice. Budova s téměř nulovou spotřebou energie je upravována vyhláškou č. 264/2020 Sb. a obecně lze uvést, že má měrnou potřebu tepla na vytápění v rozmezí 30 až 70 kWh/(m².a), čímž odpovídá přibližně nízkoenergetickým budovám s vyšším důrazem na OZE. [3, 17]

Práce směřuje k návrhu vhodných opatření pro rekonstrukci rodinného domu do energeticky úsporného domu. Takový standard v podmínkách České republiky nejvíce odpovídá budově s téměř nulovou spotřebou energie, která dále zůstává připojena k inženýrským sítím.

Samotná metodika hodnocení energetické spotřeby novostaveb a rekonstruovaných budov není jednotná. Mezi nejběžněji využívané metodiky v České republice patří:

- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, ve které jsou definovány pojmy nízkoenergetická, pasivní a nulová budova. [2, 18]
- TNI 73 0329 a TNI 73 0330 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění. První norma se využívá pro rodinné domy, druhá norma pro bytové domy. TNI hodnotí také primární energii na provoz domu z neobnovitelných zdrojů. [4, 18]
- Průkaz energetické náročnosti budovy, který vychází ze zákona č. 406/2000 Sb. [16]
- Passive House Planning Package (PHHP) nástroj vyvinutý v Německu k optimalizaci pasivních budov.

Pro ekonomické zhodnocení variant je jako primární ukazatel zvolena čistá současná hodnota NPV (*Net Present Value*), vnitřní výnosové procento IRR (*Internal rate of return*) a diskontovaná doba návratnosti investice T_{nD} . Jako doplňkový ukazatel je zvolena prostá doba návratnosti investice T_n . Pro zhodnocení průběhu investic bude využito hodnot hotovostního toku a diskontovaného hotovostního toku.

Veškeré výpočty jsou prováděny za pomoci programu Energie 2020. [19]

1 Energeticky úsporný dům

1.1 Energetické standardy

1.1.1 Nízkoenergetický dům

Nízkoenergetický dům je charakterizován nízkou měrnou potřebou tepla na vytápění. Technický pokrok ve stavebnictví umožňuje dosažení optimalizovaného stavebního řešení obálky budovy bez nutnosti velkých počátečních investic. Aktuální nezávazná definice stanovuje potřeba tepla nižší než $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ [2], obvykle je tato potřeba výrazně nižší než legislativně závazná. V normě se dále bez upřesnění uvádí požadavky na součinitel prostupu tepla, neprůvzdušnost obálky a účinnost otopné soustavy. [2, 4]

Na konci minulého století bylo stanovené kritérium $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ [20] a dá se předpokládat, že se kritérium bude zpřísňovat s postupně se zpřísňujícím základním požadavkem na budovy, případně tento termín úplně vymizí. Nízkoenergetické domy nejsou podrobněji rozebrány, jelikož přísnější standardy (budova s téměř nulovou spotřebou, pasivní standard, energeticky nulový standard) splňují požadavky nízkoenergetického standardu. [20]

1.1.2 Budova s téměř nulovou spotřebou

Jedná se o první a prozatím jediný legislativně závazný energetický standard v České republice. Uvádí se také jako NZEB - nearly zero energy building. Tento standard vychází ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, ve které je uvedeno: *”Je třeba přijmout opatření s cílem zvýšit počet budov, které nejenže splňují současné minimální požadavky na energetickou náročnost, ale jsou i energeticky účinnější, čímž dojde ke snížení spotřeby energie i emisí oxidu uhličitého. Za tímto účelem by členské státy měly vypracovat vnitrostátní plány na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou energie a pravidelně o těchto plánech předkládat zprávy Komisi.”* [3, 13]

Dále pro účely směrnice se budovou s téměř nulovou spotřebou energie rozumí budova *”jejíž energetická náročnost určená podle přílohy I je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba*

požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí". [13].

Tímto způsobem definované požadavky vč. těch v příloze I dané směrnice nedávají zcela konkrétní hodnoty, kterých musí NZEB dosáhnout a směrnice nechává na členských státech, jak jednotlivé pojmy upřesní a uvedou v legislativě. Pro Českou republiku je směrnice implementována do zákona č. 406/2000 Sb a technické parametry byly uvedeny ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., která je zrušena k 01. 09. 2020 a nahrazena vyhláškou č. 264/2020 Sb. [13, 16, 21]

Výše zmíněný zákon s vyhláškou jednotlivé pojmy téměř nerozvíjí proti původnímu znění:

- **Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie**

Tento požadavek je upřesněn pouze hodnotou redukčního činitele požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $f_R = 0,7$. [21]

- **Značný rozsah pokrytí z obnovitelných zdrojů**

Pojem je definován za pomoci snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie stanovené pro referenční budovu $\Delta e_{p,R}$ v mezích od 10 do 25 % v závislosti na druhu budovy a zóny, kdy horní hranice se týká obytné zóny v rodinných domech a nižší hranice jiná než obytná zóna. [21, 3]

1.1.3 Pasivní dům

Tento standard lze charakterizovat minimalizovanou potřebou tepla na vytápění a primární energie z neobnovitelných zdrojů. Toho je dosaženo optimálním stavebně technickým řešením a využitím obnovitelných zdrojů energie. [20] Požadavky na pasivní dům (PD) jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540-2 v aktualizované podobě z roku 2011 a také v normě TNI 73 0329 v účinnosti od roku 2010. [20, 2, 4] V podmínkách České republiky jsou některé veličiny mírně odlišné¹⁾ od modelu PHPP (*Passive House Planning Package*), který je využíván v zahraničí. Důvod nevhodnosti metodiky PHPP je nekompatibilita PHPP postupů s některými platnými normami a nedostatečná kvalita a dostupnost klimatických dat, především spolehlivých dat o solárním záření z dlouhodobého hlediska. Samotný návrh budovy je zvolenou metodikou ovlivněn jen minimálně, avšak pro úřední hodnocení a možnost využití dotací je nutné provést výpočet dle odpovídajících českých norem. [20, 3]

Mezi energetické potřeby budovy, které se zahrnují do hodnocení potřeby primární energie pasivní budovy, patří vytápění, příprava teplé vody, chlazení (pokud je dle klimatických dat

¹⁾Jedná se např. o způsob vyjádření měrných hodnot vztažených k celkové vnitřní podlahové ploše vč. příček, šachet apod. či o mírnější definování měrné potřeby tepla. [3]

nenulové), pomocná energie na technické systémy. Nezapočítává se elektrická energie pro osvětlení a pro uživatele budovy. [20]

Výpočet potřeby tepla a dodané energie na vytápění rodinného domu je uveden v normě ČSN EN ISO 52016-1 (účinná od r. 2019). Norma rovněž obsahuje výpočet dodané energie na chlazení. [20]

Hodnoty potřebné energie pro přípravu teplé vody, hodnoty pomocné elektrické energie, hodnoty elektrické energie pro elektrické e jsou stanoveny dle TNI 73 0329. [20]

Průvzdušnost budov je povinně hodnocená vlastností budov dle TNI 73 0329 a ČSN EN ISO 9972 (aktuální účinnost od r. 2018). Hodnota průvzdušnosti obálky budovy se měří za konstantního přetlaku či podtlaku 50 Pa (n_{50}) a musí být nižší než 0,6 l/h, tj. během jedné hodiny nesmí vlivem netěsností dojít k výměně více než 60 % vnitřního objemu vzduchu. [22, 18]

1.1.4 Další koncepty

- **Energeticky nulový dům**

Energeticky nulový dům neznamená nulovou potřebu primární energie. Nulová roční potřeba je umožněna díky způsobu hodnocení, který se v současné době využívá. Spotřebovaná energie se určuje na základě roční bilance energetických toků, což znamená, že spotřeba v zimních měsících lze vykompenzovat letní dodávkou energie do nadřazené sítě. Budova je obvykle připojena ke všem inženýrským sítím. Stavební a technické řešení budovy zpravidla vychází ze standardu pasivní budovy. [23]

- **Energeticky plusový dům**

V případě, že dům vyrobí více energie než spotřebuje, lze hovořit o energeticky plusovém domě. V podstatě se jedná o energeticky nulový dům s naddimenzovanou výrobou energie z OZE. [3]

- **Energeticky soběstačný dům**

Důležitá je u domů míra energetické nezávislosti. Budova může být plně autonomní, pokud nevyužívá žádné inženýrské sítě, zpravidla se jedná o budovu mimo zastavené území či místo, kde by bylo zavedení sítí neúměrně nákladné. Pokud se budova nachází přímo ve městě, je úplná nezávislost nevhodná především z hlediska komfortu jeho obyvatel. Vhodnější je uvažovat o částečné soběstačnosti např. v okamžiku poruch nebo plánovaných oprav na síti. K této částečné nezávislosti se využívá akumulace energie do tepelných zásobníků nebo elektrických akumulátorů. [24]

1.2 Průkaz energetické náročnosti budov

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) je upraven zákonem 406/2000 Sb., struktura zpracování je stanovena dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. a vyhodnocuje energetickou náročnost budovy. Platnost PENB je 10 let nebo do doby větší změny budovy. Průkaz je až na výjimky povinný pro novostavby, při větší změně dokončené budovy a při prodeji či pronájmu budovy.

V PENB jsou řešeny všechny energetické systémy v objektu, systémy přípravy teplé vody, chlazení, osvětlení, energetická náročnost vytápění a také využití obnovitelných zdrojů energie. Nehodnotí se spotřeba energie domácích a jiných spotřebičů. Energetická náročnost budovy je vyjádřena množstvím dodané primární energie z neobnovitelných zdrojů a budova je uvedena do jedné z klasifikačních tříd A až G, kde A značí mimořádně úspornou budovu.

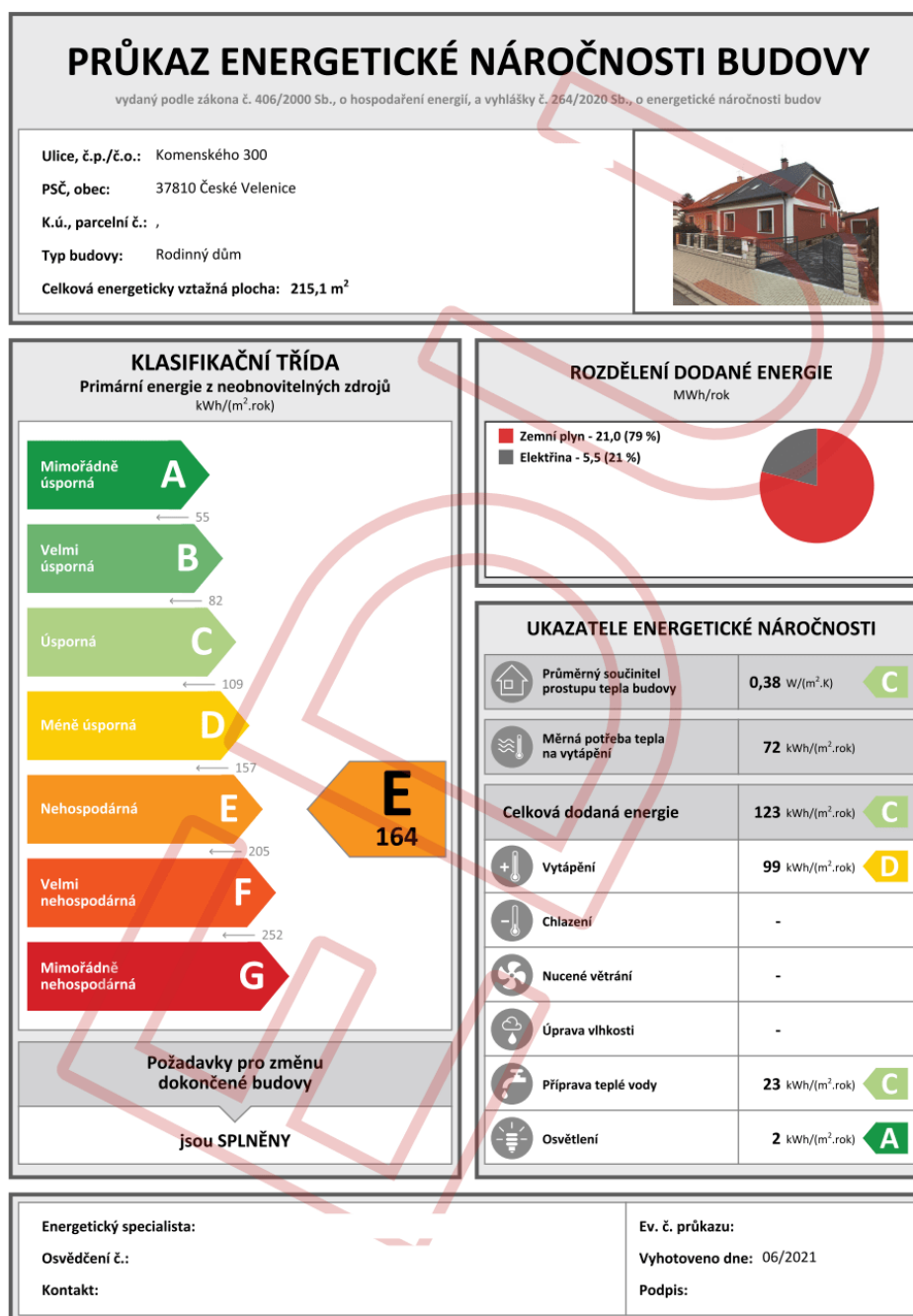
Zařazení do klasifikační třídy se stanovuje dle dosažení minimálního požadavku energetické náročnosti pro tzv. referenční budovu, kterou vyhláška č. 264/2020 Sb. stanovuje jako *”výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy”*. [21] Poslední část definice vymezuje použité materiály konstrukcí a použité technické systémy, které splňují požadované normové hodnoty.

V případě různorodých energonositelů a rozdílných technických systémů se využívá faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie, který lze definovat jako *”bezrozměrný podíl mezi potřebou neobnovitelné primární energie a potřebou energie dodané na hranici budovy.”* [25] Nižší hodnota faktoru je z pohledu potřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů lepší. Tab. 1.1 zachycuje vybrané energonositele a technické systémy.

Energonositel / Typ spotřeby	Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie (-)
Zemní plyn / tuha fosilní paliva	1
Elektřina	2,6
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0
Vytápění / příprava teplé vody	1
Chlazení / nucené větrání / osvětlení vnitřního prostoru budovy	2,6

Tab. 1.1: Zjednodušený přehled faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů energie, převzato z [21] a upraveno

PENB lze pomyslně rozdělit do dvou částí, kdy v první části jsou identifikační údaje, číselné a grafické shrnutí jednotlivých skutečností jako je klasifikační třída, rozdělení dodané energie a rozpis ukazatelů energetické náročnosti. V první části je dále stanovisko, zda jsou požadavky pro novostavbu či požadavky pro změnu dokončené budovy splněny nebo nesplněny. Vzorová první část je zachycena na následujícím Obr. 1.1.



Obr. 1.1: Vzor PENB, program Energie 2020, zdroj: autor

Pomyslná druhá část PENB má větší rozsah, části A až K, ve kterých je podrobnější popis např. celkové dodané energie (část B), primární energie z neobnovitelných zdrojů energie (část C), bilance tepelných toků (část E), obálka budovy (část F) a také přehled plnění závazných požadavků vyhlášky (část I).

Právě část I určuje, zda celkové požadavky splněny nebo nesplněny. Dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. nejsou požadavky pro novostavbu a pro rekonstrukci jednotné. Jak je uvedeno § 6 odst. 1 a § 6 odst. 2, které se odkazují na § 3 odst. 1 pro novostavby²⁾ je nutné splnit 3 ukazatele a), b), d) a pro větší změnu dokončené budovy je nutné splnit jednu z možností a) + d), b) + d) nebo e) + f). Pro vyšší přehlednost je uvedena následující Tab. 1.2.

Ukazatel	Nová budova	Větší změna dokončené budovy		
		1.	2.	3.
a) primární energie z neobnovitelných zdrojů energie vztahená na metr čtvereční energeticky vztahné plochy	x	x		
b) celková dodaná energie za rok vztahená na metr čtvereční energeticky vztahné plochy	x		x	
c) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení vnitřního prostoru budovy za rok vztahené na metr čtvereční energeticky vztahné plochy				
d) průměrný součinitel prostupu tepla	x	x	x	
e) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici				x
f) účinnost technických systémů				x

Tab. 1.2: Ukazatele energetické náročnosti pro novou a rekonstruovanou budovu, převzato z [21] a upraveno

Dále bude výhradně uvedena část I, celý průkaz energetické náročnosti budov vč. části II je vždy uveden v příloze L.

1.3 Tepelně technické vlastnosti

Mezi základní tepelně technické vlastnosti patří tepelný odpor, součinitel prostupu tepla a tepelná ztráta. Využité vzorce vycházejí z [26]. Tyto vlastnosti jsou blíže popsány v následujících kapitolách.

1.3.1 Tepelný odpor

Tepelný odpor brání pronikání tepla materiálem, čím vyšší hodnota tepelného odporu, tím pomalejší tepelný průstup, proto je žádoucí, aby výsledná hodnota složené konstrukce byla

²⁾Vyhláška specifikuje v § 6 odst. 1 novostavby od 1. 1. 2022, avšak pro novostavby do 31. 12. 2021 jsou ukazatele totožné, pouze je nastavena nižší redukce potřeby neobnovitelné primární energie.

co nejvyšší. Tepelný odpor R_i vrstvy i má jednotku $[(m^2.K)/W]$ a stanoví se:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}, \quad (1.1)$$

kde

- d_i představuje tloušťku i -tého materiálu [m];
 λ_i představuje tepelnou vodivost i -tého materiálu $[W/(m.K)]$;

V případě konstrukce, u které se izolační materiál vrství, je výsledný tepelný odpor R_T daný vztahem:

$$R_T = R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}, \quad (1.2)$$

kde

- R_{si} značí tep. odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[(m^2.K)/W]$;
 R_{se} značí tep. odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[(m^2.K)/W]$;

Zmíněné tepelné odpory R_{si} a R_{se} se vypočítají jako reciproké hodnoty součinitelů přestupu tepla α_i na vnitřní straně, resp. α_e na vnější straně:

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i}; R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} \quad (1.3)$$

Hodnoty R_{si} a R_{se} jsou závislé na směru tepelného toku jak je uvedeno v následující Tab. 1.3.

Povrch	Konstrukce / povrch	Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} $[(m^2.K)/W]$
vnější	jednoplášťová	0,04
	dvouplášťová	stejně jako R_{si}
zemina	styk se zeminou	0
vnitřní	stěna (horizont. tep. tok)	0,13
	střecha (tep. tok vzhůru)	0,10
	podlaha (tep. tok dolů)	0,17

Tab. 1.3: Závislost tepelných odporů na směru, převzato z [27] a upraveno

Kombinací předešlých vztahů lze získat výsledný předpis pro celkový tepelný odpor složené konstrukce R_T :

$$R_T = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (1.4)$$

1.3.2 Součinitel prostupu tepla

Po definování tepelného odporu lze vypočítat součinitel prostupu tepla U s jednotkou $[W/(m^2.K)]$ jako jeho převrácenou hodnotu tepelného odporu:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1.5)$$

Dosažením rovnice (1.4) se získá konečný předpis:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1.6)$$

Pro popis energetických vlastností budov se rovněž využívá průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} s totožnou jednotkou $[W/(m^2.K)]$, který se stanovuje pro systémovou hranici budovy. Teplosměnná obálka budovy A se určí jako celková plocha všech stavebních prvků, které obklopují vytápěné prostory, přes které se šíří teplo do nevytápěných prostorů nebo do vnějšího prostředí.

Vztah pro průměrný součinitel prostupu tepla:

$$U_{em} = \frac{H}{A}, \quad (1.7)$$

kde

- H představuje měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla $[W/K]$;
- A představuje teplosměnnou plochu obálku budovy $[m^2]$;

V normách je stanovena požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$, kde číslo 20 značí vnitřní výpočtovou teplotu. Kromě požadované hodnoty $U_{N,20}$ se uvažuje rovněž doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,rec,20}$, pro kterou platí:

$$U_{em,rec,20} = 0,75 \cdot U_{N,20} \quad (1.8)$$

1.3.3 Tepelná ztráta

Tepelná ztráta budovy vychází z měrné tepelné ztráty, vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty dle vztahu:

$$Q = H \cdot (T_i - T_e), \quad (1.9)$$

kde

H	představuje měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla [W/K];
T_i	představuje vnitřní výpočtovou teplotu [K];
T_e	představuje vnější výpočtovou teplotu [K];

Návrhová teplota venkovního vzduchu je stanovena v ČSN 73 0540-3. Česká republika je rozdělena na čtyři základní oblasti, pro které je určena venkovní teplota -12 °C, -14 °C, -16 °C, -18 °C při nadmořské výšce 100 m n.m. Objektu v Českých Velenicích s nadmořskou výškou 489 m n.m. nejvíce odpovídá oblast III s návrhovou venkovní teplotou v zimním období -17 °C. [27]

1.4 Nová zelená úsporám

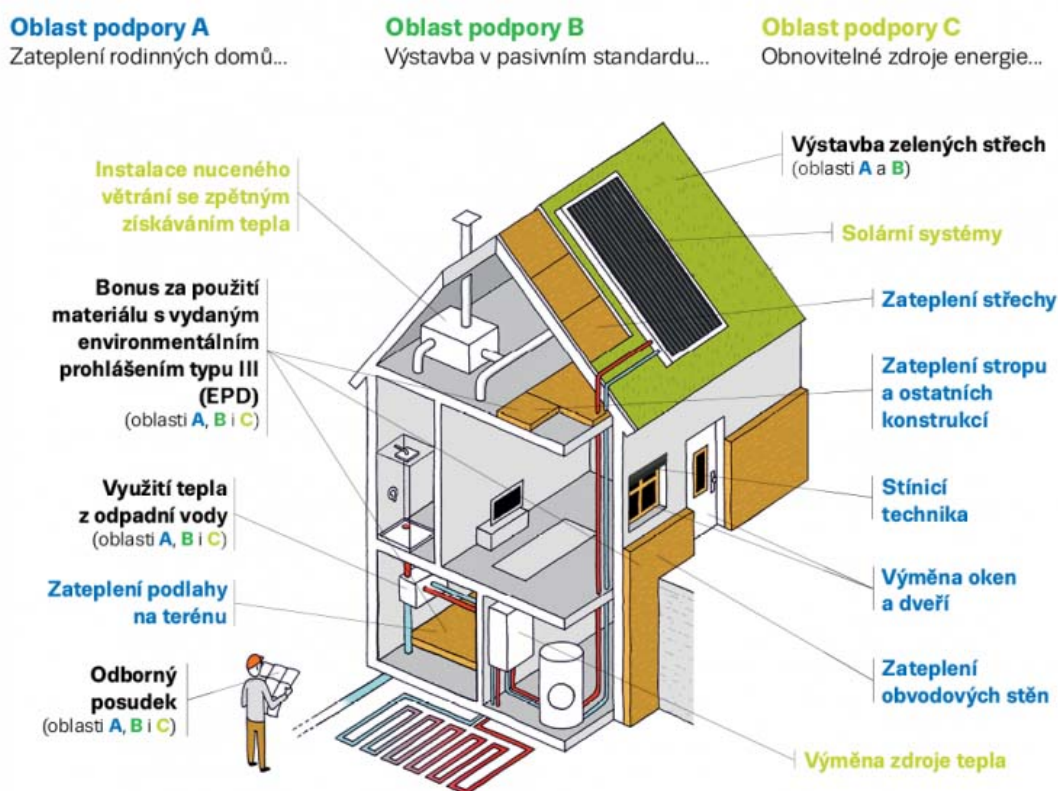
Důležitý dotační program Ministerstva životního prostředí je program Nová zelená úsporám (NZÚ), který se zaměřuje na energeticky úsporná řešení v rodinných a bytových domech. Hlavní cíl programu je *”zlepšit stav životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (především emisí CO₂).”* [28]

Nová zelená úsporám nabízí dotace ve třech základních oblastech A, B, C, které jsou graficky zachyceny na Obr. 1.2.

Dotace budou čerpány v oblasti A (zateplení obálky - např. výměna výplní stavebních otvorů, zateplení obvodových stěn, zateplení střechy) a v oblasti C (Obnovitelné zdroje energie, např. instalace fotovoltaických systémů nebo instalace nuceného větrání se zpětnou rekuperací tepla). Výše dotací a nutné podmínky, jejichž splnění je vyžadováno k úspěšnému přiznání dotací, jsou uvedeny vždy u konkrétní oblasti podpory, kvůli zvýšení přehlednosti. V této kapitole bude uveden pouze výběr nejdůležitějších podmínek, které se vztahují na všechny oblasti dotací, jedná se o:

- *”Celková výše podpory na jednu žádost je omezena na max. 50 % řádně doložených způsobilých výdajů, s výjimkou dotačních bonusů, u kterých je tato možnost výslovně uvedena.”* [29]

- Pokud žádost o podporu obsahuje více opatření z rozdílných podoblastí podpory, musí být výše podpory v každé podoblasti nižší než celkové způsobilé výdaje v příslušné podoblasti. [29]
- Pokud jsou opatření realizována v rodinných domech v Moravskoslezském, Ústeckém nebo Karlovarském kraji, tak jsou dotační částky navýšeny o 10 %. Zvýhodnění se vztahuje pouze na některé podoblasti. [29]



Obr. 1.2: Podporované oblasti program NZÚ, převzato z [9]

Pokud není uvedeno jinak, tak všechny ostatní podmínky jsou rovněž splněny. Nejsou v textu explicitně uvedeny pouze proto, že se jedná o obecné podmínky např. že realizovaná opatření musejí být na území České republiky, že rozhodné datum pro stanovení způsobilosti výdajů je 1. leden 2018 či právo posoudit každou žádost o podporu individuálně. Některé podmínky nejsou uvedeny proto, že se týkají opatření, která nejsou v této práci uvažována. Jedná se například o oblast podpory B, ve které je podporována výstavba nebo nákup nového rodinného domu, či například o oblast podpory C.7, která se zabývá podporou na využití tepla z odpadní vody.

1.4.1 NZÚ - oblast podpory A

Tato oblast podpory se týká opatření prováděných na obálce budovy, která vedou ke snížení energetické náročnosti rodinných domů.

Mezi nejdůležitější podmínky specifických pouze pro oblast podpory A patří:

- "Realizací navrhovaných opatření musí dojít ke snížení vypočtené celkové dodané energie do budovy." [29]
- "Dle dosažených energetických parametrů budovy po realizaci úsporných opatření se oblast podpory A dělí na čtyři hlavní podoblasti podpory prvního řádu: A.0, A.1, A.2 a A.3." [29] Hodnota dosažených energetických parametrů budovy je uvedena v Tab. 1.4.

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	A.0	A.1	A.2	A.3
Měrná roční potřeba tepla na vytápění po realizaci	E_A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	bez požadavku	≤ 90	≤ 55	≤ 35
nebo	U_{em} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		Nebo		
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy			≤ 0,95 $U_{em,R}$	≤ 0,85 $U_{em,R}$	≤ 0,75 $U_{em,R}$
Měněné stavební prvky obálky budovy	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	$U \leq 0,9 \cdot U_{rec}$	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 %	≥ 40 %	≥ 50 %	≥ 60 %
Povinný systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla splňujícího podmínky pro podoblast podpory C.4	[-]	ne	ne	ne	ano

Tab. 1.4: Požadované parametry v oblasti podpory A, převzato z [29]

- "Maximální celková výše podpory na opatření provedená na jednom rodinném domě v podoblastech podpory A.0 až A.3, je omezena na 550 tis. Kč za dobu trvání Programu." [29]
- V podoblasti podpory A.4 lze pouze současně s podáním žádosti z podoblasti podpory A.0, A.1, A.2 nebo A.3 zažádat o dotaci a zpracování odborného posudku pro podání žádosti. Maximální výše podpory je 25 tis. Kč. [29]

Celková výše podpory na opatření v podoblastech A.0 až A.3 se vypočte dle vzorce (1.10):

$$\text{celková výše podpory} = \sum_{i=1}^j k \cdot S_i \cdot \text{výše podpory } i\text{-tého opatření} \quad (1.10)$$

- S_i plocha i -té konstrukce na obálce budovy v metrech čtverečních (dle energetického hodnocení)
- výše podpory i -tého opatření dle typu konstrukce a podoblasti podpory, viz Tab. 1.5;
- k koeficient upravující výši podpory, viz příloha A;
- j počet konstrukcí na obálce budovy, na kterých je realizováno podporované opatření;

Typ konstrukce	Podoblast podpory		
	A.0 a A.1 [Kč/m ²]	A.2 [Kč/m ²]	A.3 [Kč/m ²]
Obvodové stěny, průsvitné i neprůsvitné obvodové konstrukce obytných zimních zahrad, lehké obvodové pláště, střechy, stropy, podlahy nad exteriérem a ostatní konstrukce	500	600	800
Výplně stavebních otvorů dle definice v kapitole 11	2 100	2 750	3 800
Podlahy na terénu	700	900	1 200

Tab. 1.5: Výše podpory v oblasti podpory A, převzato z [29]

1.4.2 NZÚ - oblast podpory C

Oblast podpory C slouží k podporování opatření, které zajišťují efektivní využití energie v rodinných domech.

Selekce významných podmínek vztahujících se pouze k oblasti podpory C je uvedena v následujícím textu:

- "Maximální výše podpory na jeden rodinný dům v oblastech podpory C.1 až C.4 a C.7 je stanovena na 350 tis. Kč za dobu trvání Programu." [29]
- Podoblast C.1 a C.2 umožňuje žádat o dotaci na výměnu pouze konkrétních zdrojů tepla, mezi kterými jsou kotle na pevná paliva nedosahující parametrů pro 3. třídu dle ČSN EN 303-5:2013, lokální topidla a elektrické vytápění. [29]

- Podoblasti C.3.4 až C.3.9 se týkají fotovoltaických systémů propojených s distribuční soustavou, podmínky uvedeny dále se týkají pouze těchto podoblastí:
 - *”Maximální instalovaný výkon systému nesmí být vyšší než 10 kWp.”* [29]
 - *”Systém musí být vybaven měničem s minimální účinností 94 % (Euro účinnost). Měníče a nabíječe připojené přímo k fotovoltaickým panelům musí být navíc vybaveny technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %.”* [29]
 - Fotovoltaické systémy musí splňovat minimální účinnost alespoň 15 % pro mono- a polykrystalické panely a 10 % pro panely složené z tenkovrstvých amorfních článků. [29]
 - *”Míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku systému.”* [29]
 - Systémy v podoblasti podpory C.3.4 a C.3.9 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě tepelné energie, systémy v podoblasti podpory C.3.5, C.3.6 a C.3.7 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě elektřiny. Bližší specifikace viz příloha A. [29]
 - *”Systémy v podoblastech podpory C.3.5, C.3.6 a C.3.7 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě elektřiny. Minimální měrná kapacita akumulátoru je 1,75 kWh/kWp instalovaného výkonu.”* V případě využití moderních akumulátorů na bázi lithia lze využít měrnou kapacitu akumulátoru 1,25 kWh/kWp. [29]
 - Výše dotací na jednotlivé podoblasti oblasti podpory C.3.4 až C.3.9 se pohybují od 55 000 Kč do 150 000 Kč na celý rodinný dům či bytovou jednotku a řídí se dle následující Tab. 1.6:

Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč/dům nebo b.j.]
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	55 000
C.3.5	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	70 000
C.3.6	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	100 000
C.3.7	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	150 000
C.3.8	FV systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem	150 000
C.3.9	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	80 000

Tab. 1.6: Výše podpory v oblasti podpory C.3, převzato z [29] a upraveno

- Podoblast podpory C.4 se týká instalace systémů řízeného větrání se zpětným získáváním tepla, pro samostatné podání žádosti je možné pouze v případě, že dojde k úspoře měrné potřeby tepla na vytápění minimálně o 20 %. Minimální požadovaná účinnost zpětného zisku tepla je 75 % pro centrální systémy a 70 % pro decentrální systémy. Musí být doložen protokol o měření průvzdušnosti obálky budovy s hodnotou $n_{50} \leq 2,5$ 1/h. Výše dotace je 100 tis. Kč pro centrální systém, respektive 75 000 Kč pro decentrální systém.
- Podoblast podpory C.5 poskytuje dotaci ve výši 5 tis. Kč na zpracování odborného posudku a zajištění měření průvzdušnosti obálky budovy. [29]

2 Rekonstrukce rodinného domu

V této kapitole bude rozebrána stávající situace domu, použité materiály při výstavbě a při první rekonstrukci v roce 2004. Budou zde uvedeny využitelné dispozice domu a vývoj spotřeby jednotlivých energonositelů. Dále bude uveden orientační rozpočet pro jednotlivé varianty a energetická bilance.

2.1 Aktuální stav rodinného domu

Rodinný dům určený k rekonstrukci je stará stavba z 30. let 20. století, dohledaný ověřený dokument o výkupu pozemkových parcel stavebním družstvem je datován do roku 1923, viz příloha L. Základní stavební materiály a rozložení domu odpovídají době.

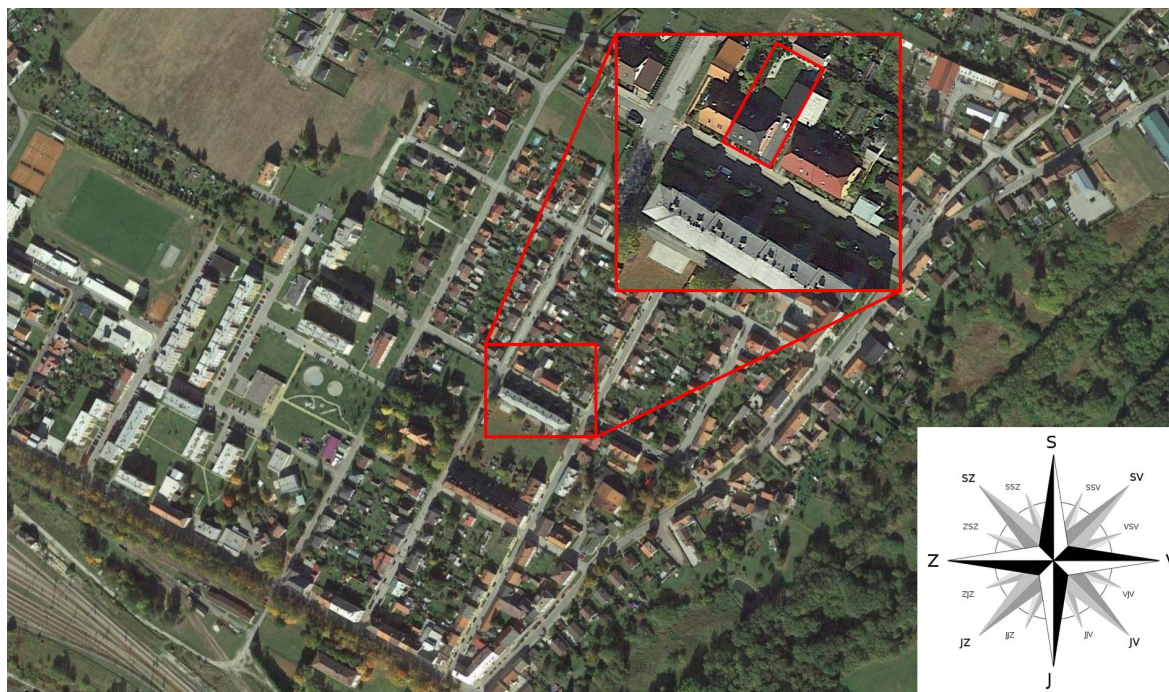
V roce 2004 byly provedeny stavební úpravy domu zahrnující nové dispozice podkroví, přístavení kryté verandy jako krytého vstupu, zvukové odizolování od sousedního domu, novou přípojku a nové rozvody vč. kanalizace, nahrazení oken a dveří, štukování a nové omítky, nahrazení staré podlahové konstrukce a izolace za novou a také byla zahrnuta tepelná izolace podkroví.

Aktuálně se domácnost skládá ze dvou dospělých členů.

2.1.1 Lokalita

Dům je situován v Českých Velenicích, ulice Komenského č.p. 300 v Jižních Čechách mezi dalšími rodinnými domy a dvojdomky. Odpovídající parcely se nacházejí na katastrálním území České Velenice [622711] LV 454 a jsou celkem 4. Na parcele č. 1088/36 o výměře 142 m² se nachází samotný dům. Jedná se o dvojdomek, jež je spojen celou západo-severozápadní stěnou se sousedním domem vč. podsklepení. Samotné podsklepení je přibližně 1,35 m pod vnějším terénem, vchod do objektu je 0,5 m nad okolním terénem v kryté verandě. Parcela č. 1088/421 slouží jako předzahrádka a příjezdová cesta ke garáži a ke vchodu domu (výměra 124 m²), p. č. 1088/420 (výměra 50 m²) je zastavena hospodářským objektem, který slouží

jako úschovna nářadí a garáž, a p. č. 1088/35 o výměře 221 m² je oplocená zahrada za domem. Objekt je připojen k inženýrským sítím, jmenovitě: elektropřípojka, přípojka vody, přípojka plynu a kanalizační přípojka.



Obr. 2.1: Lokalita rodinného domu a směrová růžice, zdroj: Google Maps

2.1.2 Členění a orientace domu

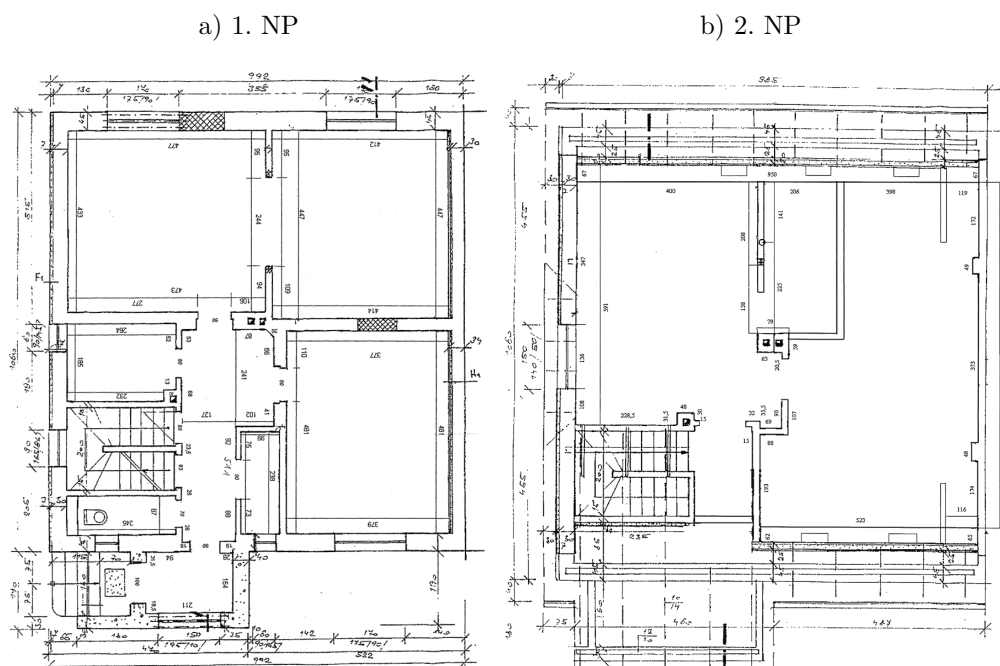
Z čistě stavebního pohledu se jedná o jednopatrový dům s podsklepením a obytným podkrovím, naopak z pohledu užitku lze na tento dům nahlížet jako na třípatrový, jelikož každé patro slouží k jinému účelu.

Objekt je částečně podsklepen, sklep je rozdělen na chodbu, malý a velký sklep. Ve velkém sklepě se nachází plynový kotel a elektrický zásobníkový ohřívač vody. Členové domácnosti se v těchto prostorech nezdržují delší dobu než nezbytně nutnou v řádu jednotek minut.

První nadzemní podlaží (půdorys je zachycen na Obr. 2.2) začíná zádveřím, které vede dále do haly a ta umožňuje přístup nejprve na toaletu, poté do komory, která se uzpůsobí na technickou místnost v případě potřeby, do ložnice, do koupelny a poslední dveře vedou do největšího spojeného obývacího pokoje s kuchyní. V poslední uvedené místnosti tráví členové domácnosti největší část dne. Dříve se v obývací místnosti nacházel krb na dřevo kouřovodem napojený na komín. Cihlový komín na střeše z estetických důvodů zůstal neporušen, avšak samotný komínový průduch je uzavřen.

Podkroví (Obr. 2.2) se skládá z dvou velkých místností, které sloužily jako dětské pokoje, a jedné malé místnosti, která sloužila jako toaleta a koupelna. Jedna velká místnost se využívá

pro účely přespání návštěv a další velká místnost slouží jako pracovna. Detailnější výkresové dokumentace celého domu jsou v příloze B.



Obr. 2.2: Půdorys jednotlivých pater, zdroj: projektant Jan Füllsack

Důležitým parametrem celého objektu pro fotovoltaické panely je především střecha. Profil střechy je do obráceného písmene V se sklonem 44 stupňů (svíraný úhel je tedy 92°) a celková plocha je 165 m². Střecha je natočena na severo-severovýchod, respektive na jiho-jihozápad. V České republice je max. množství dopadajícího záření dosaženo při co nejmenším odklonu od přesného jihu, proto je pro osazení střechy fotovoltaickými panely zvolena JJZ strana.

K objektu náleží rovněž garáž, avšak rekonstrukce garáže není uvažována. Samotná garáž disponuje střechou o rozloze 52 m², kterou v případě nedostatečné rozlohy střechy rodinného domu je možné využít k osazení fotovoltaickými panely. Dle Obr. 2.1 je patrné, že orientace střechy je na západ-severozápad a sklon střechy hospodářského objektu je 15°.

Základní údaje o domu jsou přehledně shrnuty v následující Tab. 2.1:

Typ	Obsah / Objem
Podlahová plocha	162,1 m ²
Energeticky vztažná plocha	215,1 m ²
Plocha vnějších stěn	107,4 m ²
Celková plocha oken	20,1 m ²
Celková plocha střechy	165,0 m ²
Celková plocha střechy garáže	52,2 m ²
Objem vzduchu	428,1 m ³

Tab. 2.1: Základní údaje o rodinném domě, zdroj: autor

2.1.3 Využitelné dispozice

Rodinný dům disponuje vybavením, které lze při rekonstrukci brát v úvahu:

Zásobníkový ohřívač vody

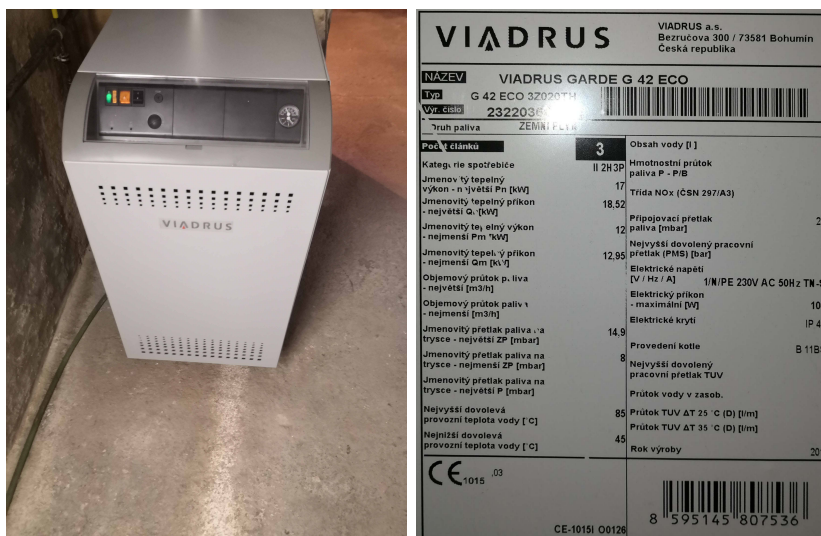
Jedná se o elektrický ohřívač OKCE 160 zn. Dražice využívaný od konce r. 2016. Tento ohřívač je pro potřeby dvoučlenné domácnosti velmi naddimenzovaný, jelikož s objemem 152 l je určen pro čtyřčlennou domácnost. Pro dvě osoby s velkou spotřebou vody je dostatečný ohřívač s objemem 100 l teplé vody. [30] Tento konkrétní model OKCE 160 má výkon 2,2 kW a tepelnou ztrátu 1,39 kWh/24h. [31]



Obr. 2.3: Elektrický zásobníkový ohřívač vody OKCE 160, zdroj: autor

Plynový kotel

K vytápění objektu slouží od roku 2016 plynový stacionární kotel GARDE G 42 ECO značky Viadrus. Jmenovitý tepelný výkon je 17 kW a energetická účinnost vytápění 91 %.



Obr. 2.4: Kotel na zemní plyn GARDE G 42 ECO, zdroj: autor

Studna

K domu náleží studna válcovitého tvaru s hloubkou 5 m a průměrem 1 m. Je možné ji využít k instalaci tepelného čerpadla voda-voda za předpokladu, že se zvolí vhodný vsakovací objekt.

2.1.4 Termovizní měření

U rodinného domu bylo provedeno měření povrchové teploty k odhalení nekvalitní izolace a identifikaci případných tepelných mostů. Termovizní měření bylo provedeno na začátku března při venkovní teplotě 9 °C.



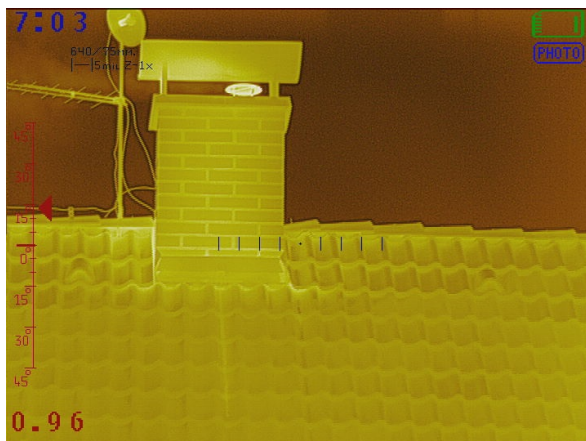
Obr. 2.5: Termovizní měření rodinného domu, zdroj: autor

Z měření povrchové teploty jsou patrné následující skutečnosti:

- teplo uniká z domu skrze okna, která jsou realizována pouze izolačními dvojskly,
- výrazný tepelný most lze pozorovat v oblasti komínu,
- další výrazný tepelný most lze pozorovat v oblasti "pod fasádou", kde jsou stěny tvořeny kamenem bez izolace,
- teplo uniká rovněž skrze nedostatečně izolované stěny a střechu,
- sousední dům¹⁾ má podstatně hůře izolované stěny a může docházet k tzv. tepelnému parazitování.

¹⁾Jedná se o 2. dům z celého dvojdomku, který má společnou stěnu se zkoumaným domem.

Vzhledem k bodu a) bude v následujícím textu uvažována výměna výplní stavebních otvorů, bod b) již není aktuální, jelikož v době měření byl stále využíván krb, avšak kouřovod i komín jsou nyní izolované a tepelný most je odstraněn viz Obr. 2.6:



Obr. 2.6: Termovizní měření - detail komínu po izolaci kouřovodu, zdroj: autor

Bod c) nebude v této práci uvažován z ekonomických a estetických důvodů. Mezi estetické důvody patří ty, že je v okolí domu vybudován ke kamennému vzhledu základů komplementární kamenný plot po celém obvodu předzahrádky. Předzahrádka je pokryta okrasnými květinami a malými keři. V oblasti příjezdové cesty a velké plochy za domem je položena betonová dlažba vč. vyštěrkování a vyrovnání pozemku pod dlažbou. Ekonomické důvody jsou zřejmé, jelikož by se nejprve musela částečně rozložit příjezdová cesta, musely by se přesázet květiny za předpokladu, že by bylo možné je přesunout. Až poté by se mohly provádět výkopové práce do hloubky minimálně 1,3m pod terénem, zemina by se musela uskladnit v pronajatém kontejneru a pak by se základy mohly izolovat. Následně by se musela zemina zasypat a zbytek odvézt a mohla by se opětovně pokládat příjezdová cesta a vytvářet nová okrasná předzahrádka.

Bod d) evokuje dva možné způsoby zateplení obálky, a to dodatečná izolace obvodových stěn a zateplení střechy.

Bod e) obdobně jako bod b) již není aktuální, jelikož sousední dům prošel celkovou rekonstrukcí včetně nové izolace stěn a střechy. Zároveň má sousední dům 4 obyvatele, z čehož jsou dva školního věku a lze očekávat, že přítomnost osob v domě bude vyšší než ve zkoumaném domě a nebude využíváno tlumené vytápění v takové míře.

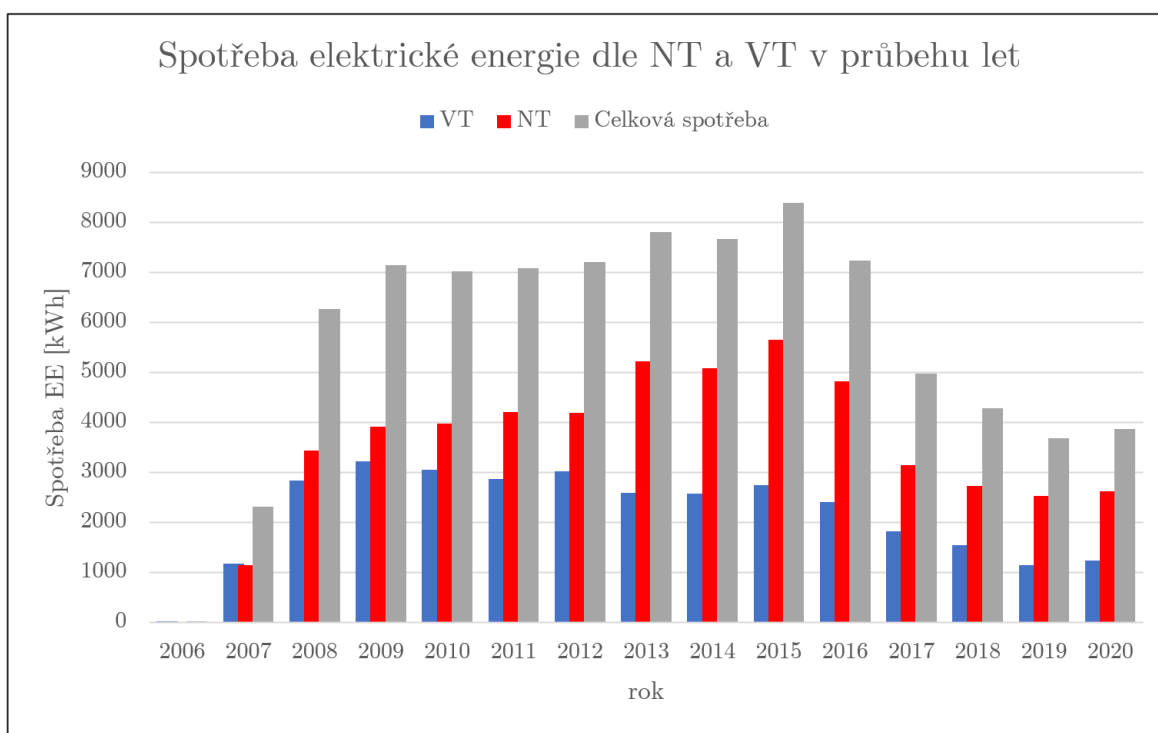
2.2 Vývoj množství energonositelů

Dům je obýván po rekonstrukci od roku 2007. Mezi základní tři spotřebovávané energonositele patří elektrická energie, zemní plyn a dřevo, avšak dřevo se již od topné sezóny roku 2017 nevyužívá a zbylé zásoby byly prodány, jelikož z estetických a časových důvodů byla krbová

kamna odstraněna. V následujícím textu bude rozebrána historická spotřeba EE a ZP se zlomovými okamžiky z pohledu spotřeby celé domácnosti.

2.2.1 Spotřeba elektrické energie

České Velenice patří do distribučního území EG.D, domácnost splňuje podmínky pro distribuční sazbu D25d vzhledem k užívání EE k ohřevu vody. Obr. 2.7 zachycuje vývoj spotřeby EE od roku 2007, ve kterém se začal dům využívat. Domácnost zahrnovala dva dospělé pracující a dvě studující děti až do roku 2015, během kterého došlo k přestěhování jednoho potomka. Druhý potomek se odstěhoval v následujícím roce 2016. Právě v těchto dvou letech došlo k největšímu poklesu spotřeby EE převážně ve vysokém tarifu. Klesající trend od roku 2015 byl rovněž zapříčiněn snižující se frekvencí návštěv²⁾ až postupně došlo ke stabilizaci spotřeby v roce 2019. Rok 2020 zaznamenává mírný nárůst zejména kvůli částečné práci z domova.



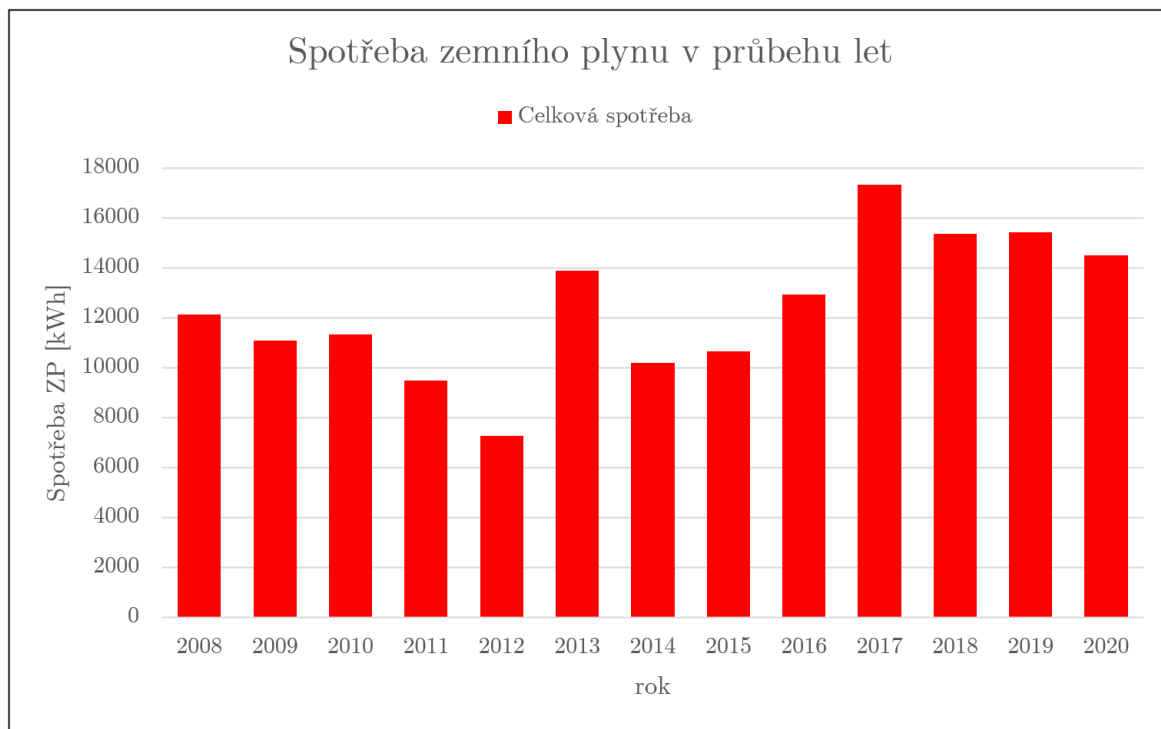
Obr. 2.7: Historický vývoj spotřeby EE podle nízkého tarifu (NT) a vysokého tarifu (VT), zdroj: autor

Pro další výpočty a technické dimenzování je uvažována konstantní spotřeba elektrické energie od roku 2020. Jedná se o zjednodušující předpoklad, jelikož určitá meziroční fluktuace spotřeby je nevyhnutelná. Větší rozdíl ve spotřebě EE obvykle nastává v důchodovém věku, ten se však očekává až po konci zkoumaného období, a proto uvedené zjednodušení nebude mít na správnost výpočtů výrazný vliv.

²⁾Z počátku každý víkend a každé svátky.

2.2.2 Spotřeba zemního plynu

Dodavatel zemního plynu je E.ON Energie. Domácnost je od roku 2018 zcela závislá na dodávkách ZP k potřebám vytápění objektu. Následující Obr. 2.8 zachycuje vývoj spotřeby od roku 2008.



Obr. 2.8: Historický vývoj spotřeby ZP, zdroj: autor

Výraznou fluktuaci ve spotřebě ZP lze zaznamenat v roce 2012 a 2013. Mezi těmito roky došlo k upravení zúčtovacího období, při čemž do roku 2012 bylo zúčtovací období od 1. ledna do 31. prosince, avšak v roce 2012 došlo ke srovnání zúčtovacích období s odběrem EE, a proto období za rok 2012 je pouze 01/2012 - 10/2012 a období pro rok 2013 je 10/2012 - 10/2013. Po tomto období nastává rostoucí trend spotřeby ZP, který je způsoben především stále se snižujícím využíváním krbových kamen, až do okamžiku jejich odstranění v roce 2017. Tento trend je také způsoben nižším počtem osob v domácnosti a s tím spojené nižší tepelné zisky od lidí.

Spotřeby z let 2018 až 2020 mají velmi podobné hodnoty a lze očekávat, že pro stávající situaci bude spotřeba zemního plynu pro následující roky téměř shodná. Jedná se o analogické zjednodušení modelu jako u spotřeby elektrické energie.

2.3 Rozpočet

Před vytvořením variant zahrnujících různé možnosti jednotlivých opatření je nutné určit maximální celkový rozpočet na všechna opatření v rámci jedné varianty. Jedná se pouze o orientační odhad, který vychází z roční fakturované částky za vytápění, konkrétně za zemní plyn, a roční fakturované částky za elektrickou energii. Výpočet je zjednodušen zanedbáním diskontu, inflace a eskalaci cen energií.

Při navrhování jednotlivých opatření se neuvažuje odpojení od inženýrských sítí, proto nelze udávat celou fakturovanou částku, která zahrnuje jak fixní, tak variabilní náklady, ale je potřeba prvně odečíst stálý plat, který bude fakturován nezávisle na velikosti spotřeby elektrické energie či plynu.

Následující tabulka Tab. 2.2 obsahuje fixní část nákladů na EE a ZP při odběru plynu pod 15 MWh/rok a distribuční sazbě D25d s hlavním jističem 3x20 A na distribučním území EG.D od dodavatele E.ON.

Typ platby	Fixní náklad [Kč/měsíc]
(EE) Stálý měsíční plat	90,00
(EE) Cena za příkon podle hodnoty hl. jističe (3x20 A)	125,84
(EE) Cena za činnost operátora trhu (OTE)	4,73
(EE) Celkové měsíční fixní náklady týkající se spotřeby elektřiny	220,57
(ZP) Stálý plat	171,82
(ZP) Stálý plat za přistavenou kapacitu	146,22
(ZP) Celkové měsíční fixní náklady týkající se vytápění	318,04

Tab. 2.2: Fixní náklady při odběru zemního plynu (ZP) a elektrické energie (EE), vypočteno na základě [32, 33], zdroj: autor

Celková platba v roce 2020 za elektrickou energii činila 16 195 Kč a za plyn 24 817 Kč, obě částky jsou včetně DPH. Během zkoumaného období 20 let a za využití zjednodušujících předpokladů lze sestavit následující tabulku:

Typ	Kumulace za 20 let [Kč]
(EE) Celkové náklady	323 893
(EE) Fixní část nákladů	52 937
(EE) Maximální rozpočet pro opatření týkající se spotřeby elektřiny	270 956
(ZP) Celkové náklady	496 342
(ZP) Fixní část nákladů	76 330
(ZP) Maximální rozpočet pro opatření týkající se vytápění	420 012

Tab. 2.3: Maximální rozpočet dle energonositele, zdroj: autor

Pro elektrickou energii lze sestavit varianty z opatření až do výše 100 % rozpočtu, jelikož existuje možnost dimenzování např. fotovoltaických panelů vč. dostatečně velkého el. akumulčního systému, který pokryje celoroční spotřebu elektrické energie.

Pro zemní plyn je situace odlišná, za předpokladu komplexního zateplení celé teplosměnné obálky, tedy vč. výměny oken, izolace podlah a základů, izolace střechy, izolace stropu mezi půdou a 2. NP, je možné i při rekonstrukci starého domu dosáhnout roční měrné potřeby tepla na vytápění $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ jako u pasivního standardu ze stávajících $72 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Tento pokles představuje snížení nákladů na vytápění o 72 %, což odpovídá rozpočtu $0,72 \cdot 420 = 302$ tis. Kč. Komplexní zateplení lze však pořídit za náklady několikanásobně vyšší. Při změně zdroje vytápění je rozpočet ještě více omezující. Pokud by došlo k výměně kotle na ZP za jiný zdroj tepla (např. elektrokotel či kotel na biomasu) lze formálně využít celý rozpočet vč. fixních nákladů, avšak dojde ke změně energonositele, ke kterému se rovněž vztahují odpovídající provozní náklady. Orientační porovnání kotlů ukazuje rozdíl v provozních nákladech jednotlivých typů kotlů obvykle do 15 %, proto není dále uvažována změna typu kotle. [34] Výraznější pokles provozních nákladů je u tepelného čerpadla, kde se energonositel mění ze zemního plynu na elektrickou energii a lze dosáhnout poklesu provozních nákladů 50 %³⁾. Za předpokladu úplného odpojení od distribuční soustavy pro zemní plyn by investiční náklady na tepelné čerpadlo neměly přesáhnout $0,50 \cdot 496 = 248$ tis. Kč.

2.4 Teplosměnná obálka budovy

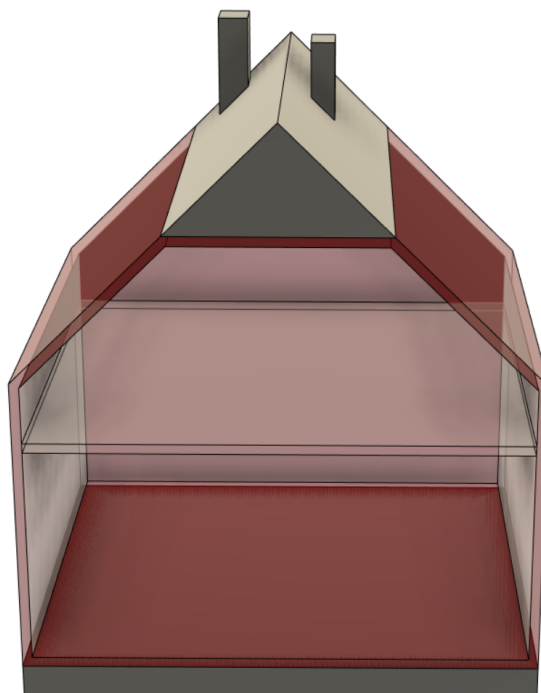
Teplosměnnou obálku lze definovat jako *”soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, jež jsou vystaveny přilehlému prostředí, které tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu.”* [20]

Z této definice je zřejmé, že společná stěna dvojdomku nebude zahrnuta do teplosměnné obálky budovy, jelikož se jedná o sousední zónu vytápěnou na stejnou vnitřní návrhovou teplotu, viz předchozí kapitola 2.1.4 Termovizní měření bod e).

Teplosměnné konstrukce v podkroví se skládají ze střechy a také ze stropu, který odděluje podkroví a nevyužívanou půdu. Na hranici mezi podkrovím a půdou je nahlíženo jako na strop vnitřní z vytápěného do temperovaného prostoru a tento strop tvoří horní část teplosměnné obálky budovy. Spodní část teplosměnné obálky je tvořena podlahou mezi 1. NP a sklepem a podlahou nad zeminou.

³⁾Jedná se pouze o orientační hodnotu, přesnější hodnota závisí na typu TČ a dokonce na konkrétním modelu.

Celková teplosměnná obálka⁴⁾ z pohledu příjezdové cesty je znázorněna na Obr. 2.9.



Obr. 2.9: Teplosměnná obálka budovy z pohledu VJV, zdroj: autor

2.5 Vyhodnocení stávajícího stavu podle ČSN 73 0331-1

Výše uvedený vzorový PENB (Obr. 1.1) je PENB rodinného domu bez jakýchkoli opatření⁵⁾. Spotřeba zemního plynu činí 20 959 kWh/a a spotřeba elektrické energie 5492 kWh/a. Zemní plyn je využíván pouze na vytápění, elektrická energie ve vyhodnocené bazické variantě je využívána na vytápění (jako pomocná energie), na přípravu teplé vody a na osvětlení. Tyto hodnoty jsou normované a neodpovídají skutečným hodnotám, které jsou známy z faktur za energii. Skutečná dodaná energie na ohřev teplé vody není známa, avšak celková dodaná elektrická energie vč. spotřeby elektrických spotřebičů je 3874 kWh/a.

Energonositel	Dle ČSN 73 0331-1	Dle nastaveného profilu	Dle faktury pro rok 2020
Dodané množství ZP [kWh/a]	20 959	14 424	14 521
Dodané množství EE [kWh/a]	5 492	2 231	n/a

Tab. 2.4: Rozdílné hodnoty dodané energie dle profilu užívání, zdroj: autor

Důvod pro tak velký rozdíl je legislativního a dotačního charakteru. Podle vyhlášky č. 264/2020 Sb. se pro obytné zóny musí používat profil užívání dle ČSN 73 0331-1. Nová

⁴⁾Zadní stěna není součástí teplosměnné obálky.

⁵⁾Dále jako bazická varianta.

zelená úsporám měla své specifické profily užívání pro dotační účely, ty jsou od data platnosti zmíněné vyhlášky zastaralé a pro dotační účely se používají údaje vycházející z vyhlášky č. 264/2020 Sb., případně ze zákona č. 406/2000 Sb. [35] Dále je ve výpočtu využito smluvních klimatických dat podle ČSN 73 0331-1 (opět pro výpočet podle vyhlášky č. 264/2020 Sb.).

Tyto rozdíly jsou velmi významné, proto nejvýznamnější z nich jsou shrnuty v Tab. 2.5:

Ovlivňující faktory	Dle vyhlášky č. 264/2020 Sb.	Dle nastaveného profilu
Přítomnost osob	70%	50%
Průměrná vnitřní teplota pro režim vytápění	20,0	17,5
Klimatická data	Smluvní data dle ČSN 73 0331-1	Klimatická data pro konkrétní lokalitu
Počet osob	5	2
Spotřeba teplé vody [m ³ /a]	73	15
Tepelné zisky lidí [kWh/a]	1 568	278
Tepelné zisky spotřebičů [kWh/a]	1 107	653

Tab. 2.5: Faktory ovlivňující výpočty s požadavky dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. a dle nastaveného profilu, zdroj: autor

Nízká vnitřní návrhová teplota dle normy ČSN EN 12831-1 vychází především z rozdílných vnitřních výpočtových teplot pro 2. NP. Celkový výpočet podlahových ploch, objemů a návrhových teplot je uveden v příloze C.

Klimatická data pro lokalitu České Velenice jsou zpracovány na základě [36] a uvedeny v příloze D.

Právě kvůli legislativním a dotačním důvodům budou dále uvedené údaje a PENB uváděny pouze pro výpočty podle vyhlášky č. 264/2020 Sb. a odpovídajících norem. Přesto budou všechny vypočtené hodnoty přepočítány na specificky nastavený profil užívání a přiloženy v příloze L.

2.6 Skladba obalových konstrukcí

Pro potřeby výpočtů tepelně izolačních vlastností objektu je v Tab. 2.6 uvedena zjednodušená skladba jednotlivých obalových konstrukcí. Pro každý použitý materiál je uvedena tloušťka d , tepelná vodivost λ , součinitel prostupu tepla konstrukce U , požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ dle normy ČSN 73 0540-2.

Kompletní tabulka je uvedena z důvodu velkých rozměrů v příloze E a obsahuje rovněž tepelný odpor vrstvy R_i , tepelný odpor na vnitřní a vnější straně R_{si} a R_{se} , celkový tepelný

odpor konstrukce R_T , doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{em,rec,20}$ a doporučené hodnoty pro pasivní budovu $U_{pas,20}$. Tabulka v příloze obsahuje rovněž název konstrukce dle ČSN 73 0540-2. Pro výplně stavebních otvorů jsou uvedeny pouze součinitele prostupu tepla.

Typ	Materiál	d [m]	Lambda [W/(m.K)]	U [W/(m ² .K)]	U _{N,20} [W/(m ² .K)]
Vnější stěna (mimo sklep, 30 cm plná cihla)	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,32	0,3
	Plná cihla	0,30	0,84		
	Expandovaný polystyren	0,10	0,04		
	Vnější omítka	0,01	0,80		
Vnější stěna (mimo sklep, 45 cm plná cihla)	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,30	0,3
	Plná cihla	0,45	0,84		
	Expandovaný polystyren	0,10	0,04		
	Vnější omítka	0,01	0,80		
Podlaha (mezi sklepem a 1. NP)	Podlahové linoleum	0,01	0,17	0,53	0,75
	OSB desky	0,02	0,13		
	Bitagit	0,00	0,21		
	Isover Orsil N	0,05	0,04		
	Beton	0,20	1,23		
	Omítka	0,01	0,75		
Podlaha (mezi zemí a 1. NP)	Podlahové linoleum	0,01	0,17	0,50	0,45
	OSB desky	0,02	0,13		
	Bitagit	0,00	0,21		
	Isover Orsil N	0,05	0,04		
	Beton	0,20	1,23		
	Štěrka	0,20	0,65		
Strop (mezi 2. NP a půdou)	Sádrokartonové desky	0,01	0,22	0,22	0,75
	Isover Orsil N	0,18	0,04		
	Vnitřní omítka	0,01	0,75		
Střecha	Sádrokartonové desky	0,01	0,22	0,21	0,24
	Isover Orsil N	0,18	0,04		
	Heraklit	0,04	0,09		
Okno (stěna)	Okna Oknotherm izolační dvojsklo 4/16/4 s pokov.			1,1	1,5
Okno (střecha)	Okna Oknotherm izolační dvojsklo 4/16/4 s pokov.			1,1	1,4
Dveře	Dveře Perito bezp. plastové dveře s tech. HPL			0,7 až 1,15	1,7

Tab. 2.6: Skladba obalových konstrukcí a výplně stavebních otvorů, zdroj: autor

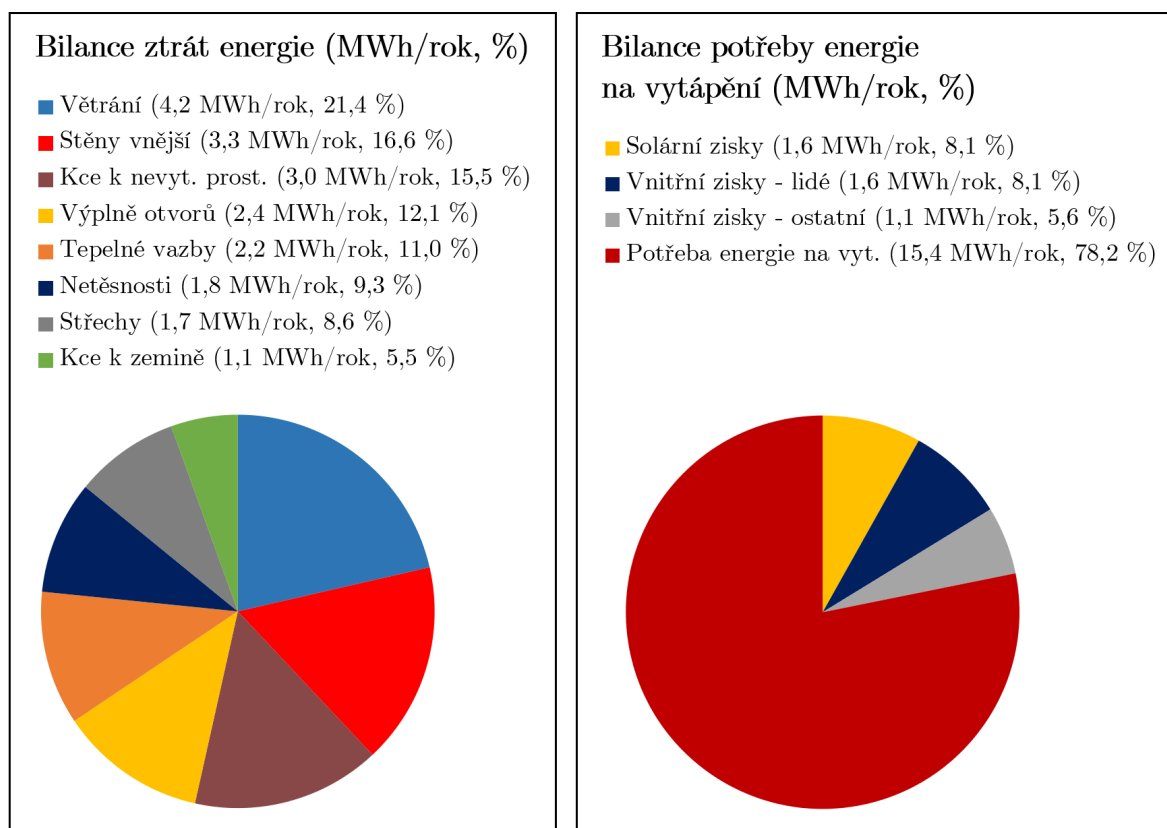
Obalové konstrukce jsou z části tvořeny plnou cihlou s tloušťkou 30 cm a z části plnou cihlou s tloušťkou 45 cm, proto jsou uvedeny jako dvě rozdílné konstrukce.

2.7 Bilance tepelných toků

Celkové ztráty energie budovy tvoří primárně prostup tepla přes konstrukce obálky budovy a větrání. Ve výpočetním programu Energie 2020 je také uvažována přírážka na vliv tepelných vazeb, jejíž hodnota byla konzultována s Ing. Petrou Horovou⁶⁾.

⁶⁾Konzultant specialista - EkoWATT

Ztráty energie jsou z části pokryty využitelnými solárními a vnitřními zisky. Výsledná bilance reprezentuje potřebu energie na vytápění budovy, kterou je nutné dodat vytápěním. Grafické zpracování bilance ztrát energie a bilance potřeby energie na vytápění je zachyceno na Obr. 2.10.



Obr. 2.10: Bilance tepelných toků, zdroj: autor

Jelikož se v domě nenachází žádné zařízení řízeného větrání, je největší podíl ztrát způsoben větráním (21,4 %). Z tohoto důvodu bude mezi opatřeními uvažována jednotka řízeného větrání s rekuperací tepla. Dále jsou nejvíce tepelně ztrátové vnější stěny (16,6 %). Konstrukce k nevytápěným prostorům, jež se skládá ze stropu mezi 2. NP a půdou a z podlahy mezi 1. NP a sklepem, tvoří 15,5 % tepelných ztrát. Jelikož podlaha v 1. NP je z části podsklepená a z části přilehlá k zemině (5,4 %) a jakákoliv úprava podlahy by musela být provedena komplexně v celém 1. NP, tak takové opatření dále není uvažováno. Dále je nutné zmínit výplně otvorů s podílem 12,1 %, proto bude uvedeno opatření na regeneraci oken z izolačních dvojskel na trojskla. Termovizní měření zachycené na Obr. 2.5 dává předpoklad, že jedno z opatření by mělo realizovat dodatečné zateplení střechy, přesto analýza bilance ztrát energie tento předpoklad vyvrací. Tepelné ztráty střechem tvoří pouze 8,6 %. Vzhledem k nákladnosti dodatečného izolování a ke skutečnosti, že součinitel prostupu tepla konstrukcí je nižší než požadovaný dle normy ČSN 73 0540-2 viz Tab. 2.6, nebude takové opatření dále uvažováno.

2.8 Energetická bilance

Při plánování energetiky domu je nutné sestavit energetickou bilanci, která dává do souvislosti energetické ztráty a energetické zisky. K výpočtu dle platných norem je využito programu Energie 2020. V Tab. 2.7 je kromě dodané a vyrobené energie uvedena primární energie z neobnovitelných zdrojů a tepelná ztráta. Hodnoty jsou rozděleny dle výpočtů podle ČSN 73 033-1 a podle nastaveného profilu, jak bylo uvedeno v kapitole 2.5 Vyhodnocení stávajícího stavu podle ČSN 73 0331-1.

Energetický ukazatel	Dle ČSN 73 0331-1		Dle nastaveného profilu	
	Hodnota	Jednotka	Hodnota	Jednotka
Dodaná energie ZP	20 959	[kWh/a]	14 424	[kWh/a]
Dodaná energie EE	5 492	[kWh/a]	2 231	[kWh/a]
Vyrobena a spotřebovaná EE	0	[kWh/a]	0	[kWh/a]
Tepelná ztráta	6,7	kW	6,2	kW
Primární energie z neobnovitelných zdrojů	163,8	[kWh/(m ² .a)]	94,0	[kWh/(m ² .a)]
Měrná potřeba tepla na vytápění	71,8	[kWh/(m ² .a)]	49,4	[kWh/(m ² .a)]
Celková dodaná energie	123,0	[kWh/(m ² .a)]	77,4	[kWh/(m ² .a)]
z toho na vytápění	98,5	[kWh/(m ² .a)]	67,9	[kWh/(m ² .a)]
z toho na chlazení	0	[kWh/(m ² .a)]	0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na nucené větrání	0	[kWh/(m ² .a)]	0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na úpravu vlhkosti	0	[kWh/(m ² .a)]	0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na přípravu teplé vody	22,7	[kWh/(m ² .a)]	7,8	[kWh/(m ² .a)]
z toho na osvětlení	1,7	[kWh/(m ² .a)]	1,7	[kWh/(m ² .a)]
Klasifikační třída	Nehospodárná (E)		Méně úsporná (D)	

Tab. 2.7: Energetická bilance objektu - bazická varianta, zdroj: autor

Je nutné zdůraznit, že dodaná elektrická energie nezahrnuje elektrospotřebiče, pouze elektrickou energii na ohřev teplé vody, osvětlení a pomocné systémy (např. čerpadla). Pokud jsou ve variantě uvažovány rovněž další systémy využívající elektrickou energii (např. chlazení, větrání, úprava vlhkosti), tak jsou také zahrnuty do dodané elektrické energie.

Rodinný dům v bazické variantě dosahuje klasifikační třídy Nehospodárná (E) s potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů 163,8 kWh/(m².a), což představuje celkem energii 35,2 MWh/a. Tato hodnota je vypočtena na základě faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů, jak bylo uvedeno v Tab. 1.1, kde zemnímu plynu odpovídá hodnota 1,0 a elektřině 2,6. Při snaze snížit tuto hodnotu je vhodné uvažovat fotovoltaickou elektrárnu, který nahradí spotřebu elektrické energie s vysokým faktorem 2,6 za energii okolního prostředí s faktorem 0.

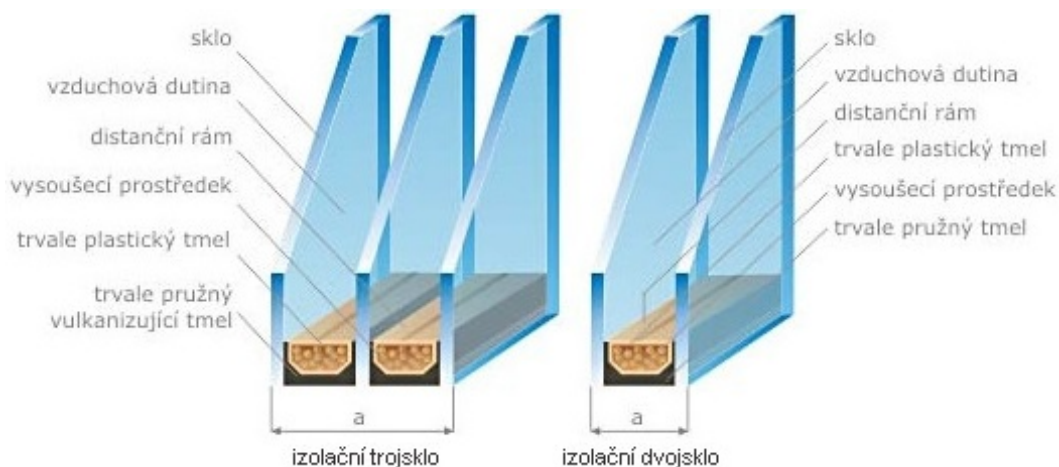
3 Jednotlivá opatření

V této kapitole jsou uvedena jednotlivá opatření k dosažení energeticky úspornějšího domu. Část opatření vychází z předchozích kapitol, jedná se o změnu výplní stavebních otvorů, izolaci obvodových stěn, systém nuceného větrání s rekuperací tepla a tepelné čerpadlo. Také je uvažována fotovoltaická elektrárna. Z kombinací jednotlivých opatření budou v další kapitole sestaveny rozdílné varianty.

3.1 Regenerace oken izolačním trojsklem

První z uvažovaných opatření je regenerace stávajících izolačních dvojskel za izolační trojskla. Regenerace je zvolena z důvodu nižších nákladů než při výměně celých oken, u níž je orientační cena 4000 až 5000 Kč/m². [37] Stávající rám musí být dostatečně dimenzován na vyšší hmotnost trojskel a také musí poskytovat dostatečnou stavební hloubku, resp. možnost zasklení vyšší síly skla.

Obě tyto podmínky splňují aktuálně využívaná plastová okna řady IDEAL 5000 s izolačními dvojskly 4-16-4¹⁾, tedy s charakteristickým rozměrem a 24 mm viz Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Rozdíl mezi dvojskly a trojskly, převzato z [38]

¹⁾Rozměry značí šířku skla-vzduchové mezery-skla.

Součinitel prostupu tepla pro rám činí $U_f = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a pro dvojsklo $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Jelikož bude nahrazeno pouze sklo, změní se pouze hodnota U_g .

Vzhledem ke skutečnosti, že plastová okna řady IDEAL 5000 mají stavební hloubku 70 mm a možnost zasklení do síly skla 41 mm, nelze uvažovat veškerá dostupná trojskla. [39] V cenové kalkulaci je uvažováno běžné trojsklo 14-4-14-4-14 plněné Argonem s nejnižší možnou hodnotou $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, která je s ohledem na sílu zasklení možno využít. Cenová kalkulace vč. likvidace starých skel je uvedena na Obr. 3.1, DPH je zahrnuto. Celková cena je vypočtena na základě Tab. 2.1 a souhrnném obvodu všech regenerovaných skel, který činí 61,9 m.

Položka	Cena Jednotka	Celkem [Kč]
Izolační trojsklo 14-4-14-4-14 Ar, $U_g = 0,6$	1 612 Kč/m ²	32 340
Plastový rámeček	96 Kč/m	5 918
Přesklení a montáž	835 Kč/m ²	16 752
Likvidace	191 Kč/m ²	3 838
	celkem	58 848

Tab. 3.1: Cenová kalkulace vč. DPH regenerace trojskel za dvojskla

V případě využití dotace NZÚ je při výpočtu nutné vyřadit náklady na likvidaci, jelikož likvidace starých skel při regeneraci není uznatelný náklad. Uznatelné náklady tohoto opatření jsou 55 tis. Kč.

Výměna oken spadá do oblasti A - Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů, ve které se podporují opatření prováděná na obálce budovy.

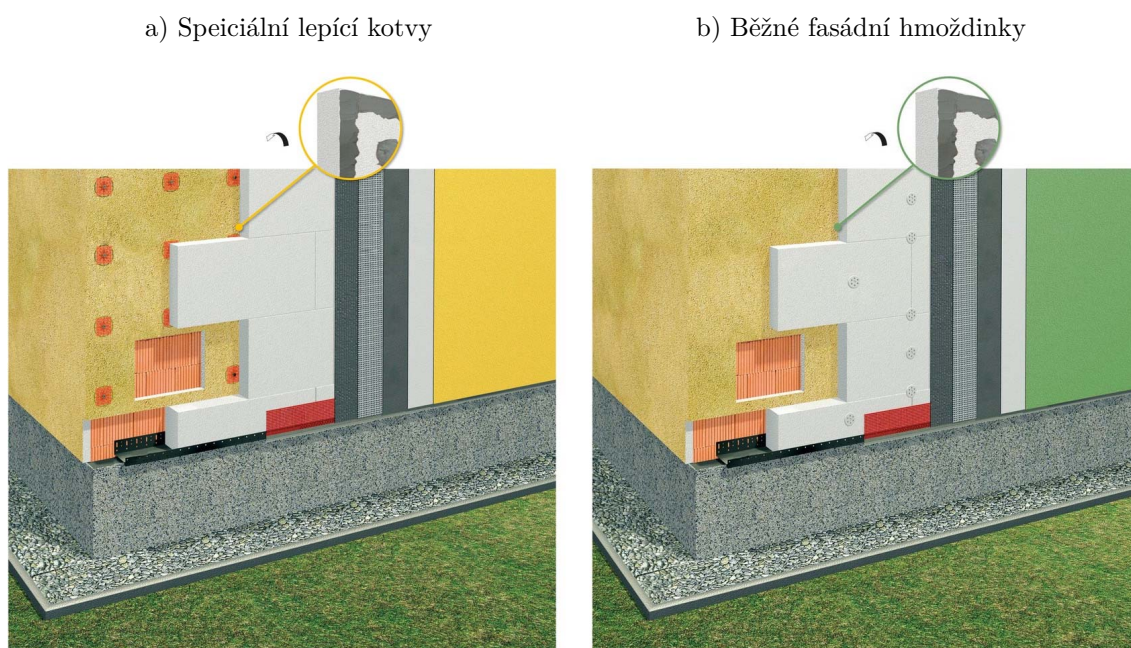
3.2 Izolace venkovních stěn

Vnějšími stěnami uniká 16,6 % celkového ztraceného tepla a také součinitel prostupu tepla je vyšší než požadovaný normou, jak bylo uvedeno v Tab. 2.6. Proto jedno z uvažovaných opatření je izolace vnějších stěn. Tyto stěny už byly jednou izolovány při rekonstrukci v roce 2004. K zateplení venkovních fasád byl využit Cemix expandovaný polystyren EPS 70 F (bílý), o tloušťce 10 až 12 cm dle umístění. Pro tento polystyren je charakteristická tepelná vodivost $0,039 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Pro následující výpočty bude uvažováno s tloušťkou stávající izolace 10 cm ve všech místech. Veškerá dodatečná izolace venkovních stěn bude prováděna na externí části stěny způsobem zdvojování na stávající izolační systém, aby bylo možné zachovat stávající tepelnou izolaci a nebyla nutná její likvidace.

Lze uvažovat dva způsoby zdvojování, které se liší ve způsobu kotvení:

- Nové tepelněizolační desky se nalepí pomocí lepidla na cementové či disperzní bázi na povrch starého zateplovacího systému. Následně se využije šroubovacích hmoždinek, které se přikotví současně skrze starý i nový izolační systém do nosné konstrukce. [40]
- Hmoždinky se zcela vynechají a využije se speciálních lepících kotev, které jsou ukotveny skrze starou izolační vrstvu do nosné konstrukce. Na hlavy lepících kotev se nanese kvalitní lepidlo a připevní se nové tepelněizolační desky. Největší výhoda tkví v přenesení plného zatížení na kotvicí systém bez ohledu na původní způsob lepení a také zabezpečení stávajícího izolačního systému vůči zatížení. [41, 42]



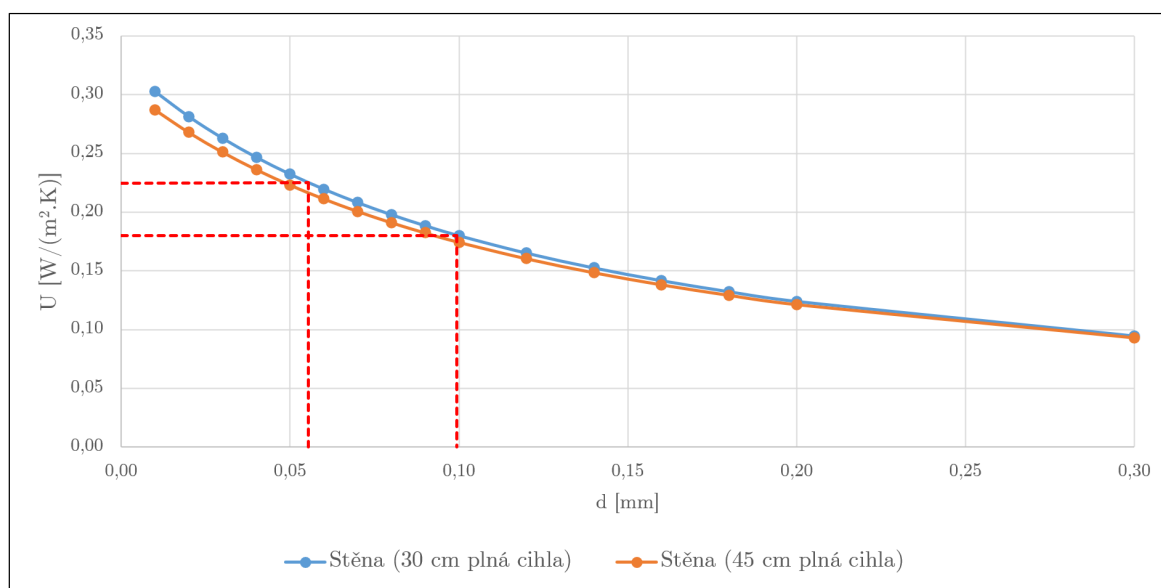
Obr. 3.2: Rozdílné způsoby ukotvení, převzato z [40]

Speciální lepící kotvy, mezi které patří například Baumit StarTrack Duplex, nelze využít, jelikož původní izolační systém nesmí mít tloušťku větší než 90 mm, což je překročeno o 10 mm až 30 mm. Místo toho budou uvažovány komplexní zateplovací systémy za použití fasádních talířových hmoždinek STR U 2G s ocelovým šroubem o požadované délce. [43] Tento způsob ukotvení odpovídá Obr. 3.2 b).

Nejprve je nutné správně stanovit tloušťku dodatečné izolace. Z Tab. 2.6 je patrné, že součinitel prostupu tepla pro vnější stěny je velmi blízký požadované hodnotě pro tuto konstrukci, která činí $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, a dimenzovat tloušťku dodatečné izolace na tuto hodnotu by bylo nevýhodné, jelikož náklady na samotný izolační materiál tvoří pouze 10 až 30 % celkových vícenákladů v závislosti na tloušťce. Kvůli kompatibilitě zdvojení

izolačních materiálů je zvolen pouze jeden izolační materiál, který je fasádní polystyren Isover EPS 70F se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,039 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Na Obr. 3.3 jsou znázorněny dvě nejvhodnější hodnoty součinitele prostupu tepla. První odpovídá doporučené hodnotě $U_{em,rec,20} = 0,225 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ a druhý odpovídá horní hranici požadavku na stěnu pasivního domu $U_{pas,20} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Těmto hodnotám odpovídá tloušťka nového izolačního systému 60 mm, resp. 100 mm. Z grafu je rovněž patrné, že pro konstrukci z plné cihly 45 cm je dostatečná marginálně nižší tloušťka dodatečného materiálu. Kvůli množstevní slevě bude uvažován pouze jeden rozměr, a to vyšší ze dvou tloušťek, který odpovídá konstrukce z plné cihly 30 cm.



Obr. 3.3: Graf závislosti součinitele prostupu tepla U na tloušťce d dodatečné izolace, zdroj: autor

Ačkoli nelze využít výhod lepících kotev Baumit StarTrack Duplex, lze využít zateplovací systém Baumit Star s obměnou kotvení. Alternativně lze využít např. zateplovací systém Weber Therm Elastik. [42, 44, 45] Cenové kalkulace bez DPH pro oba zateplovací systémy jsou zachyceny v následující tabulce:

Vrstva	Systém Baumit	Cena [Kč/m ²]	Systém Weber	Cena [Kč/m ²]
Lepící hmota	Baumit StarContact	71,4	weber.therm elastik	107,8
Izolant	Isover EPS 70F 60 mm	90,3	Isover EPS 70F 60 mm	90,3
Kotvení izolantu	Fas. hmožd. STR-U 8/195 mm	71,2	Fas. hmožd. STR-U 8/195 mm	71,2
Stěrková hmota	Baumit StarContact	71,4	weber.therm elastik	107,8
Výztuž	Baumit StarTex	31,3	sítovina Vertex R131	19,5
Penetrace	Baumit UniPrimer	22,8	weber.pas podklad UNI	15,8
Omítka	Baumit silikonTop K 2 škr. strkt. 2 mm	172,5	weber.pas silikát zrnitý	106,9
Soklová lišta	Sokl. prof. ETICS 160 mm 2,5 m	36,4	Sokl. prof. ETICS 160 mm 2,5 m	36,4
	celkem	567,3	celkem	555,7

Tab. 3.2: Cenová kalkulace bez DPH materiálů vztahovaná na m² pro tloušťku $d = 60 \text{ mm}$, převzato z [44, 45] a upraveno

Vzhledem k velmi podobné ceně na m^2 a vzhledem k preferenci vzhledu omítek od společnosti Baunit bude dále počítáno pouze s touto variantou. Pro tloušťku dodatečné izolace 100 mm je cenová kalkulace zachycena v Tab. 3.3.

Vrstva	Systém Baunit	Cena [Kč/ m^2]
Lepící hmota	Baunit StarContact	71,4
Izolant	Isover EPS 70F 100 mm	129,9
Kotvení izolantu	Fas. hmožd. STR-U 8/235 mm	82,5
Stěrková hmota	Baunit StarContact	71,4
Výztuž	Baunit StarTex	31,3
Penetrace	Baunit UniPrimer	22,8
Omítka	Baunit silikonTop K 2 škr. strkt. 2 mm	172,5
Soklová lišta	Sokl. prof. ETICS 160 mm 2,5 m	43,4
celkem		625,2

Tab. 3.3: Cenová kalkulace bez DPH materiálů vztažená na m^2 pro tloušťku $d = 100$ mm, převzato z [44, 45] a upraveno

Předchozí cenová kalkulace byla pouze za materiál, je nutné také uvažovat montáž, instalaci lešení, dodatečné práce, apod. Orientační cena za jednotlivé úkony vztažená na m^2 je uvedena v Tab. 3.4.

Činnost	Cena [Kč/ m^2]	
Zateplení fasády včetně točené omítky (příprava podkladu, penetrace, montáž tepelné izolace, perlinka a točená omítka)	420,0	
Montáž okapniček a lišt	50,0	
Lešení (pronájem, montáž, demontáž)	130,0	
Přípravné práce, úklid, odvoz sutí	60,0	
celkem		660,0

Tab. 3.4: Cenová kalkulace bez DPH činností spojených se zateplením fasády vztažená na m^2 , převzato z [46] a upraveno

Celkové náklady, ve kterých jsou zahrnuty náklady na materiál i na montáž, spojené s dodatečným zateplením fasády systémem Baunit pro nižší tloušťku izolačního materiálu vztažené na m^2 jsou 1227,3 Kč bez DPH, což představuje 1411,4 Kč včetně 15 % DPH. Pro větší tloušťku expandovaného polystyrenu 100 mm jsou celkové náklady vztažené na m^2 1285,2 Kč bez DPH (1478,0 Kč vč. 15 % DPH).

Izolace venkovních stěn náleží do oblasti A - Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů.

3.3 Systém větrání s rekuperací tepla

Vzhledem k velkým tepelným ztrátám způsobených větráním je uvažován systém řízeného větrání se zpětným získáváním tepla. Existují dva typy systémů větrání s rekuperací, první z nich je centrální rekuperace. Takový systém je zpravidla umístěn v technické místnosti, ze které je veden systém potrubních vzduchovodů do celého domu. Mírná nevhodnost takového systému v případě částečné rekonstrukce je právě v nutnosti potrubních vzduchovodů. S pomocnými bouracími a stavebními pracemi lze však centrální rekuperaci integrovat také do rekonstruovaného domu. Druhý typ je decentrální rekuperace, která je vhodnější pro rekonstrukci domu, jelikož vyžaduje pouze minimální zásah do budovy a jednotka řízeného větrání je vsazena přímo do obvodové stěny.



Obr. 3.4: Centrální jednotka řízeného větrání s rekuperací tepla, převzato z [53]

Toto opatření neposkytuje pouze úsporu dodané energie na vytápění, rovněž poskytuje pro uživatele komfortní vnitřní prostředí nad obvyklou úrovní. Nucené větrání dodává čerstvý vzduch s minimálním teplotním rozdílem ve dne i v noci bez ohledu na roční období, zajišťuje ideální vlhkost a koncentraci oxidu uhličitého v domě a eliminuje z venkovního vzduchu pach, kouř a pyl.

Decentrální systém se pro rekonstrukci jeví jako vhodnější, avšak po analýze tuzemské nabídky a uvážení vyšší dotace pro centrální rekuperaci vychází jako vhodnější zabudovat centrální rekuperaci. Názorná kalkulace pro dva typy²⁾ rekuperačních jednotek pro jednu místnost je zachycena v následující Tab. 3.5:

	DUKA One Pro 50	Zehnder ComfoAir 70
Rekuperační jednotka [Kč]	15 930	34 058
Instalační trubka (prodloužení/nová) [Kč]	630	2 450
Příplatek za venkovní kryt [Kč]	1 500	0
Montáž [Kč]	4 100	4 100
Průtok vzduchu [m ³ /hod]	25	65
Max. rekuperace [%]	82	89
Entalpie	ne	ano
Celkem vč. DPH [Kč]	22 160	40 608

Tab. 3.5: Základní údaje a cenová kalkulace vč. DPH pro decentrální jednotku, zdroj: [47, 48]

²⁾Jeden méně nákladný typ s horšími technickými vlastnostmi a jeden více nákladný typ s lepšími technickými vlastnostmi.

Pro dimenzování celkového průtoku vzduchu je nutné určit potřebnou výměnu vzduchu v domě. Dle normy ČSN EN 15665 je stanovena minimální intenzita větrání 0,3 l/h, tato hodnota znamená, že pro nepřekročení maximálního množství oxidu uhličitého v místnosti je nutné každou hodinu obměnit alespoň 30 % objemu vzduchu v místnosti. V souladu s normou ČSN EN 16798-1 lze stanovit rozmezí na 0,5 až 0,7 l/h. [49, 50] Horní hranice 0,7 l/h je použita v často obývaných místnostech, zbylé místnosti mají stanovenou intenzitu nižší. Pomocí těchto intenzit a objemů jednotlivých místností je v příloze C stanovena míra výměny vzduchu na 250 m³/h. Jedná se o střední návrhový průtok, proto by maximální dosažitelný průtok měl být vyšší přibližně o 30 až 40 % [51], což odpovídá hodnotám 325 m³/h až 350 m³/h.

Cenová kalkulace pro centrální rekuperaci je zachycena v Tab. 3.6. První navrhovaná jednotka Atrea 300 EASY nespĺňuje požadavek na maximální průtok, avšak z důvodu, že je dům má pouze dva obyvatele, je možné tuto variantu dále uvažovat. Nejvíce nákladná jednotka Jablotron Futura 350 jako jediná nabízí řízený entalpický výměník s kontrolou zpětného zisku vlhkosti.

	Atrea 300 EASY	Atrea 380 ECV5.RD5	Jablotron Futura 350
Rekuperační jednotka [Kč]	32 300	48 400	91 000
Instalační materiál (konzole, trubky) [Kč]	81 180	81 180	81 180
Montáž [Kč]	48 235	48 235	48 235
Doprava [Kč]	12 600	12 600	12 600
Průtok vzduchu [m ³ /hod]	300	365	350
Max. rekuperace [%]	93	94	91
Entalpie	ne	ne	ano
Celkem bez DPH [Kč]	174 315	190 415	233 015
Celkem vč. DPH [Kč]	200 462	218 977	267 967

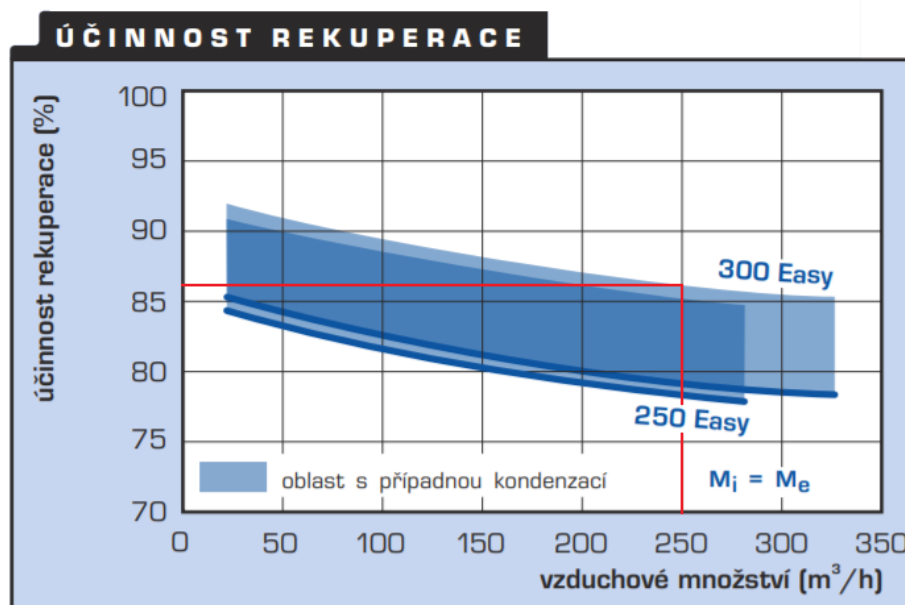
Tab. 3.6: Základní údaje a cenová kalkulace bez DPH pro centrální jednotku, zdroj: [52]

Před samotným porovnáním decentrální a centrální rekuperace je nutné stanovit, jaké množství decentrálních jednotek je potřeba instalovat, aby bylo dosaženo maximálního průtoku. Pro první typ DUKA je zapotřebí 13 jednotek ($325,3/25 = 13$) s celkovou cenou 288 tis. Kč, pro druhý typ Zehnder je potřeba 5 jednotek ($325,3/65 = 5$) s celkovou cenou 203 tis. Kč. V případě jednotek bez entalpie (DUKA, Atrea 300 a Atrea 380) je výhodnější jedna centrální jednotka, v případě jednotek s entalpickým výměníkem je výsledná cena decentrálních jednotek při započítání rozdílné výše dotace³⁾ a nižší o 40 tis. Kč.

Pro realizaci systému řízeného větrání s rekuperací tepla je s ohledem na omezený rozpočet zvolena nejméně nákladná centrální jednotka Atrea 300 EASY i přes absenci rekuperace

³⁾100 tis. Kč a 75 tis. Kč

vlhkosti. Jelikož účinnost rekuperace klesá se zvyšujícím se vzduchovým množstvím, je účinnost rekuperace pro jmenovitý průtok $250 \text{ m}^3/\text{h}$ dle Obr. 3.5 stanovena na hodnotu 86 %.



Obr. 3.5: Účinnost rekuperace jednotky Atrea 300 EASY, převzato z [53] a upraveno

Pro výpočet spotřeby elektrické energie je potřeba znát jmenovitý měrný příkon v jednotkách Ws/m^3 a také váhový činitel regulace ventilátorů. Produktový list je nedostatečně specifický, je znám pouze elektrický příkon celé jednotky pro hodnotu průtoku vzduchu $205 \text{ m}^3/\text{h}$, který je 58 W , a pro hodnotu průtoku vzduchu $300 \text{ m}^3/\text{h}$, který je 126 W . Přepočtem na jednotky Ws/m^3 se získá horní a dolní hranice jmenovitého měrného příkonu, konkrétně $1019 \text{ Ws}/\text{m}^3$ a $1512 \text{ Ws}/\text{m}^3$. K výpočtu je využít zjednodušující předpoklad, že el. příkon je přímo úměrný množství vzduchu, a tedy jmenovitý měrný příkon odpovídá hodnotě $1253 \text{ Ws}/\text{m}^3$. Váhový činitel regulace ventilátorů není uveden vůbec, proto je využita přednastavená závislost váhových činitelů na průtoku dle systému s běžnou účinností, u kterého se tlak ventilátorů při poklesu průtoku sníží pouze málo.

Udávaná životnost systémů řízeného větrání s rekuperací se pohybuje od 15 do 30 let, proto je v uvažovaném ekonomickém modelu přistoupeno ke zjednodušení, že v průběhu zkoumaného období 20 let nebude nutná reinvestice. K prodloužení životnosti systému je zapotřebí pravidelné čištění rozvodů a zařízení každých 6 let s orientační cenou 2500 Kč a každoroční výměna filtračního zařízení, kterou provede člen domácnosti, s orientační cenou 320 Kč . [54]

Systém větrání s rekuperací tepla spadá do oblasti C programu NZÚ.

3.4 Tepelné čerpadlo

Méně tradiční způsob vytápění pomocí tepelného čerpadla (TČ) si získává svou oblibu, ať už z důvodu komfortu užívání při přechodu ze dřeva nebo uhlí, z důvodu ekologie nebo kvůli vysokým dotacím z NZÚ. Jednotlivé typy tepelných čerpadel se dělí dle média, ze kterého odebírají teplo a do kterého teplo dodávají. Existují 4 typy TČ vzduch-vzduch, vzduch-voda, voda-voda a země-voda.

Ačkoliv je zahrada dostatečně velká pro TČ typu země-voda a také se na zahradě nachází studna, u které by se muselo provést měření průtoku pro TČ typu voda-voda, nelze tato tepelná čerpadla uvažovat kvůli vysokým pořizovacím nákladům. Dotace z NZÚ se dle podmínek uvedených v kapitole 1.4.2 NZÚ - oblast podpory C nevztahuje na rodinný dům, ve kterém je k vytápění využíván plynový kotel 5. emisní třídy GARDE G 42 ECO. Pokud se neuvažuje typ TČ vzduch-vzduch, je nejméně nákladný typ tepelného čerpadla typ vzduch-voda. [55]

Za předpokladu, že by se nerealizovalo žádné jiné opatření pro snížení potřeby tepla a rozpočet stanovený v kapitole 2.3 Rozpočet by mohl být v celém rozsahu využit na TČ vzduch-voda, tak by celý systém tepelného čerpadla včetně regulátoru, hadic, zásobníku teplé vody, montáže, případné výměny hlavního jističe a změny distribuční sazby a/nebo příkonu nesměl překročit částku 248 tis. Kč vč. DPH.

Je nutné dimenzovat TČ na tepelnou ztrátu bazické varianty bez dodatečného zateplení obálky 6,6 kW. To splňuje například TČ HPA-O 8 CS Plus, které má vestavěný elektrokotel 8,8 kW o topném výkonu 3,9 kW pro podmínky A7/W35⁴⁾ a topném výkonu 6,0 kW pro A2/W35. Ke zmíněnému TČ je rovněž dodáván zásobník teplé vody HSBB 200 o objemu 200 litrů. Akční cena⁵⁾ celého setu činí 199 tis. Kč bez DPH, resp. 229 tis. Kč vč. snížené sazby DPH 15 %. [56] Cena zahrnuje regulátor, avšak nezahrnuje oběhová čerpadla, montážní rámy a samotnou montáž. Orientační ceny vč. DPH jsou získány z programu KROS 4 [57] a pro čerpadla činí 15 tis. Kč, pro montážní rám 10 tis. Kč a celkovou montáž lze odhadnout na 25 tis. Kč.

Mezisoučet za kompletní soustavu a montáž je 279 tis. Kč a překračuje stanovený rozpočet. Navýšení proudové hodnoty ze stávajících 3x20 A na doporučených 3x32 A je zpoplatněno částkou 500 Kč/A, tedy celkem dalších 6 tis. Kč. S navýšením proudové hodnoty jsou rovněž spojeny vyšší fixní náklady na elektrickou energii a nutnost změny jističe. Toto vše vychází z předpokladu, že stávající teplovodní otopná soustava je vhodná pro nízkou teplotu otopné vody, která má 35 °C.

⁴⁾ Teplota vzduchu na vstupu do výparníku 2 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C, z historických důvodů se využívá stále A2/W35. [59]

⁵⁾ Aktuální k 06/2021.

Všechny uvedené informace spolu se skutečností, že stávající kotel na zemní plyn je mladší 5 let, vyvozují závěr, že by instalace TČ vzduch-voda byla ekonomicky neefektivní, a tedy by byly neefektivní také varianty země-voda a voda-voda. Typ TČ vzduch-vzduch bude rozebrán v následující kapitole.

3.4.1 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch

Poslední typ TČ, které nebylo diskutováno v předchozí kapitole, je vzduch-vzduch. Princip TČ je shodný s ostatními typy, avšak tepelný výkon předávají vzduchu uvnitř objektu. Hlavní rozdíl je v uživatelském komfortu, kdy teplo je vyfukováno dovnitř budovy pomocí vnitřních jednotek. Právě proto bude TČ vzduch-vzduch využíváno k přitápění pouze příležitostně a hlavní účel bude ochlazování prostoru v letních dnech.

Ačkoli klimatizace nemají identickou funkčnost jako TČ vzduch-vzduch, existuje široká nabídka klimatizací s moderní invertní technologií a takové klimatizace mohou také vnitřní prostor vytápět. [58] Jelikož bude hlavní účel zařízení chlazení prostoru a jak bylo zmíněno výše, není nárok na dotaci z NZÚ, jsou z pohledu rekonstrukce jednotlivé systémy zaměnitelné.

K chlazení objektu je uvažována multisplitová klimatizace, u které je napojeno na jednu venkovní jednotku několik vnitřních jednotek. Potřebný chladicí výkon se obvykle velmi zjednodušeně kategorizuje dle podlahové plochy či objemu místnosti. Přesnější výpočet se počítá dle potřeby 30 W chladicího výkonu na 1 m³ prostoru. [60] Nejpresnější výpočet zahrnuje orientaci a plochu oken, plochy stěn, uvažuje další neklimatizované přilehlé prostory, apod. Lze využít online kalkulačku od společnosti PREměření, a.s. [61] Jelikož přibližný výpočet a přesný výpočet dávají velmi podobné výsledky, je k výpočtu potřebného chladicího výkonu využita 2. uvedená metoda.

Vnitřní jednotky je vhodné nainstalovat pouze do některých místností, konkrétně se jedná o ložnici, obývací pokoj, kuchyni a pracovnu v 2. NP. Vypočtené potřebné chladicí výkony jednotlivých místností jsou spolu s naddimenzovanou hodnotou chladicího výkonu zahrnuty v Tab. 3.7.

Místnost	Objem [m ³]	Potřebný chladicí výkon [kW]	Naddimenzovaný výkon o 30 % [kW]
Kuchyně	63,7	1,9	2,5
Obývací pokoj	58,9	1,8	2,3
Ložnice	58,3	1,7	2,3
Pracovna	94,7	2,8	3,7

Tab. 3.7: Vypočtené chladicí výkony pro jednotlivé místnosti, zdroj: autor

Vnitřní nástěnné jednotky se nevyrábějí o libovolných chladících výkonech, ale nejčastěji v okolí určitých hodnot např. 2,0 kW, 2,5 kW, 3,5 kW či 5,0 kW. Proto je navrhována následná cenová kalkulace:

Popis / materiál / zařízení	Množství	Cena [Kč]
Venkovní jednotka Sinclair MS-E28AIN (chladící výkon 8 kW)	1 ks	45 790
Vnitřní nástěnná klim. Sinclair MS-H09AIC PT (ch. výkon 2,6 kW)	3 ks	16 620
Vnitřní nástěnná klim. Sinclair MS-H12AIC PT (ch. výkon 3,5 kW)	1 ks	6 830
Cu propojovací potrubí, izolace, chladivo, kabeláž	18 bm	15 300
Montáž, drobný inst. mat., uvedení do provozu, tech. dokumentace	1 kpl	8 500
	celkem	93 040

Tab. 3.8: Cenová kalkulace bez DPH pro klimatizaci s invertní technologií vytápění, zdroj: [62]

Odvod kondenzátu je řešen samospádem, proto se v cenové kalkulaci nevyskytují čerpadla. Cena je uvedena bez DPH, se sníženou sazbou DPH 15 % je výsledná cena zaokrouhleně 107 tis. Kč.

U pravidelně servisované klimatizace lze očekávat životnost 15 až 20 let. Neočekává se tedy nutná reinvestice ve zkoumaném období. Pravidelný servis skládající se z čištění a dezinfekce filtrů bude obstarávat člen domácnosti, dále je nutná revize chladivového okruhu každý rok. Odhadovaný roční náklad je 1000 Kč vč. DPH.

3.5 Fotovoltaický systém

Zdroj elektrické energie z fotovoltaického systému stále častěji nachází uplatnění u budov s nízkou energetickou náročností, zejména kvůli snižování potřeby neobnovitelné primární energie a také kvůli částečné či úplné energetické nezávislosti. V případě rekonstrukce domu bude energetická nezávislost pouze částečná, jelikož rodinný dům bude stále připojen k distribuční síti. K instalaci je vhodná pouze jiho-jihozápadní část střechy s plochou 80,6 m² a sklonem 44°. Ideální způsob určení potřebného instalovaného výkonu je z bilance spotřeby el. energie a její výroby. V rodinném domě se však nevyskytuje průběžné měření a nelze tak spotřebu přesně určit. K přibližnému průběhu spotřeby lze využít přepočtené typové diagramy dodávky, které odpovídají jednotlivým distribučním sazbám. Je nutné zmínit, že přepočítané typové diagramy dodávky jsou pouze statistické a nelze tedy očekávat, že budou odpovídat každé domácnosti, což je právě případ posuzovaného objektu. Proto je zvolen jiný přístup ke stanovení průběhu spotřeby el. energie, a to program Load Profile Generator [63], ve kterém lze zvolit všechny potřebné vstupní údaje jako jsou např. lokalita, počet členů domácnosti, věk, zaměstnání, pracovní doba, dovolená, zájmy, návyky, úspornost a technické parametry spotřebičů, apod.

3.5.1 Průběh spotřeby domácnosti

Pomocí zadaných vstupních údajů program zpracoval model spotřeby elektrické energie pro každou minutu průměrného dne v každém měsíci. Z těchto minutových hodnot lze dopočítat celkovou roční spotřebu el. energie, která je rovna 3,912 MWh. Reálná hodnota dle faktury pro rok 2020 činí 3,874 MWh, tedy model spotřeby a skutečnost se liší pouze o 0,04 MWh, což představuje relativní rozdíl 1,0 %, a proto je přesnost modelu považována za dostatečnou. Zjednodušující předpoklad pro další výpočet je, že spotřeba v jednotlivých letech bude konstantní, tedy nebude uvažována elektromobilita či odchod do důchodu a s tím spojený diametrálně rozdílný průběh denní spotřeby.

Vzhledem k podmínce NZÚ, která stanoví, že vyrobená elektřina musí krýt spotřebu v místě výroby z alespoň 70 %, lze uvažovat fotovoltaické elektrárny s roční výrobou maximálně $3,874/70\% = 5,534$ MWh⁶). Využitím zjednodušené metodiky výpočtu z NZÚ za pomocí vzorce (3.1) lze získat odhadovaný instalovaný výkon jako 5,5 kWp. [29]

$$Q_{FV,celk} = P_{inst} \cdot 1000 \quad (3.1)$$

Nevyužité přebytky se dodávají zpátky do distribuční soustavy a výkupní cena nepřesahuje 0,5 Kč/kWh, proto je obvykle výhodnější dimenzovat fotovoltaický systém bez přebytků. Elektrická energie v rodinném domě je převážně odebírána v nízkém tarifu, viz Obr. 2.7. Kvůli těmto dvěma skutečnostem je stanoven orientační instalovaný výkon na hodnotu 3,9 kWp.

Pro aplikaci jsou zvoleny polykrystalické panely Canadian Solar 420Wp POLY v počtu 9 ks s celkovým instalovaným výkonem 3,78 kWp, základní specifikace je uvedena v následující tabulce:

Parametr	Hodnota
Délka [mm]	2108
Šířka [mm]	1048
Hmotnost [kg]	25
Záruka výkonu	84,8 % / 25 let
Účinnost panelu	19,00%
Typ buněk	polykrystalické
Nominální výkon panelu [Wp]	420

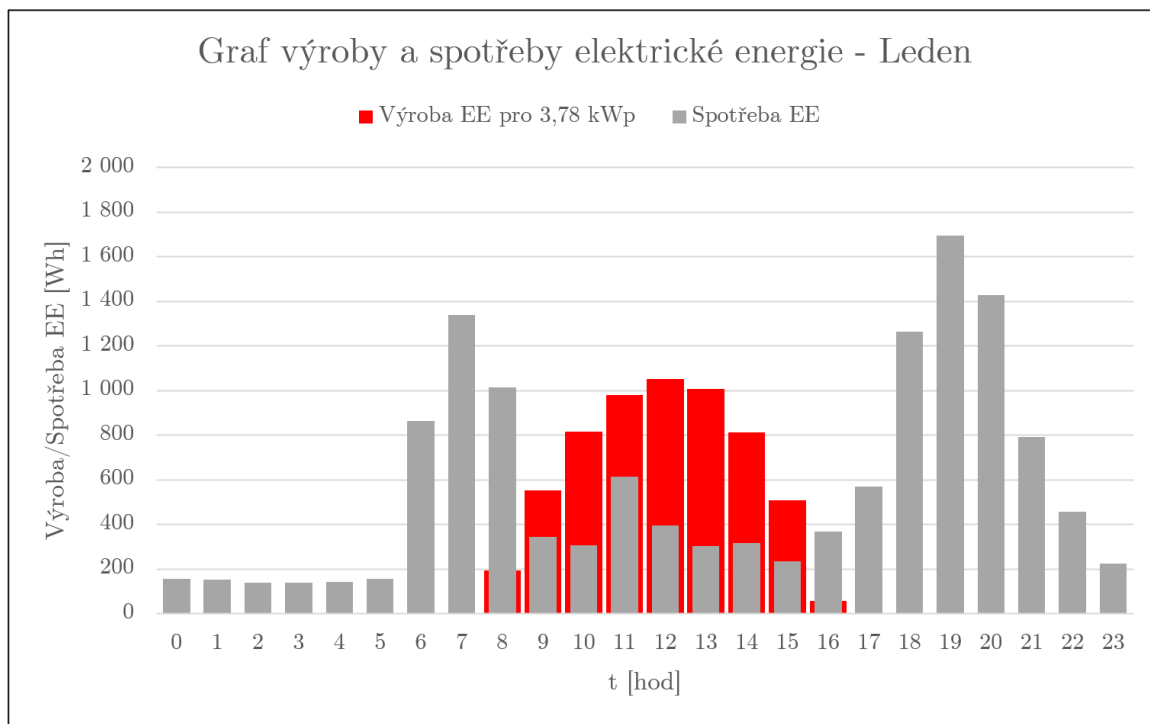
Tab. 3.9: Parametry panelu Canadian Solar 420Wp POLY, převzato z [64] a upraveno

K modelu spotřeby elektrické energie je nutné sestavit model průběhu výroby elektrické energie. K výpočtu dopadající energie na m² je využit program PVGIS. [65] Pro přesné výstupní údaje je uvažována přesná geografická lokace, sklon střechy (44°) i JJZ azimut.

⁶Tato hodnota odpovídá bazické variantě bez dalších opatření.

Pro další porovnání je využito dat pro průměrnou hodinu z každého měsíce. Ze znalosti účinnosti panelu, celkové plochy a ztrát na DC vedení (2 %), ztrát v měniči (5 %) a ztrát na AC vedení (1 %) je pro každou hodinu průměrného dne každého měsíce určena celková vyrobená energie. [66] Podrobné výpočty jsou v příloze L.

Typicky v zimních měsících budou přebytky malé, jako je znázorněno na Obr. 3.6, ale přesto je zřejmý trend posunuté výroby a spotřeby elektrické energie, kdy členové domácnosti ráno odcházejí do práce a večer se vrací.

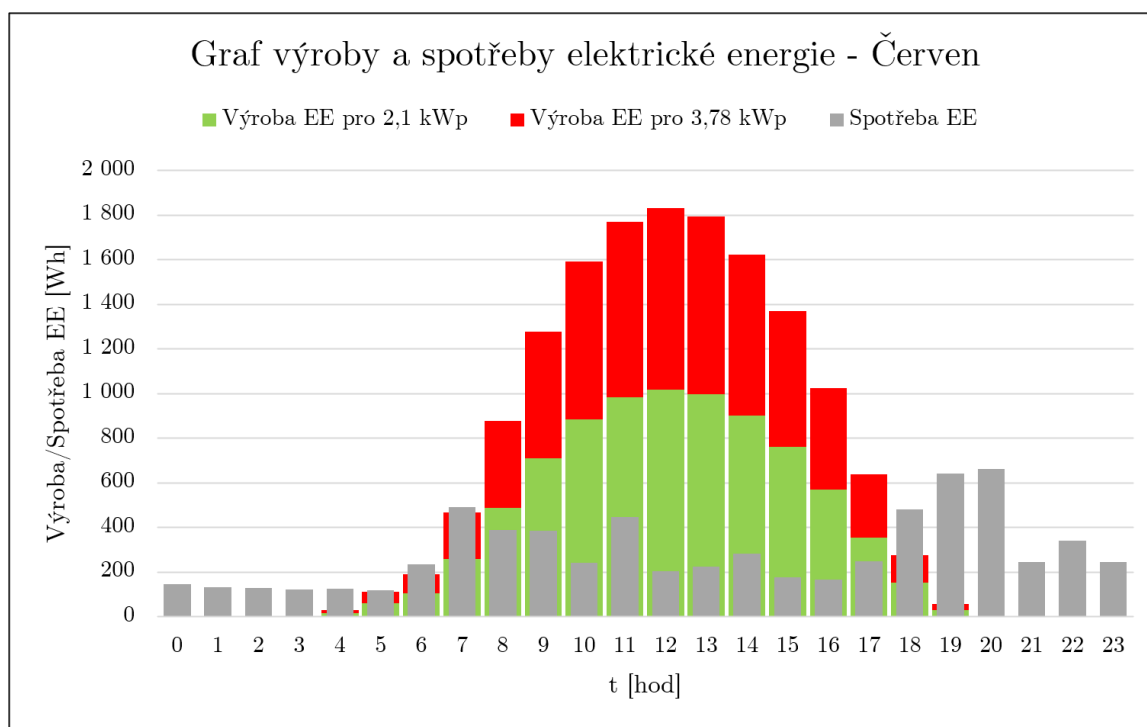


Obr. 3.6: Balance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v lednu, zdroj: autor

V letních měsících jsou přebytky výrazné, jako je znázorněno na Obr. 3.7, a trend posunuté výroby a spotřeby el. energie je velmi významný. Průběh spotřeby a výroby pro všechny další měsíce je uveden v příloze F. Prodej přebytků do distribuční sítě není ekonomicky výhodný, proto je nutné uvažovat systém akumulace vyrobené energie přes den k využití ve večerních hodinách. V takovém případě však denní přebytky vznikající v odpoledních hodinách dosahují hodnot 10 až 11 kWh a samotné přebytky tvoří větší množství elektrické energie než je celodenní spotřeba. Odtud je patrné, že takový systém je naddimenzovaný a je nutné zvolit jiný přístup výpočtu instalovaného výkonu.

Jelikož není žádoucí prodávat přebytky do sítě, může být nejvýhodnější zvolit takový instalovaný výkon, aby ve dni s největšími hodinovými rozdíly mezi výrobou a spotřebou byla celková denní výroba a celková denní spotřeba totožná. Takový den je pro uvažovaný objekt průměrný červnový den a instalovaný výkon odpovídá 1,75 kWp, čemuž odpovídá 4,15 ks panelu. Zaokrouhlením nahoru na počet 5 ks se získá instalovaný výkon 2,1 kWp.

Pro tuto hodnotu výkonu je vypočten denní přebytek pro průměrný červnový den, dohromady činí 4,89 kWh. Způsob akumulace může být dvojitý, jak je popsáno dále.



Obr. 3.7: Balance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v červnu, zdroj: autor

3.5.2 Akumulace přebytků do nádrže s vodou

Objekt je vybaven zásobníkem teplé vody OKCE 160, který pro ohřev využívá elektrickou energii. Problém tohoto řešení je, že v současné době neexistuje žádné měření spotřeby teplé vody, ani spotřeba EE elektrickým ohříváčem. Zároveň tento způsob akumulace neposkytuje žádnou soběstačnost v případě přerušení dodávky elektrické energie, dochází k rychlejší ztrátě energie a vytlačuje se spotřeba EE převážně v nízkém tarifu, který poskytuje levnější EE a výsledná úspora je nižší. Proto bude využita akumulace přebytků do stále se zlevňujících elektrických akumulátorů. [67]

3.5.3 Akumulace přebytků do baterie

Jelikož počet skutečných dnů, ve kterých bude hodnota přebytku 4,89 kWh dosažena nebo překročena bude minimální množství, lze s výhodou uvažovat akumulaci do baterie velmi blízké hodnoty 4,8 kWh. Jelikož ve spotřebě elektrické energie je rovnou uvažována spotřeba na ohřev vody v zásobníku OKCE 160, jedná se z hlediska podpory NZÚ o systém s kombinovanou akumulací do teplé vody a do elektrických akumulátorů. K vyššímu komfortu obyvatel je zvolena instalace na klíč, která kromě kompletní montáže a upevnění

zahrnuje 5 ks panelů Canadian Solar 420 W, měnič GoodWe 3048D-ES s funkcí back-up, která se aktivuje při výpadku proudu z distribuční sítě, a baterii PylonTech US2000B 4,8 kWh. Kompletní cena vč. DPH je 193 tis. Kč a poskytuje 25 let záruku na maximální pokles výkonu panelů na 84,8 %, 10 let na mechanické části systému, 5 let na měnič a 10 let na baterie. [68]

Pro zvolenou hodnotu instalovaného výkonu a hodnotu kapacity baterie jsou uvažovány denní výroby a denní spotřeby. Pokud je celková denní spotřeba nižší, tak veškerý přebytek musí být považován za přetok do distribuční sítě. Stejný případ nastává, pokud je denní přebytek vyšší než kapacita baterie. Blíže jsou zkoumány další subvarianty fotovoltaických systémů na klíč.

Jako první se nabízí možnost navýšit počet panelů o 2 na celkový počet 7, což odpovídá instalovanému výkonu 2,94 kWp. Při bližší analýze nabídky fotovoltaických systémů na klíč lze zjistit, že počet panelů 7 a 9 (tedy inst. výkon 2,94 kWp a 3,78 kWp) se liší cenou pouze o 1 tis. Kč vč. DPH po odečtení navrhované dotace (C.3.5 a C.3.6. spolu s C.5). Degradace panelů je v tomto případě zanedbána a výsledné marginální investiční náklady budou mírně vyšší. [68, 69]

Přehledně jsou stanoveny marginální investiční náklady v Tab. 3.10, pro které jsou uvažovány ceny vč. DPH za další varianty fotovoltaického systému na klíč a je nutné rovněž uvažovat wattrouter pro řízení přetoků, zvolen je WATTrouter ECO s cenou 5,4 tis. Kč. [69]

Instalovaný výkon FVE / kapacita baterie	2,1 kWp 4,8 kWh	2,94 kWp 4,8 kWh	2,94 kWp 7,2 kWh	3,78 kWp 4,8 kWh	3,78 kWp 7,2 kWh
Roční výroba [kWh]	2 304	3 226	3 226	4 148	4 148
Roční přetok [kWh]	43	548	319	1 260	898
Skutečně využitá EE [kWh]	2 261	2 678	2 907	2 888	3 250
Marg. invest. náklad [Kč/kWh]	n/a	2,1	3,5	1,5	2,3

Tab. 3.10: Kombinace nárůstu instalovaného výkonu a kapacit baterie, zdroj: autor

Zajímavá výše marginálních investičních nákladů je pro hodnotu inst. výkonu 3,78 kWp a baterie 4,8 kWh, která činí pouze 1,5 Kč/kWh. Vystává tedy otázka, zda je zvolená metodika návrhu instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny správná, a proto je nutné provést hlubší analýzu. K tomu je využit ekonomický model se zkoumaným obdobím 20 let, diskontem 2,51 %, eskalací cen elektrické energie 2,5 % a inflací 2,0 %.⁷⁾ K porovnání jsou zvoleny subvarianty (2,1 kWp / 4,8 kWh), (3,78 kWp / 4,8 kWh) a (3,78 kWp / 7,2 kWh), kdy u posledních dvou zmíněných je nutná změna dodavatele EE a tarifu, u první subvarianty je výše přetoků 43 kWh zanedbána.

Přetok do sítě je řešen např. smlouvou s ČEZ Prodej a je nutné zvolit speciální tarif Elektřina

⁷⁾Důvod pro zvolení těchto hodnot je uveden v kapitole 5 Ekonomické zhodnocení

pro soláry. Tento tarif má vyšší fixní náklady než stávající tarif u E.ON⁸⁾ a hodnota přetoků snižuje částku za spotřebovanou elektřinu, avšak pouze neregulovanou dodávku elektřiny, s hodnotou 2116,29 Kč/MWh, která je totožná pro NT i VT pro distribuční sazbu D25d.

Dle poskytnuté záruky je doba životnosti jednotlivých komponentů určena na dvojnásobek, tedy během zkoumaného období 20 let bude nutné reinvestovat do měniče GoodWe 3048D-ES. Zároveň je nutné reinvestovat do bateriového systému, který je dimenzován na 6000 cyklů, což je dostatečná hodnota pro běžnou domácnost na 20 let, avšak po 15 letech dochází k degradaci materiálu. [70] Proto bude nutná reinvestice rovněž do bateriového systému již 16. rok. Doba životnosti wattrouteru je 20 let. Uvažovaná cena bude navýšena o příslušnou inflaci. V případě zůstatkové hodnoty je uvažována hodnota 2/3 reinvestičních nákladů na baterie, pro které ve 20. roce projektu uplyne přesně 1/3 doby životnosti, a také je uvažována částka 1 tis. Kč za každý fotovoltaický panel, který má garantovaný výkon ještě 5 let po skončení projektu. Pro další zůstatkové hodnoty (wattrouter, měnič, nosná konstrukce, apod.) je zvolen předpoklad, že případná zůstatková hodnota bude totožná s náklady na likvidaci, a tedy nejsou v modelu uvažovány.

S provozem fotovoltaického systému je spojena nutnost revize každé čtyři roky a náklady na pojištění. Tyto částky jsou odhadnuty na 2 tis. Kč za revizi a 500 Kč za pojištění každý rok.

Pro výše uvedené skutečnosti vychází nejlépe dle kritéria NPV⁹⁾ subvarianta (3,78 kWp / 4,8 kWh), s mírou využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby přesně 70 %, takže je možné využít dotaci z NZÚ. Hodnoty NPV jsou přehledně uvedeny v Tab. 3.11, kompletní výpočet v příloze L.

Instalovaný výkon FVE / kapacita baterie	2,1 kW _p 4,8 kWh	3,78 kW _p 4,8 kWh	3,78 kW _p 7,2 kWh
NPV [tis. Kč]	-381	-313	-330
Krytí spotřeby v místě výroby [-]	98%	70%	78%

Tab. 3.11: Porovnání subvariant fotovoltaického systému dle kritéria NPV, zdroj: autor

Pro sestavení variant je zvolen fotovoltaický systém s instalovaným výkonem 3,78 kWp a kapacitou baterie 4,8 kWh.

⁸⁾Stávající roční stály plat je 2649 Kč a nový roční stály plat je 3965 Kč.

⁹⁾Bližze rozebráno v kapitole Ekonomické zhodnocení 5.

4 Přehled hodnocených variant

V této kapitole jsou sestaveny rozdílné varianty sestavené z jednotlivých opatření. Bazická varianta splňuje požadavky na 2. možnost větší změny dokončené budovy dle Tab. 1.2, konkrétně se jedná o ukazatel na celkovou dodanou energii za rok vztaženou na metr čtvereční energeticky vztažené plochy a ukazatel na průměrný součinitel prostupu tepla. Tato skutečnost umožňuje z legislativního hlediska podle vyhlášky č. 264/2020 Sb. kombinaci libovolných opatření. Avšak s důrazem na maximální možnou dotaci z programu NZÚ, která byla rozebrána v kapitole 1.4 Nová zelená úsporám, je nutné volit souběžně opatření izolace venkovních stěn a regenerace oken izolačním trojsklem. Pokud by tato dvě opatření nebyla souběžná, nebylo by dosaženo nutné podmínky procentního snížení vypočtené měrné roční potřeby tepla na vytápění oproti stavu před realizací opatření alespoň o 20 %, jak je uvedeno v Tab. 1.4. Před opatřením je měrná roční potřeba tepla na vytápění $71,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, po provedení opatření $57,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což představuje procentní snížení o 20,3 %. Zároveň je uvažováno pouze dodatečné zateplení 100 mm, jelikož při dodatečném zateplení 60 mm by i při souběžném provedení opatření s regenerací skel byl procentní pokles pouze o 17,8 % na hodnotu $59,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, a tedy by se pozbylo oprávnění k dotaci. V případě, že je uvažováno opatření řízeného větrání s rekuperací, je možné dosáhnout požadovaného procentního poklesu i bez dalšího souběžného opatření. To lze s výhodou využít při souběžném žádání o podporu z programu NZÚ z oblasti A a uvažovat pouze jedno z výše uvedených opatření.

V žádné variantě není uvažována podpora v podoblasti A.4 ve výši 25 tis. Kč, protože je použit zjednodušující předpoklad, že tato částka pokryje zpracování odborného posudku. Za vyřízení dotace se platí až po připsání úspěšné dotace, a proto částka za odborný posudek v případě nutnosti hypotečního úvěru nevstupuje do výše tohoto úvěru.

PENB v textu budou pouze zkrácené verze bez údajů o budově a údajů o energetickém specialistovi. Pro všechny PENB jsou tyto hodnoty totožné a lze je nalézt na Obr. 1.1, případně v příloze pro konkrétní průkaz.

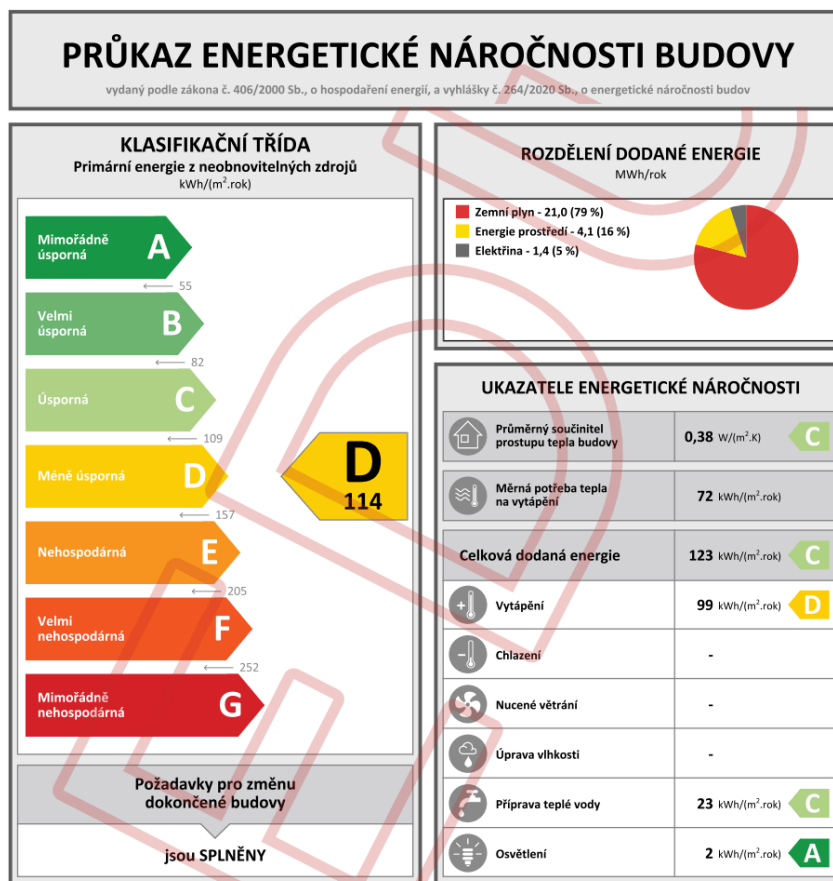
4.1 Varianta 0

Varianta 0 se skládá pouze z 1 opatření, kterým je:

- Fotovoltaický systém s inst. výkonem 3,78 kWp a akumulací přebytků do baterie.

Fotovoltaický systém nepřesahuje 10 kWp, je vybaven měničem s euroúčinností 97 %, samotné panely mají účinnost 19 % a míra využití vyrobené elektřiny v místě výroby je 70 %. Celková roční výroba je zaokrouhleně 4,1 MWh. Jelikož uvažovaný bateriový systém s kapacitou 4,8 kWh je na bázi lithia, lze uvažovat sníženou měrnou kapacitu 1,25 kWh/kWp, což odpovídá minimální kapacitě 4,73 kWh. Proto jsou všechny podmínky pro podoblast podpory C.3.7 a C.5 splněny. Je tedy možné využít dotaci ve výši 155 tis. Kč. Samotná počáteční investice bez započítané dotace činí 236 tis. Kč vč. DPH, nutná reinvestice, revize a pojištění je zahrnuto v ekonomickém modelu. Kvůli řízení přetoků je nutné zahrnout také wattrouter s cenou 5,4 tis. Kč.

Jelikož výše dotace nesmí překročit 50 % uznatelných nákladů, je možné žádat o dotaci v maximální výši $50\% \cdot 241,4 = 120,7$ tis. Kč. Celková investice do varianty 0 po odečtení dotací je $(236 + 5,4 - 120,7) = 120,7$ tis. Kč.



Obr. 4.1: PENB (zkrácená verze) - varianta 0, program Energie 2020, zdroj: autor

Opatření má vliv pouze na množství dodané primární energie z neobnovitelných zdrojů. Pro variantu 0 je nově klasifikační třída Úsporná (C). Na Obr. 4.1 je zachycen nový PENB pro variantu 0. Opět se jedná o jednotný způsob vyhodnocení stávajícího stavu zákona č. 406/200 Sb. a vyhlášky č. 264/2020 Sb. a způsob vyhodnocení je identický pro všechny varianty. Vyrobená elektrická energie fotovoltaickou elektrárnou je využita primárně pro elektrické spotřebiče, respektive pro uživatele budovy, a tato energie se do PENB nezahrnuje. V PENB je tedy zvolena možnost, že přebytky EE nejsou využity, aby nedocházelo ke zkreslování údajů, zejména ke zkreslování množství primární energie z neobnovitelných zdrojů, které by bylo o exportovanou EE do sítě poníženo. U PENB dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. nemá toto nastavení příliš velký dopad, avšak u PENB dle nastaveného profilu by docházelo ke klasifikaci Velmi úsporná (B) či Mimořádně úsporná (A) právě kvůli velkému množství přetoků do sítě.

Pro ekonomický model je nutné rovněž uvažovat elektrickou energii pro uživatele budovy, a právě proto je ekonomický výpočet nezávislý na výstupních údajích z programu Energie 2020.

4.2 Varianta I

Tato varianta se skládá pouze ze základních opatření týkajících se zlepšení tepelných vlastností obálky a fotovoltaického systému, konkrétně se jedná o:

- Regenerace oken izolačním trojsklem.
- Izolace venkovních stěn.
- Fotovoltaický systém s inst. výkonem 3,78 kWp a akumulací přebytků do baterie.

Jak bylo zmíněno výše, kombinací opatření je dosaženo procentního snížení 20,3 % měrné roční potřeby tepla na vytápění a součinitel prostupu konstrukcí po opatření je $0,180 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, resp. $0,175 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což je nižší hodnota než $0,9 \cdot U_{em,rec,20}$ uvedená k příslušné konstrukci v Tab. 2.6. Proto obě podmínky k čerpání dotace v oblasti A.0 jsou splněny.

Ze znalosti měrných nákladů a plochy lze spočítat celkové náklady na opatření, ze znalosti měrných dotací a plochy lze vypočítat dle vzorce (1.10) celkovou výši podpory. Pro větší přehlednost jsou tyto hodnoty uvedeny v Tab. 4.1.

Investice do zateplení obálky činí 217,6 tis. Kč, avšak uznatelné náklady tvoří pouze 213,7 tis. Kč¹⁾. Celková výše podpory v oblasti podpory A činí 95,8 tis. Kč. Splnění

¹⁾Likvidace starých skel při regeneraci není uznatelný náklad.

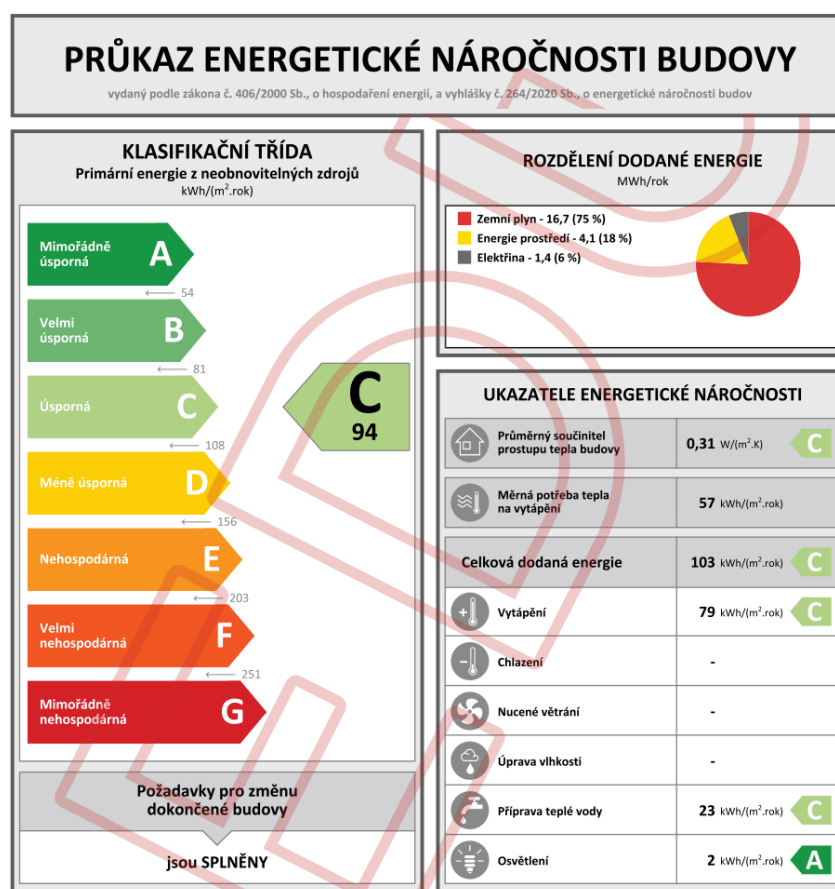
podmínek pro fotovoltaický systém je shodné s variantou 0, shodné jsou také náklady, ale také omezení maximální výše podpory. Maximální výše podpory se stanoví jako $50\% \cdot (213,7 + 236 + 5,4) = 227,6$ tis. Kč, což představuje nižší částku než prostý součet jednotlivých dotací $(95,8 + 155) = 250,8$ tis. Kč. Toto omezení se týká každé varianty, proto již nebude dále podrobněji popisováno.

Opatření	Měrné náklady	Měrné dotace	Plocha [m ²]
	[Kč/m ²]	[Kč/m ²]	
Regenerace oken izolačním trojsklem (bez likvidace)	2 742	2100	20
Likvidace	191	0	20
Izolace venkovních stěn	1478	500	107

Tab. 4.1: Měrné náklady a měrné dotace pro zvolená opatření, zdroj: autor

Celková investice do varianty I po odečtení dotací je $(217,6 + 236 + 5,4) - 227,6 = 231,4$ tis. Kč.

Je zřejmé, že tato opatření mají vliv na snížení roční potřeby tepla na vytápění a zároveň na množství dodané primární energie z neobnovitelných zdrojů. Pro variantu I je nově klasifikační třída Úsporná (C). Na Obr. 4.2 je zachycen nový PENB pro variantu I. Pro samotný ekonomický model je důležitý relativní pokles měrné potřeby tepla na vytápění, který činí 20,3 %.



Obr. 4.2: PENB (zkrácená verze) - varianta I, program Energie 2020, zdroj: autor

4.3 Varianta II

Ve druhé variantě je vynecháno opatření izolace venkovních stěn, jelikož v porovnání s regenerací oken izolačním trojsklem poskytuje vyšší pokles měrné potřeby tepla na vytápění, pokud je opatření vztaženo na vyvolané investiční náklady. Jelikož se v této variantě uvažuje rovněž systém větrání s rekuperací tepla, je možné souběžné podání žádosti podoblasti A.0 a C.4.1, které zaručuje splnění podmínek pro přiznání dotace z programu NZÚ. Jako v předchozí variantě i zde je zahrnut fotovoltaický systém. Zahrnuta jsou tato opatření:

- Regenerace oken izolačním trojsklem.
- Systém větrání s rekuperací tepla.
- Fotovoltaický systém s inst. výkonem 3,78 kWp a akumulací přebytků do baterie.

Výpočet celkové počáteční investice se stanoví dle Tab. 4.1, výše zmíněné kalkulace pro fotovoltaický systém a ze známých nákladů spojených s pořízením systému větrání s rekuperací tepla a ze známé výše dotace. Je nutné ohlídat nepřekročení 50 % uznatelných nákladů.

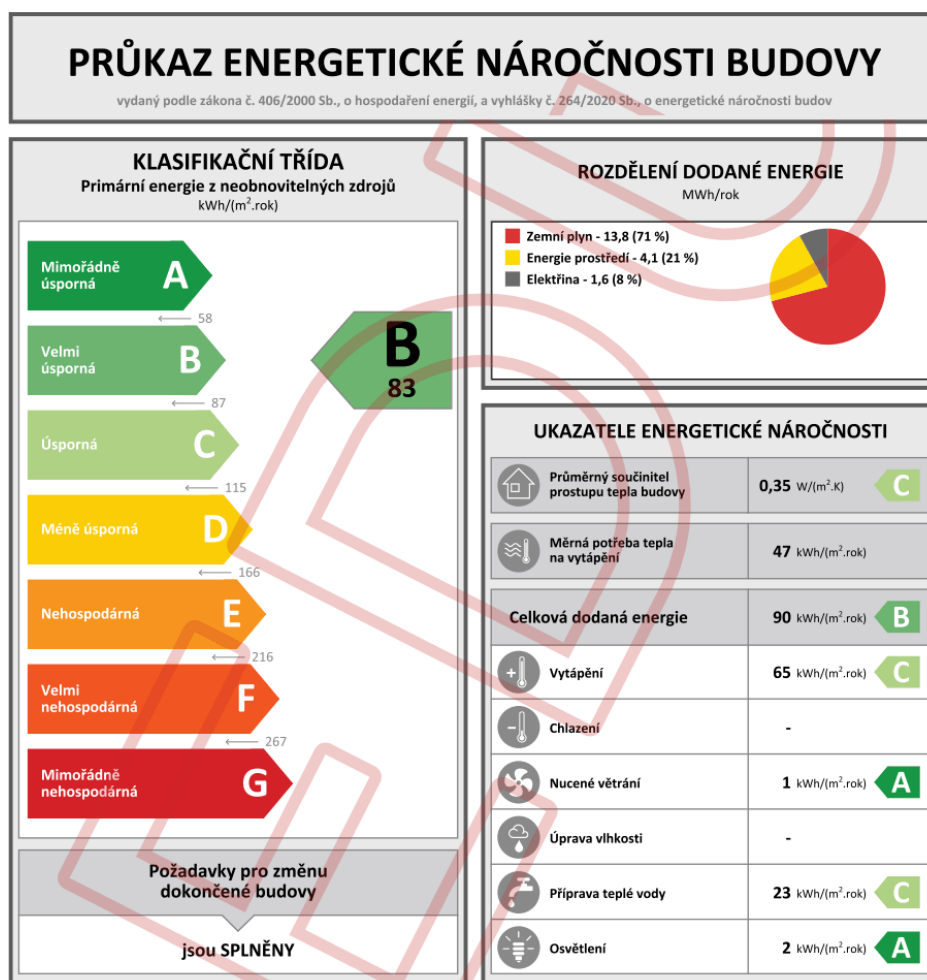
Výsledná investice do varianty II je $(58,8 + 200,5 + 236 + 5,4) - 248,5 = 252,2$ tis. Kč.

Varianta II, obdobně jako varianta I, zahrnuje opatření, která mají vliv na snížení roční potřeby tepla na vytápění a zároveň na množství dodané primární energie z neobnovitelných zdrojů. Nová klasifikační třída je Velmi úsporná (B). Na Obr. 4.3 je zachycen nový PENB pro variantu II. Měrná potřeba tepla na vytápění ve variantě II klesla na hodnotu 47,2 kWh/(m².a), což představuje výrazný 34,3% pokles.

Pro ekonomický model nelze vzít vypočtenou hodnotu spotřeby energie na nucené větrání, je nutné výpočet zopakovat pro nastavený profil užívání, který odpovídá skutečnému způsobu využití objektu a je velmi specifický, jak bylo uvedeno v kapitole 2.5 Vyhodnocení stávajícího stavu podle ČSN 73 0331-1. Měsíční spotřeba energie na nucené větrání je zaokrouhleně 4 kWh, proto je možné denní i měsíční spotřeby zanedbat a zahrnout pouze celoroční spotřebu 52 kWh/a. Takto malá spotřeba se neprojeví na dimenzování instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny a je vhodné využít vypočtený instalovaný výkon 3,78 kWp.

Porovnáním PENB mezi variantou I a variantou II lze pozorovat změnu klasifikační třídy, ale také mírný posun hranic jednotlivých tříd. To je způsobeno tím, že ve variantě II je zahrnut také systém nuceného větrání, pro který je určena rozdílná referenční budova. Tyto dvě referenční budovy nejsou velmi rozdílné, jsou však rozdílné dostatečně na to, aby způsobily

mírný posun hranic. Větší rozbor rozdílností referenčních budov není v rámci této závěrečné práce relevantní, a proto není dále zkoumán.



Obr. 4.3: PENB (zkrácená verze) - varianta II, program Energie 2020, zdroj: autor

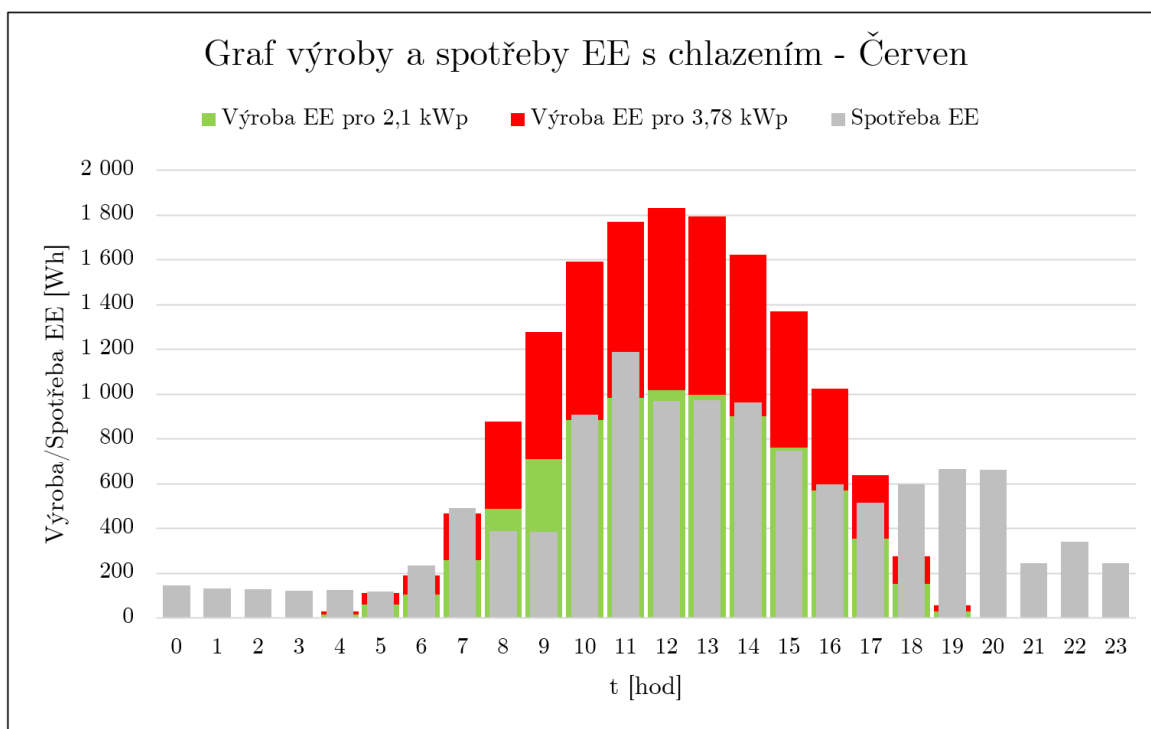
4.4 Varianta III

Varianta III vychází z varianty II, avšak je uvažováno navíc chlazení za pomoci multisplitové jednotky. Ve vyhlášce č. 264/2020 Sb. dle § 9 odst. 7 je stanoveno, že "v případech, kdy je dílčí dodaná energie na chlazení referenční budovy nulová, neurčuje se klasifikační třída pro dílčí dodanou energii na chlazení." [21], proto nedojde ke změně referenční budovy, a tedy ani ke změně hranic jednotlivých klasifikačních tříd z pohledu primární energie z neobnovitelných zdrojů. Přesto se započítává spotřeba na chlazení do celkové spotřebované energie hodnocené budovy. Nelze tak hovořit o úspoře energie ani o snížení provozních nákladů. Tato varianta však nabízí dodatečný vysoký uživatelský komfort v letních měsících a v porovnání s variantou II lze tento uživatelský komfort vyjádřit v dodatečných nákladech.

Pro přehlednost se varianta III skládá z těchto opatření:

- Regenerace oken izolačním trojsklem.
- Systém větrání s rekuperací tepla.
- Strojní chlazení.
- Fotovoltaický systém s inst. výkonem 3,78 kWp a akumulací přebytků do baterie.

S chlazením objektu je spojen další problém, jelikož v podmínkách České republiky se předpokládá, že při správném návrhu budovy není potřeba strojního chlazení pro splnění požadavků na interiérové teploty v letních měsících. Tato skutečnost se zároveň odráží v nulovém požadavku energie na chlazení u referenční budovy a je s tím spojena nevhodnost výpočtu spotřeby energie na chlazení v programu Energie 2020 pro rodinné domy. Program dle klimatických podmínek pro rodinné domy stanovuje téměř nulovou spotřebu energie na chlazení. Spotřebu energie na chlazení lze uměle přidat pomocí pomocné energie, avšak takový postup způsobuje další problémy ve výpočtech a nelze ověřit správnost výsledné energie na chlazení vč. energie pomocné.



Obr. 4.4: Bilance spotřeby a výroby EE pro průměrný den v červnu při uvažování strojního chlazení, zdroj: autor

Z těchto důvodů není vytvářen PENB ani není proveden výpočet hodnot pomocí Energie 2020. Alternativním způsobem lze upravit spotřebu elektrické energie v průměrný den, která byla uvedena v kapitole 3.5.1 Průběh spotřeby domácnosti, pro letní měsíce (červen, červenec a srpen). Je odhadnuto, že multisplitová jednotka poběží v těchto měsících každý

den s celkovou roční spotřebou EE uvedenou na energetickém štítku 459 kWh/a. Energetický štítek je uveden v příloze G, hodnota roční spotřeby elektrické energie na štítku je udána pro 3 vnitřní jednotky MS-H07 a 1 vnitřní jednotku MS-H18, avšak v uvedeném opatření je typ vnitřních jednotek jiný (3x MS-H09 a 1x MS-H12). Výsledný rozdíl spotřeby EE je zanedbatelný, jelikož jsou vnitřní jednotky spotřebou EE velmi blízké a převážnou část spotřeby tvoří venkovní jednotka, která je totožná. K rozpočítání roční spotřeby EE na jednotlivé dny je využito osvitů v dané hodině, avšak proces chlazení nezačne s prvním osvitem, který je v letních měsících okolo 4. ranní hodiny, ale nejdříve v 10:00. Průběh nové denní spotřeby pro průměrný červnový den je zachycen na následujícím Obr. 4.4.

Zbylé průběhy spotřeby a výroby jsou uvedeny v příloze H.

Spotřeba EE v odpoledních hodinách pozmění proti variantě II výši přebytků i přetoků, proto je tato změna započtena v ekonomickém modelu. Dodatečná spotřeba EE ze sítě je pouze 17,1 kWh, zbytek EE je spotřebován z výroby fotovoltaické elektrárny. Dodaná energie na chlazení je $(459/215, 1) = 2,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Z těchto údajů a ze znalosti faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů pro elektřinu lze upravit energetickou bilanci varianty II, aby odpovídala variantě III, jak je dále uvedeno v Tab. 4.2.

Na multisplitovou jednotku nelze čerpat dotace, proto jsou výše investic a dotací totožné jako ve variantě II s další investicí ve výši 107 tis. Kč, celková investice do varianty III po odečtení dotací činí $(58, 8 + 200, 5 + 107 + 236 + 5, 4) - 248, 5 = 359, 2 \text{ tis. Kč}$.

4.5 Souhrnné porovnání variant

Všechny výše popsané varianty jsou přehledně shrnuty v následující Tab. 4.2 formou rozdílů hodnot od bazické varianty. Tato tabulka je pouze zkrácená verze, nezkrácená verze se nachází v příloze I. Kromě dodaných energií, měrné potřeby tepla na vytápění a tepelné ztráty rovněž obsahuje celkovou primární energii z neobnovitelných zdrojů, která je provázána s klasifikační třídou. Je zřejmé, že nejlepší klasifikační třídy B (Velmi úsporná) je dosaženo u varianty II a celková primární energie z neobnovitelných zdrojů činí $163, 8 - 80, 9 = 82, 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což představuje 17,8 MWh/a. Avšak pro všechny varianty je patrný pokles množství primární energie z neobnovitelných zdrojů, lze tedy stanovit, že všechny uvažované varianty jsou energeticky úspornější než bazická varianta.

Je nutné zdůraznit, že varianty jsou energeticky úspornější pouze z pohledu celkové primární energie z neobnovitelných zdrojů a nikoliv dle jednotlivých energetických ukazatelů. U varianty II a varianty III je dodána elektrická energie na chlazení celkem 214 kWh/a, což představuje nárůst potřeby primární energie na nucené větrání o 556 kWh/a za předpokladu, že je tato EE odebrána ze sítě. Obdobná situace nastává u varianty III

s energií na chlazení, která představuje 1,2 MWh/a primární energie z neobnovitelných zdrojů.

Energetický ukazatel (Dle ČSN 73 0331-1)	Bazická	Var. 0	Var. I	Var. II	Var. III	Jednotka
	Hodnota	Δ	Δ	Δ	Δ	
Dodaná energie ZP	20 959	0	-4 250	-7 185	-7 185	[kWh/a]
Dodaná energie EE	5 492	-4 102	-4 102	-3 933	-3 498	[kWh/a]
EE z FVE užitá v budově	0	4 103	4 092	4 124	4 148	[kWh/a]
Tepelná ztráta	6,7	0	-1,2	-2,0	-2,0	kW
Primární energie z neob. zdrojů	163,8	-49,6	-69,3	-80,9	-75,7	[kWh/(m ² .a)]
Měrná potřeba tepla na vytápění	71,8	0	-14,6	-24,6	-24,6	[kWh/(m ² .a)]
Celková dodaná energie	123,0	0	-19,8	-32,5	-30,4	[kWh/(m ² .a)]
z toho na vytápění	98,5	0	-19,8	-33,5	-33,5	[kWh/(m ² .a)]
z toho na chlazení	0	0	0	0	2,1	[kWh/(m ² .a)]
z toho na nucené větrání	0	0	0	1,0	1,0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na úpravu vlhkosti	0	0	0	0	0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na přípravu teplé vody	22,7	0	0	0	0	[kWh/(m ² .a)]
z toho na osvětlení	1,7	0	0	0	0	[kWh/(m ² .a)]
Klasifikační třída	(E)	(D)	(C)	(B)	(C)	

Tab. 4.2: Srovnání variant s bazickou variantou dle energetických ukazatelů, zdroj: autor

Pro ekonomické vyhodnocení je vhodné sestavit také zpřehledňující tabulku s výši investice, dotace, četností revizí a dalších provozních nákladů:

Ukazatel	Var. 0	Var. I	Var. II	Var. III	Jednotka
Investiční náklady	241,4	459,0	500,7	607,7	[tis. Kč]
Dotace	120,7	227,6	248,5	248,5	[tis. Kč]
Reinvestice 11. rok do měniče (bez inflace)	37,9	37,9	37,9	37,9	[tis. Kč]
Reinvestice 16. rok do baterií (bez inflace)	51,5	51,5	51,5	51,5	[tis. Kč]
Revize FVE (každý 4. rok)	2,0	2,0	2,0	2,0	[tis. Kč]
Revize řízeného větrání (každý 6. rok)	0,0	0,0	2,5	2,5	[tis. Kč]
Revize chladivového okruhu (každý rok)	0,0	0,0	0,0	1,0	[tis. Kč]
Pojistění FVE (každý rok)	0,5	0,5	0,5	0,5	[tis. Kč]
Výměna filtračního zařízení u řízeného větrání (každý rok)	0,0	0	0,3	0,3	[tis. Kč]

Tab. 4.3: Srovnání variant dle dalších ukazatelů, zdroj: autor



Obr. 4.5: NZÚ logo, převzato z [9]

Jednotlivá vyhodnocení jsou porovnávána se stávající formou dotačního programu NZÚ, která je účinná od 15. května 2020. Je zřejmé, že se v průběhu let požadované parametry a výše dotace mění. Stávající forma pozbuje platnosti dne 13. srpna 2021 a Ministerstvo životního prostředí plánuje vyhlásit nový program na přelomu září/října 2021. Stávající návrh nové podoby NZÚ je neveřejný a bude se nadále upřesňovat, proto není možné uvádět konkrétní změny či výše dotací. Je možné uvést, že výše podpor bude růst napříč všemi podoblastmi, aby reflektovala

zvyšující se ceny, a dojde k úpravě sledovaných parametrů například pro oblast podpory A. V rámci navrhovaných opatření se jedná o pozitivní změnu, problém by mohl nastat např. ve variantě II, která by nesplňovala nově zavedený požadavek na snížení průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy. Řešení by v takovém případě bylo dvojí, buďto zcela vynechat opatření regenerace oken izolačním sklem nebo neuvažovat dotaci z podoblasti podpory A.0. V obou případech se jedná o marginální změnu a lze na tuto práci navázat úpravou modelu v okamžiku, kdy bude nová forma NZÚ přístupná veřejnosti. Tyto změny budou zahrnuty v citlivostní analýze týkající se výše dotací v další kapitole.

5 Ekonomické zhodnocení

5.1 Cena elektrické energie a zemního plynu

Jelikož všechny nebazické varianty obsahují fotovoltaický systém na výrobu elektrické energie, je nutné správně určit náklady na EE, které se budou snižovat. Není žádoucí odpojení od distribuční sítě, proto bude nutné hradit fixní náklady bez ohledu na množství EE vyrobené či odebrané ze sítě. Situace ohledně tarifů byla nastíněna již v kapitole o fotovoltaickém systému a také o rozpočtu, avšak zde bude rozebrána detailněji.

Složka		E.ON (EE)	ČEZ (EE)	E.ON (ZP)	Jednotka
Fixní	Stálý měsíční plat	90,00	199,65	171,82	Kč/měsíc
	Stálý plat za příkon (EE) / kapacitu (ZP)	125,84	125,84	146,22	Kč/měsíc
	Cena za činnost operátora trhu (OTE)	4,73	4,73	n/a	Kč/měsíc
Fixní část nákladů za rok celkem		2646,84	3962,64	3816,48	Kč/rok
Variabilní	Obchodní cena (VT)	2921,00	2116,29	1044,23	Kč/MWh
	Obchodní cena (NT)	1694,00	2116,29		
	Cena distribuce (VT)	2143,27	2143,27	393,81	Kč/MWh
	Cena distribuce (NT)	178,95	178,95		
	Daň z elektřiny / daň ze zemního plynu	34,24	34,24	37,03	Kč/MWh
	(EE) Cena za systémové služby	112,89	112,89	n/a	Kč/MWh
	(EE) Cena na POZE	598,95	598,95	n/a	Kč/MWh
	(ZP) Cena za činnosti operátora trhu	n/a	n/a	2,95	Kč/MWh
	Variabilní část nákladů celkem (NT)		2619,03	3041,32	1478,02
Variabilní část nákladů celkem (VT)		5810,35	5005,64		
Značí regulovanou složku		Značí neregulovanou složku			

Tab. 5.1: Rozdělení tarifu elektrické energie a zemního plynu dle fixní a variabilní části a dle regulovaných a neregulovaných složek, shrnuto na základě [32, 33, 71], zdroj: autor

Pro bazickou variantu je dodavatel elektrické energie E.ON Energie. Pro změnu tarifu umožňující posílat přetoky do distribuční sítě není splněna podmínka instalace fotovoltaických elektráren právě od společnosti E.ON. Proto pro všechny ostatní varianty je uvažován tarif Elektřina pro soláry od ČEZ Prodej. Větší část ceny je regulována

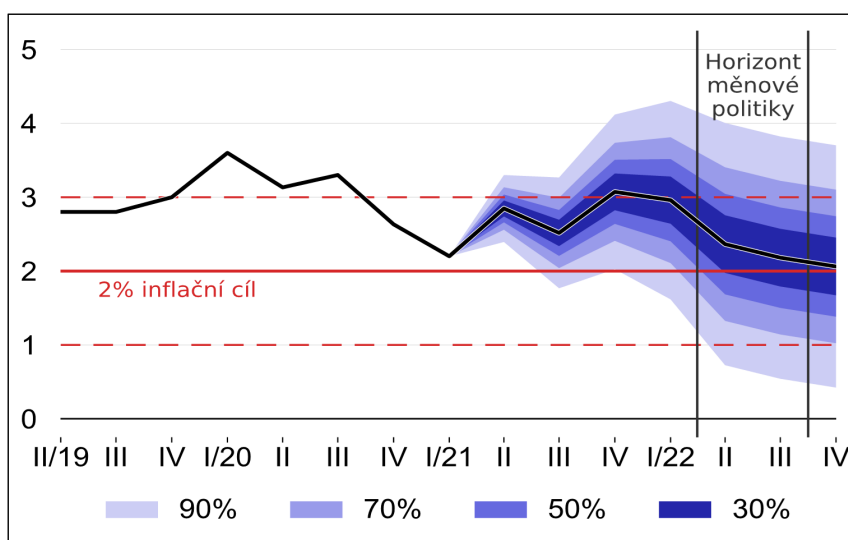
Energetickým regulačním úřadem, pouze neregulovaná část závisí na dodavateli. Z této skutečnosti rovněž plyne fakt, že při využití tarifu Elektřina pro soláry a posílání přetoků do distribuční sítě je dodavatel schopen poskytnout slevu pouze z neregulované části dodávky. Grafické rozlišení a srovnání cen neregulované části ceny pro dva rozdílné tarify je v Tab. 5.1.

Pro varianty, které snižují množství spotřebovávaného ZP, což jsou všechny kromě bazické varianty a varianty 0, platí identická úvaha - dochází ke snížení pouze variabilních nákladů, ale fixní náklady bude nutné dále hradit ve stejné výši navýšených pouze o příslušnou meziroční eskalaci cen energií. Tarif pro zemní plyn zůstane neměnný a je rovněž uveden v Tab. 5.1.

5.2 Predikce vývoje cen

Míra inflace je důležitá pro ekonomický model z hlediska reinvestice, revizí a pojištění, které budou v průběhu let zatíženy inflací. Může nastat situace, kdy například cena měniče pro fotovoltaický systém za 11 let klesne kvůli vysoké nabídce a nízké poptávce, avšak v modelu je využít zjednodušující předpoklad, že žádné ceny prvků, do kterých bude nutno v průběhu let reinvestovat, se nebudou v čase měnit.

Česká národní banka má stanovený dlouhodobý inflační cíl, který činí 2 %. Na Obr. 5.1 je zachycen průběh inflace v ČR od poloviny roku 2019 a predikce do konce roku 2022.



Obr. 5.1: Míra inflace pro ČR v průběhu letu, převzato z [72]

Je patrné, že čtvrtletní míra inflace nedosahuje inflačního cíle a převyšuje ho. Zároveň krátkodobá predikce stanovuje hodnoty nadsazené až ke 3% inflaci. Jelikož zkoumané období je 20 let, je vhodné uvažovat za míru inflace dlouhodobý inflační cíl 2 %.

Ceny energonositelů jako elektrická energie a zemní plyn, které jsou z hlediska modelu

důležité, jsou v rámci trhu s EE a trhu se ZP ovlivněny dalšími faktory. Dlouhodobá predikce je velmi obtížná, proto bude u každé varianty počítáno s eskalací rovné inflaci a zároveň s eskalací o půl procentního bodu nad inflací. Pokud by eskalace byla příliš vysoká, docházelo by ke zkreslování modelu ve prospěch investic. Druhá zvolená eskalace 2,5 % vychází z následujících skutečností:

- Propojený trh s elektrickou energií může negativně zareagovat na odstavení německých jaderných elektráren a zvyšovat cenu z důvodu snižující se nabídky.
- Postupný odklon od fosilních paliv napříč Evropskou unií může zvýšit cenu elektrické energie, jelikož jsou fosilní paliva stále využívány k výrobě elektrické energie.
- S předchozím bodem souvisí nárůst cen emisních povolenek, které rovněž budou mít negativní vliv na cenu EE.
- Dlouhodobě se zvyšující zájem o zemní plyn mezi domácnostmi spojený s přechodem teplárenských provozů z uhlí na zemní plyn znamená vyšší poptávku, která může vést ke zvýšení cen. [73]
- Silná závislost ČR na importu zemního plynu může při politickém konfliktu vyústit ve zdražení strategické energetické suroviny, kterou zemní plyn je.
- Dokončení plynovodu Nord Stream 2 může zvýšit zabezpečení dodávky zemního plynu z Ruska, ve výsledku zvyšovat nabídku a snižovat cenu.

Navzdory analýze eskalace cen energií bude tento stěžejní parametr dále podroben citlivostní analýze.

5.3 Diskont

Investor v projektu rekonstrukce rodinného domu je rodina, která tento dům obývá. Z hlediska investování finančních prostředků je investor velmi konzervativní, při čemž využívá pouze spořicí účet u bankovní instituce MONETA Money Bank. Aktuální úroková sazba činí 0,5 % p.a. Zároveň je vhodné, aby diskont zohledňoval inflaci, která byla výše stanovena na hodnotu 2 %.

$$r_n = (1 + r_r) \cdot (1 + \alpha) - 1, \quad (5.1)$$

kde

r_n	představuje nominální diskont, dále je uváděn jako r ;
r_r	představuje reálný diskont;
α	představuje míru inflace;

Dle vzorce (5.1) je vypočtena hodnota nominálního diskontu jako 2,51 %.

Vzhledem k velké averzi investora k riziku nelze stanovit diskont na vyšší hodnotu, přesto bude tento parametr podroben citlivostní analýze. Naopak tato averze k riziku v kombinaci s využíváním spořicího účtu poskytuje vysokou likviditu a na investice do výše 800 tis. Kč není nutné zřizovat hypoteční úvěr.

5.4 Ekonomické ukazatele

Ekonomické zhodnocení je provedeno na základě 4 kritérií ekonomické efektivity. Mezi stěžejní kritéria patří čistá současná hodnota NPV, vnitřní výnosové procento IRR a diskontovaná doba návratnosti investice T_{nD} . Kritérium prosté doby návratnosti investice T_n je zvoleno jako doplňkové. Pro zhodnocení průběhu investic je využito zejména kumulovaného diskontovaného hotovostního toku.

5.4.1 Doba hodnocení projektu

Před samotným výpočtem jednotlivých kritérií ekonomické efektivity je nutné stanovit dobu hodnocení projektu. Tato doba nemusí být totožná s dobou životnosti. Například vyhláška č. 480/2012 Sb.¹⁾ vyžaduje výpočet pro období 20 let. [74] Takové období je výhodné pro hodnocení rekonstrukce, jelikož většina technickým zařízením má při pravidelném servisování dobu životnosti alespoň 20 let a není nutná opakovaná reinvestice. Pokud životnost opatření přesahuje 20 let, je nutné na konci doby hodnocení projektu uvažovat zůstatkovou hodnotu, která je do ekonomického modelu zahrnuta. Pro zjednodušení je uvažována zůstatková hodnota lineárně závislá na očekávané životnosti v 20. roce projektu:

- **Regenerace oken izolačním trojsklem**

Ačkoli plastová okna mají životnost až 50 let, tak je pro toto opatření zvolena morální životnost, která dosahuje nevíce 30 let. Do pořizovací ceny je zahrnut materiál (sklo, rámečky) i montáž, avšak není tam zahrnuta likvidace. Dle Tab. 3.1 se za pořizovací cenu považuje tedy částka 50 tis. Kč. Zůstatková hodnota na konci 20. roku představuje $10/30 \cdot 55 = 18,3$ tis. Kč. Tato hodnota musí být diskontována po dobu 20 let, proto v současné hodnotě představuje částku $18,3/(1 + 0,0251)^{20} = 11,2$ tis. Kč.

- **Izolace venkovních stěn**

Zateplení venkovních stěn má stanovenou životnost 40 let, proto dle Tab. 4.1 zůstatková hodnota odpovídá $20/40 \cdot 158,7 = 79,4$ tis. Kč. Po diskontování je současná hodnota zůstatkové hodnoty 48,3 tis. Kč.

¹⁾Od 01.04.2021 je nahrazena vyhláškou č. 140/2021 Sb.

- **Systém větrání s rekuperací tepla**

U tohoto opatření je zvolen zjednodušující předpoklad, že samotná rekuperační jednotka má životnost 20 let. Avšak je nutné určit zůstatkovou hodnotu zbylých součástí. Dle Tab. 3.6 je nutné celkovou částku ponížít o cenu²⁾ rekuperační jednotky. Jelikož zbylé části systému jsou např. stavební úpravy objektu či vzduchovody, je stanovená životnost rovněž 40 let.

Souč. hodnota zůst. hodnoty je $20/40 \cdot (200,5 - 32,3 \cdot 1,15)/(1 + 0,0251)^{20} = 49,7$ tis. Kč.

- **Strojní chlazení**

Venkovní a vnitřní jednotky mají při pravidelném servisování odhadnutou životnost 15 až 20 let a je přijat zjednodušující předpoklad, že nebude během 20 let nutná reinvestice. Jediná zůstatková hodnota je tvořena Cu potrubím, kabeláží, montáží, apod. v celkové ceně 27,4 tis Kč vč. DPH dle Tab. 3.8. Při zvolení doby životnosti 40 let, představuje diskontovaná hodnota 8,3 tis. Kč.

- **Fotovoltaický systém s akumulací přebytků do baterie**

Zůstatková hodnota tohoto opatření je již blíže popsána v kapitole 3.5.3 Akumulace přebytků do baterie spolu s dobou životnosti. Do zůstatkové hodnoty je zahrnuto 2/3 ceny reinvestice do bateriového systému a 1 tis. Kč za každý fotovoltaický panel. Reinvestice do bateriového systému je 16. rok, proto je nutné částku 37,9 tis. Kč za baterie s kapacitou 4,8 kWh prvně navýšit o příslušnou meziroční inflaci 2 % a poté celou sumu diskontovat. Diskontovaná hodnota pro toto opatření představuje $(2/3 \cdot 51,5 \cdot (1 + 0,02)^{16} + 9 \cdot 1)/(1 + 0,0251)^{20} = 34,2$ tis. Kč.

5.4.2 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (NPV) je vypočtena na základě diskontovaných hotovostních toků za dobu hodnocení projektu. Za výnos se považuje úspora provozních vícenákladů vůči bazické variantě, konkrétně se jedná o úsporu provozních nákladů snížením množství spotřeby elektrické energie a zemního plynu. V případě varianty s technickým zařízením, které má delší životnost než je zkoumané období 20 let, je uvažována na konci projektu zůstatková hodnota.

Pro projekt (investici) s hodnotou kritéria NPV rovno 0 platí, že při investování dochází právě k požadované výnosnosti se zvoleným diskontem a je možné investici doporučit. Pokud je NPV kladné, je výnosnost vyšší než požadovaná a investici lze doporučit. Pokud je NPV záporné, pak investici doporučit nelze.

Optimální varianta bude vybrána na základě maximální hodnoty NPV z množiny všech NPV, tedy jedná se o kritérium maximalizační.

²⁾Cena rekuperační jednotky je uvedena bez DPH, je nutné proto částku 32,3 tis. Kč vynásobit koef. 1,15.

Hodnota NPV se vypočte jako suma diskontovaných hotovostních toků a platí následující předpis:

$$NPV_{T\check{z}} = \sum_{t=0}^{T\check{z}} DCF_t = \sum_{t=0}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1+r)^{-t}, \quad (5.2)$$

kde

$T\check{z}$	představuje dobu životnosti (hodnocení) projektu;
DCF_t	představuje diskontovanou hodnotu hotovostních toků v roce t ;
CF_t	představuje hodnotu hotovostních toků v roce t ;
r	představuje diskontní sazbu;

5.4.3 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento (IRR) je ukazatel pro relativní výnos, který projekt za dobu životnosti (případně hodnocení) poskytuje. IRR se vypočte dle:

$$\sum_{t=0}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1+IRR)^{-t} = 0, \quad (5.3)$$

kde

$T\check{z}$	představuje dobu životnosti (hodnocení) projektu;
CF_t	představuje hodnotu hotovostních toků v roce t ;

Rovněž jako NPV je kritérium IRR maximalizační.

5.4.4 Doba návratnosti

Z ekonomického pohledu doba návratnosti odpovídá roku projektu, ve kterém dojde k rovnosti mezi kumulovanými úsporami vůči bazické variantě a investičními náklady. V takový okamžik musí být pro diskontovanou dobu návratnosti T_{nD} splněna podmínka:

$$\sum_{t=0}^{T_{nD}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} = 0, \quad (5.4)$$

kde

CF_t	představuje hodnotu hotovostních toků v roce t ;
r	představuje diskontní sazbu;

Prostá doba návratnosti T_n se liší v nediskontování hotovostních toků:

$$\sum_{t=0}^{T_n} CF_t = 0. \quad (5.5)$$

Obě tato kritéria jsou minimalizační.

5.5 Zjednodušující předpoklady modelu

Při sestavení modelu je přistoupeno k několika předpokladům, které pouze minimálně ovlivní výsledné rozhodnutí. Takový předpoklad může být v neprospěch modelu (dále značeno symbolem -), ve prospěch modelu (+) a nebo nelze jednoznačně určit vliv zjednodušujícího předpokladu (/). Pokud je předpoklad v neprospěch modelu, znamená to, že výsledné maximalizační ekonomické kritérium (např. NPV) je nižší, než by mohlo být. Konkrétní příklad zjednodušení (-) je uvažovaná lineární degradace fotovoltaických panelů, která je však ve skutečnosti v prvních letech provozu nižší a později se zvyšuje. Při uvažování časové ceny peněz musí výsledné NPV s aplikovaným zjednodušujícím předpokladem vyjít nižší. Některé předpoklady byly uvedeny v textu, přesto jsou zde všechna přehledně shrnuta:

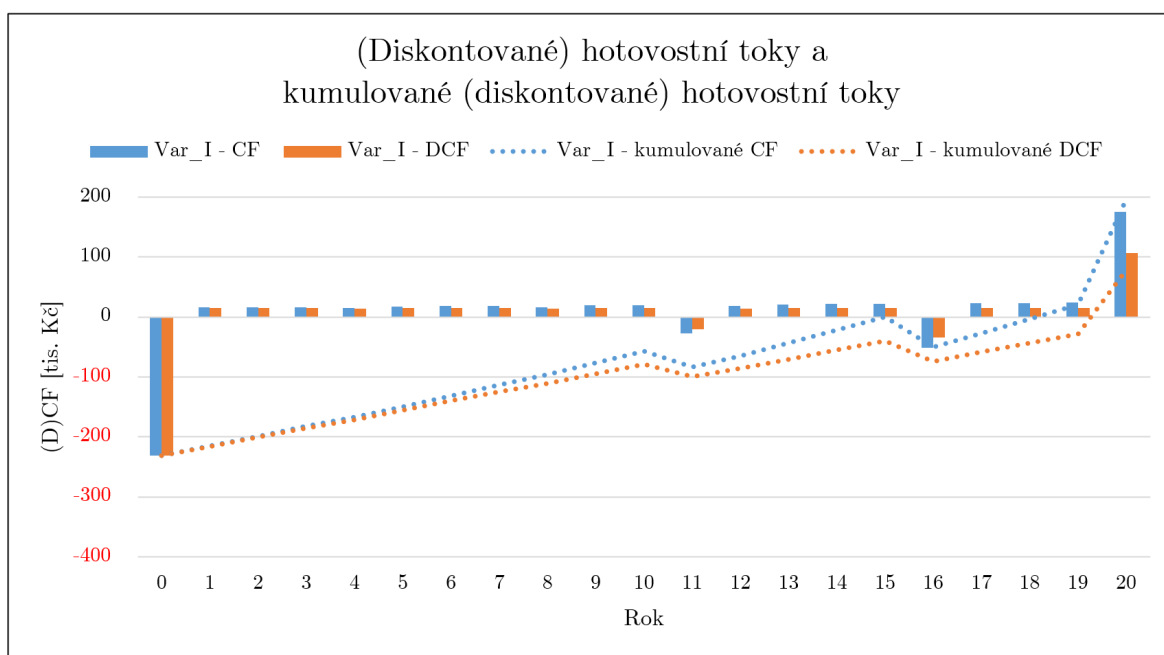
- Degradace fotovoltaického panelu je uvažována jako lineární z garantovaného výkonu po 25 letech, což odpovídá poklesu výkonu o 0,66 % ročně. Ve skutečnosti je tento pokles garantován, že nepřekročí 0,55 % až do 25. roku užívání a zároveň, že 1. rok nebude výkon nižší než 98 % jmenovitého výkonu. Tento předpoklad je v neprospěch modelu. (-) [64]
- Elektrické baterie ve fotovoltaickém systému neztrácí využíváním kapacitu. (+)
- Pro osvit, stejně jako pro denní výrobu či spotřebu, je uvažována hodnota odpovídající průměrnému dni z každého měsíce a také, že osvit v průběhu let zůstává konstantní. Nestabilita osvitu je pro fotovoltaický systém jedna z hlavních nevýhod, avšak nelze do budoucna modelovat ani odhadnout. Tento předpoklad je ve prospěch modelu. (+)
- Předpokládá se, že denní diagram spotřeby a výroby bude neměnný po celou dobu hodnocení projektu (20 let). Pravděpodobné je využití elektromobility a zvýšená spotřeba EE, která sníží přetoky a poskytne vyšší úspory. (-)
- Proplácení dotací není okamžité, ale obvykle trvá v řádu měsíců. Přesto jsou veškeré dotace zahrnuty do nultého roku projektu. (+)

- Životnost měniče je předpokládána přesně na 10 let a v 11. roce je nutná reinvestice. Jelikož je do výpočtů zahrnutá pravidelná revize, lze očekávat životnost 12 až 15 let. (-) [75]
- Reinvestice jsou zatíženy pouze odpovídající mírou inflace, neuvažuje se snížení nebo zvýšení ceny samotného technického zařízení. O prospěchu modelu nelze jednoznačně rozhodnout, jelikož může docházet ke zdražení i zlevnění. (/)
- K výpočtu spotřeby jednotky řízeného větrání je využit zjednodušující předpoklad, že el. příkon je přímo úměrný množství vzduchu. (-)
- Spotřeba elektrické energie strojním chlazením je stanovena dle energetického štítku na hodnotu 489 kWh/a. (/)
- Stanovená doba životnosti jednotky řízeného větrání s rekuperací je 15 až 30 let. Je přistoupeno k předpokladu, že za zkoumané období nebude nutná reinvestice. (/)
- V žádné variantě není uvažována podpora v podoblasti A.4 ve výši 25 tis. Kč, protože je použit zjednodušující předpoklad, že tato částka pokryje zpracování odborného posudku. (+)
- V modelu se neuvažuje možnost porouchání technických zařízení. (+)
- Inflace i eskalace cen energií je považována za lineární, avšak tato hodnota v letech fluktuuje. Nelze jednoznačně určit, zda má tento předpoklad negativní či pozitivní dopad na výsledný model. (/)
- Pro výpočet citlivostní analýzy změny spotřeby EE je uvažována korelace mezi denní spotřebou EE a přetokem. Pokud spotřeba například vzroste meziročně o 2 %, tak množství přetoků meziročně o tuto hodnotu klesne. Neuvažuje se, že by například nárůst spotřeby mohl být zapříčiněn pouze v noci, a tedy neměl na množství přetoků vliv. (+)

5.6 Ekonomické porovnání variant

První posouzení jednotlivých variant z ekonomického hlediska je z pohledu hotovostních toků a diskontovaných hotovostních toků. Pro variantu I je průběh zachycen na Obr. 5.2, pro zbylé varianty je průběh zachycen v příloze J s totožnými mezemi, aby nedošlo k chybnému optickému vyhodnocení. Průběh je očekávaný, kdy v 0. roce je uvažována vysoká investice, proto je CF i DCF záporný. Stejný trend je v 11. a 16. roce, jelikož v těchto letech je nutná reinvestice do měniče, resp. bateriového systému. V 20. roce je vysoká kladná hodnota hotovostního toku, jelikož je uvažována zůstatková hodnota stanovena v kapitole 5.4.1 Doba hodnocení projektu pro všechna opatření. Zbylé roky je patrný kladný hotovostní tok, který odpovídá úspoře energií (EE, ZP) pro tuto variantu.

Na Obr. 5.2 je rovněž zachycen kumulovaný diskontovaný hotovostní tok, díky kterému lze snadněji interpretovat celou variantu. Kumulovaný hotovostní tok je také zahrnut, avšak toto kritérium nezohledňuje časovou hodnotu peněz. Kumulovaný diskontovaný hotovostní tok v 20. roce odpovídá ekonomickému kritériu NPV stanoveného rovnicí (5.2). Z průběhu kumulovaného hotovostního toku lze graficky odvodit prostou dobu návratnosti³⁾ a odpovídá okamžiku, kdy přímka protíná osu x, která odpovídá $NPV = 0$ tis. Kč. Je zřejmé, že T_n je rovno 15 roků, tedy přesně před okamžikem reinvestování do bateriového systému. Pro diskontovanou dobu návratnosti T_{nD} dochází k průniku s osou až v posledním roce projektu.



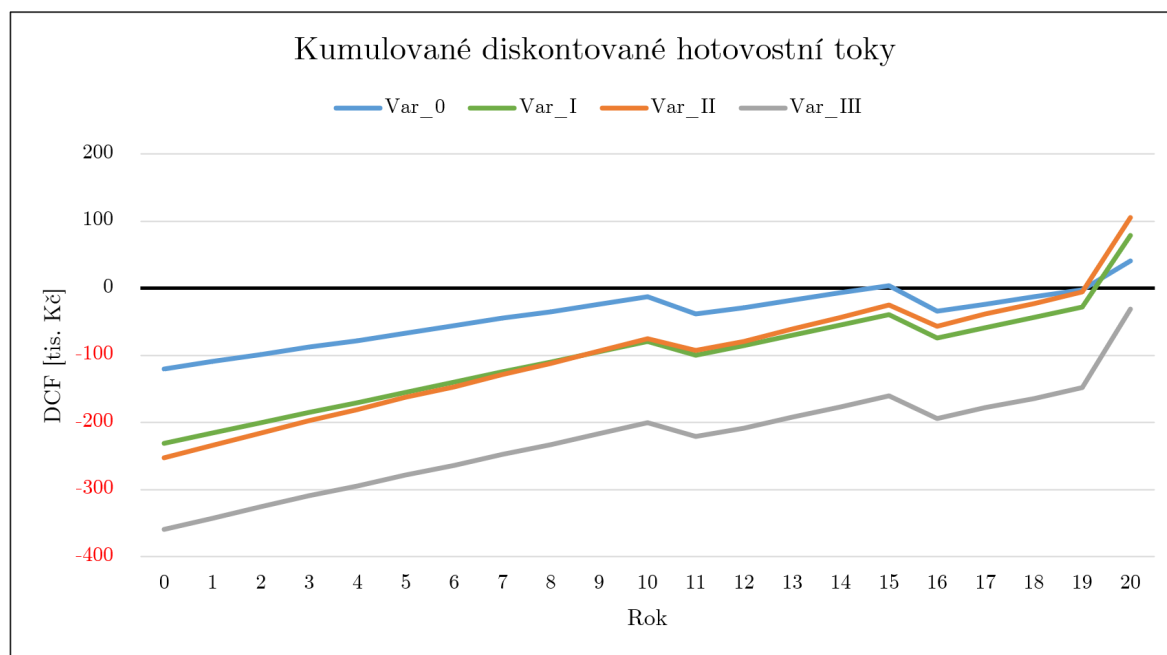
Obr. 5.2: Varianta I - přehled (diskontovaných) hotovostních toků a kumulovaných (diskontovaných) hotovostních toků, zdroj: autor

K porovnání všech variant lze výhodně využít kumulované diskontované hotovostní toky pro všechny varianty, jak je zobrazeno na Obr. 5.3. Pro variantu III nedochází nikdy k průniku s osou x, proto nelze stanovit T_{nD} a výsledné NPV je záporné. Varianta I a Varianta II je průběhem velmi podobná, kdy rozdílná výchozí pozice v 0. roce značí vyšší investiční náklady pro variantu II, které jsou vynahrazeny vyššími úsporami, proto dochází v 9. roce k průniku těchto dvou průběhů. Jediná varianta 0 má nižší diskontovanou dobu návratnosti než 20 let, konkrétně 15 let. Nejvyšší NPV ze všech variant nabývá varianta II, jelikož ve 20. roce dosahuje nejvyšší hodnoty.

Pokles u všech variant v 11. roce, resp. v 16. roce je způsoben tím, že v každé variantě je uvažována fotovoltaická elektrárna, u které je vyžadována v těchto letech reinvestice. Z pohledu CF/DFC je hodnota dokonce záporná, jelikož náklady na reinvestici představují vyšší částku, než která je v příslušném roce uspořena. Výhodnost variant se v průběhu let

³⁾Kumulovanému diskontovanému hotovostnímu toku odpovídá diskontovaná doba návratnosti.

nemění, pouze pro variantu I a variantu II, kdy se mění výhodnost v 9. roce.



Obr. 5.3: Přehled kumulovaných diskontovaných hotovostních toků pro všechny varianty, zdroj: autor

Pro všechny varianty byly vypočteny ekonomické ukazatele stanovené v kapitole 5.4 Ekonomické ukazatele. Pro dvě míry eskalace cen energií jsou ekonomické ukazatele přehledně uvedeny v Tab. 5.2.

Varianta	Eskalace 2,0 %				Eskalace 2,5 %			
	NPV [tis. Kč]	IRR [-]	T _n [rok]	T _{nD} [rok]	NPV [tis. Kč]	IRR [-]	T _n [rok]	T _{nD} [rok]
Varianta 0	28	4,7%	14	20	41	5,6%	10	15
Varianta I	62	4,6%	20	20	79	5,1%	15	20
Varianta II	85	5,2%	15	20	105	5,7%	15	20
Varianta III	-50	1,3%	20	/	-31	1,8%	20	/

Tab. 5.2: Srovnání variant dle ekonomických ukazatelů, zdroj: autor

Všechny varianty jsou sestaveny tak, aby snižovaly spotřebu energií, proto je zřejmé, že s rostoucí eskalací cen energií bude proti bazické variantě docházet k větším úsporám, a tedy vyšším hodnotám kritérií NPV a IRR. Tyto dva ukazatele nerozhodují pro uvažované varianty totožně. Důvod je takový, že varianta 0 má nižší investiční náklady a relativně vztaheno k nižším investičním nákladům přináší vyšší úspory. Pro správné zvolení optimální varianty je však vhodnější posuzovat varianty na základě kritéria NPV, které neuvažuje relativní úspory vztahované k investičním nákladům, ale absolutní úspory, které se maximalizují. Ukazatele prosté doby návratnosti a diskontované doby návratnosti

nerozhodují jednoznačně, jelikož jsou ovlivněny zůstatkovou hodnotou v 20. roce. Přesto lze z doby návratnosti usoudit, že varianta 0 je z pohledu těchto kritérií nejlepší, jelikož dochází k návratnosti investice již 15. rok projektu.

Pořadí výhodnosti variant dle kritéria NPV je totožné pro eskalaci 2,0 % i pro eskalaci 2,5 %, proto se dále popisované hodnoty vztahují na zvolenou eskalaci 2,5 %. Všechny varianty s kladným NPV je možné realizovat, jelikož výnos z projektu je vyšší než požadovaný diskont. Jako optimální se však volí varianta s nejvyšším NPV. Nejvyšší hodnotu NPV má varianta II a činí 105 tis. Kč. Varianta II má rovněž nejvyšší IRR, takže oba ekonomické ukazatele volí optimální variantu shodně.

Jediná varianta se záporným NPV je varianta III, která jako jediná obsahuje strojní chlazení. Záporná hodnota lze interpretovat jako ztrátový projekt, ale rovněž lze interpretovat tak, že pro vysoký uživatelský komfort v letních měsících je čistá současná hodnota proti bazické variantě pouze 31 tis. Kč. Jelikož varianta III je modifikovaná varianta II, která nesnižuje spotřebu el. energie, naopak spotřebu elektrické energie zvyšuje, tak je vhodnější porovnávat hodnotu NPV těchto dvou variant. Při porovnání NPV varianty II s optimální variantou, je rozdíl 136 tis. Kč. To je způsobeno tím, že úspory získané kombinací opatření regenerace skel, řízené větrání s rekuperací a FVE ve výsledném hotovostním toku vyrovnávají dodatečné náklady na strojní chlazení. Proto čistá současná hodnota opatření strojní chlazení odpovídá 136 tis. Kč.

5.7 Citlivostní analýzy

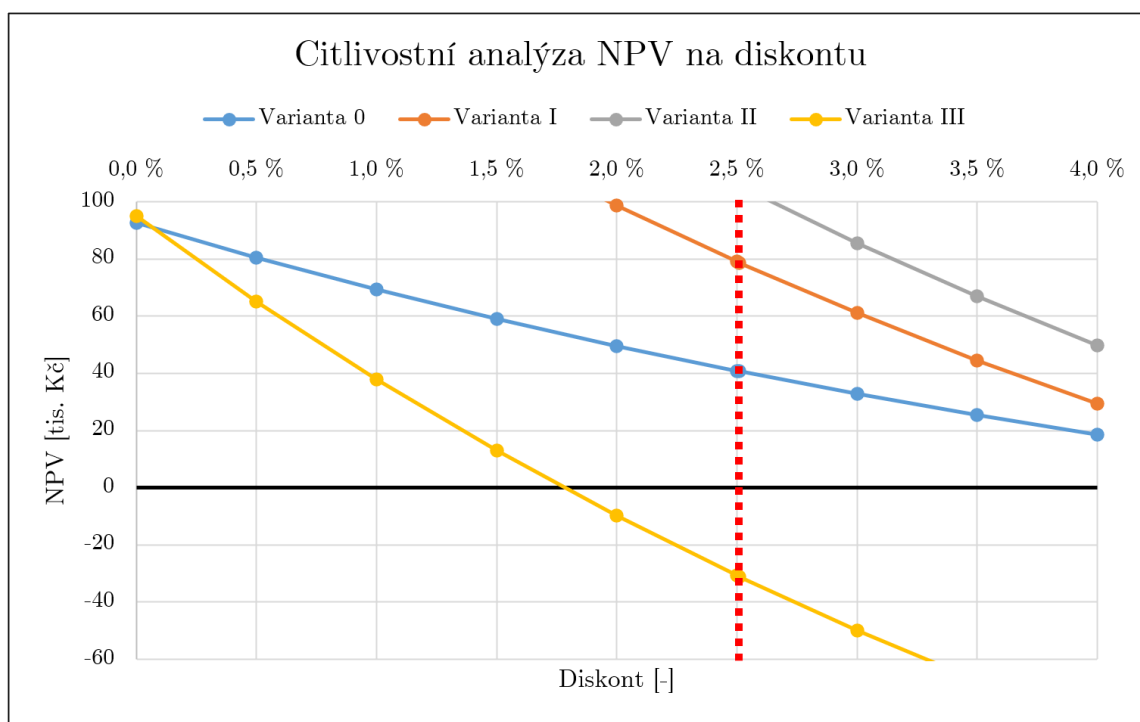
Hodnoty NPV jsou vypočteny na základě statických vstupních hodnot, avšak vstupní hodnoty se mohou měnit a ovlivnit nejen pořadí výhodnosti variant, ale mohou změnit kladné NPV na záporné a obráceně. Pro změnu citlivosti NPV na jednotlivých vstupech jsou dále uvedeny citlivostní analýzy (CA).

V následujícím textu budou uvedené grafy vždy přiblíženy, aby byly přehledné jednotlivé průsečíky mezi variantami či mezi variantou a osou x. Grafy s kompletním rozsahem měněného parametru jsou uvedeny v příloze K, tabulky s daty jsou v příloze L. Všechny citlivostní analýzy vycházejí ze stanoveného diskontu 2,51 %, inflace 2,0 %, eskalace cen energií 2,5 % a s neměnnou spotřebou energií, pokud není uvedeno jinak. Referenční hodnoty, na kterých je postaven ekonomický model, jsou v každém grafu znázorněny čárkovaně červenou svislou přímkou.

5.7.1 Citlivostní analýza NPV na diskontu

Ačkoliv diskont byl nastaven dle skutečného zacházení s penězi, je možné, že investor nebude ochoten s takto nastaveným diskontem investovat a ze subjektivních důvodů bude požadovat vyšší diskont. Právě proto je provedena CA NPV na změně diskontu, zachyceno na Obr. 5.4. Diskont 0 % odpovídá situaci, kdy jsou všechny úspory uloženy například v trezoru, kde postupem času ztrácejí svou reálnou hodnotu vlivem inflace. Právě při tomto diskontu dochází k rovnosti NPV pro varianty 0 a varianty III. Je nutné podotknout, že taková situace s největší pravděpodobností nenastane. Až do hodnoty diskontu 1,8 % je NPV varianty III kladné, avšak stále nejnižší ze všech uvažovaných variant.

Pokud by investor byl méně konzervativní ohledně finančních prostředků a využíval kupříkladu investiční fondy s vyšším průměrným zhodnocením, lze z CA sledovat, že optimální variantou zůstává stále varianta II. Až do hodnoty diskontu 5,7 % je hodnota NPV pro optimální variantu kladná. Takto vysoké hodnoty diskontu však investor nebude požadovat, proto lze stanovit, že rozhodnutí o investici je nezávislé na výši diskontu.



Obr. 5.4: Citlivostní analýza NPV na diskontu, zdroj: autor

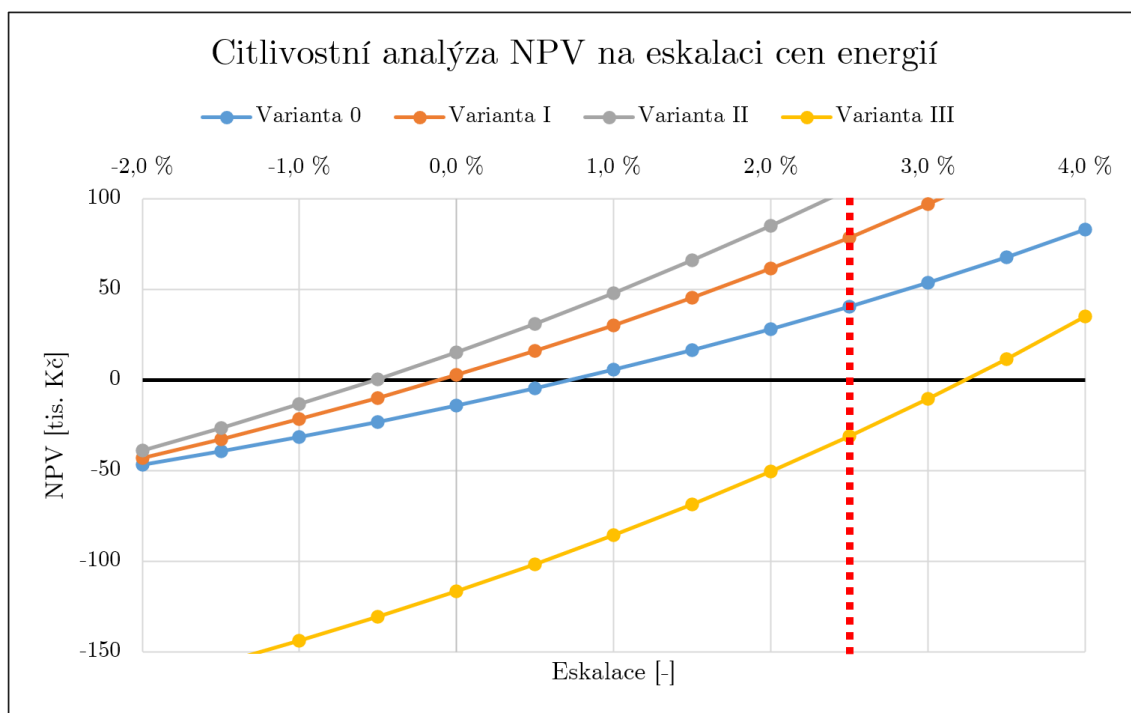
5.7.2 Citlivostní analýza NPV na inflaci

Závislost NPV na inflaci v rozmezí od -2 % do 5 % neposkytuje mnoho zlomových bodů, proto je CA uvedena pouze v příloze K. Pro všechny varianty platí téměř shodný průběh, kdy s rostoucí inflací klesá hodnota NPV a nedochází k průniku jednotlivých variant. Jediná zajímavá hodnota je inflace -1 % (tedy deflace), při které má varianta III nulové NPV a do této

hodnoty NPV kladné. Deflace však není očekávaná vzhledem k dlouhodobému inflačnímu cíli 2 %. Lze uvést, že rozhodnutí o investici není závislé na výši inflace.

5.7.3 Citlivostní analýza NPV na eskalaci cen energií

Eskalace cen energií je jeden z nejdůležitějších parametrů, jelikož navrhované varianty snižují množství dodané energie a pokud bude cena energie vysoká, tak rovněž úspory budou vysoké, což se projeví kladně na hodnotě NPV. Naopak pokud bude eskalace nízká, může nastat situace, kdy NPV bude záporné. Zkoumané rozmezí je od -2 % do 4 % a je zachyceno na Obr. 5.5. Zajímavé je, že i v případě meziročního snižování cen energií o 0,5 % by bylo možné doporučit variantu II, v případě stagnace cen také variantu I. Pokud by eskalace nabývala vyšších hodnot, tak rychlejším tempem rostou všechny varianty než varianta 0. Důvod je takový, že právě varianta 0 snižuje pouze množství dodané elektrické energie ze sítě. V případě eskalace 3,2 % dochází k tak významným úsporám, že také varianta III dosahuje kladných hodnot NPV. Pokud by eskalace cen energií dosáhla vysoké hodnoty 6,3 %, tak by varianta III byla výhodnější jak varianta 0 díky úsporám z dodaného množství zemního plynu.



Obr. 5.5: Citlivostní analýza NPV na eskalaci cen energií, zdroj: autor

Jednotlivé varianty jsou na změnu eskalace cen energií velmi citlivé, avšak až do hodnoty eskalace 6,3 % nemění pořadí své výhodnosti. Důležitá hodnota eskalace je 3,2 %, od které dosahují všechny varianty kladné hodnoty NPV. Lze říci, že pro nejpravděpodobnější rozmezí eskalace od 1 % do 4 % je optimální varianta stále shodná, a lze doporučit investici do varianty II.

5.7.4 Dvojměrná citlivostní analýza NPV na dotaci

Při sestavování variant se vyskytoval opakující se problém s maximální výší dotace 50 % ze způsobilých výdajů, jak je uvedeno v podmínkách NZÚ. Proto by nedávalo smysl vytvářet jednorozměrnou CA na výši dotace na jednotlivá opatření, která je ve výsledku omezena právě 50 % investičních nákladů. V příloze K jsou uvedeny tabulky dvojměrné CA, ve které se zkoumá zároveň vliv dvou parametrů na výši NPV. Zvolené parametry jsou procentní změna výše dotace na jednotlivé opatření a maximální výše dotace.

Velmi zajímavé je, že pokud by v nové formě NZÚ nastal pokles dotací na jednotlivé opatření o 20 %, tak by vliv na NPV byl pouze minimální a pořadí výhodnosti variant by zůstalo totožné. Jak bylo uvedeno v kapitole 4.5 Souhrnné porovnání variant očekává se naopak nárůst dotací na jednotlivé opatření. Z dvojměrné analýzy je patrné, že nárůst dotací na jednotlivé opatření se projeví pouze v kombinaci s nárůstem maximální výše dotace. I v takovém případě je však pořadí výhodnosti variant totožné a optimální varianta je varianta II.

Změna výše dotace na jednotlivá opatření [-]	Varianta III				
	NPV [tis. Kč]				
	Max. výše dotace [-]				
	50%	55%	60%	65%	70%
-20%	-54	-54	-54	-54	-54
-15%	-39	-39	-39	-39	-39
-10%	-31	-25	-25	-25	-25
-5%	-31	-11	-11	-11	-11
0%	-31	-6	3	3	3
5%	-31	-6	17	17	17
10%	-31	-6	19	31	31
15%	-31	-6	19	43	45
20%	-31	-6	19	43	59

Obr. 5.6: Dvojměrná CA NPV na výši dotace pro variantu III, zdroj: autor

Větší závislost NPV na výše zmíněných dvou parametrech projevuje varianta III, jak je zobrazeno na Obr. 5.6. Pokud by nastalo zvýšení maximální výše dotace na 60 % a zároveň by výše dotací na jednotlivá opatření zůstala stejná nebo se zvyšovala, dosahovala by tato varianta III kladných NPV. Přesto je nutné zdůraznit, že tato varianta kvůli strojnímu chlazení nadále nekonkuruje ostatním variantám.

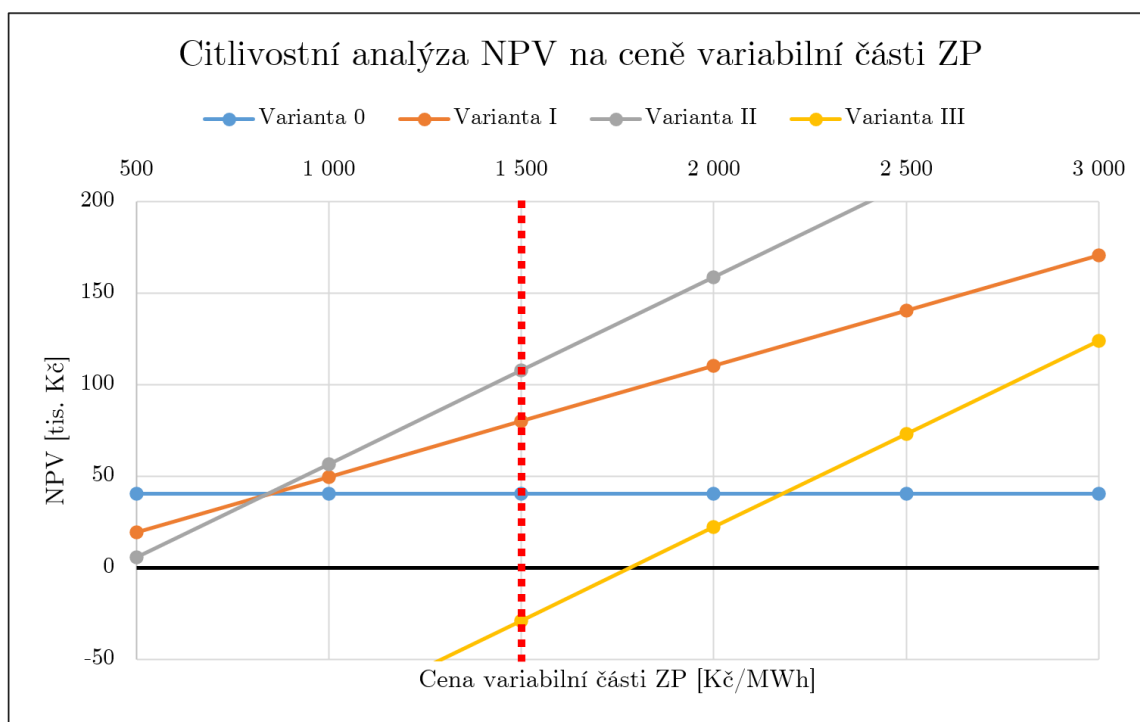
5.7.5 Citlivostní analýza NPV na ceně energií

Jelikož všechny varianty zahrnují totožné opatření fotovoltaické elektrárny, tak CA na změnu ceny variabilní části elektrické energie zapříčiní pouze posun s konstantním rozdílem mezi variantami, a tedy se shodným pořadím výhodnosti. Je vhodné zmínit pouze údaj, že varianta

II nabývá kladných hodnot NPV, pokud je cena EE vyšší než 1,9 tis. Kč za 1 MWh.

Při změně fixní části nákladů na EE je případ analogický - jedná se o posun s konstantním rozdílem, a tedy se shodným pořadím výhodnosti. Pokud by stálý plat za EE dosáhl částky 6 tis. Kč za rok místo stávajících 4 tis. Kč za rok pro tarif Elektřina pro soláry, dosahovalo by NPV pro variantu 0 záporných hodnot. Pokud by naopak stálý plat klesl na 2,5 tis. Kč za rok, bylo by NPV pro variantu III kladné. Takové velké změny ve fixních nákladech, u kterých je část regulována, nelze očekávat.

Zajímavá se jeví závislost NPV na variabilních nákladech na zemní plyn. Tato citlivostní analýza je uvedena na Obr. 5.7. Varianta 0 neobsahuje žádné opatření na úsporu spotřeby ZP, proto je rovnoběžná s osou x. Varianta II má identický sklon jako varianta III, protože obě varianty dosahují totožných úspor ZP, a tento sklon je ze všech variant největší. Už při ceně zemního plynu 850 Kč/MWh varianta I a varianta II dosahují vyšších hodnot než varianta 0. Do této ceny je nejvýhodnější varianta 0, dokonce je varianta I lepší než varianta II. Zajímavé je, že pro cenu 2180 Kč/MWh jsou úspory ZP natolik významné, že dochází k rovnosti NPV varianty 0 a varianty III. Proti aktuální ceně 1480 Kč/MWh se nejedná o tak výrazný nárůst a nelze jednoznačně říci, že takový nárůst nenastane. Při ceně 4100 Kč/MWh dochází k rovnosti varianty I a varianty III, avšak tak výrazný nárůst lze vyloučit.



Obr. 5.7: Citlivostní analýza NPV na ceně variabilní části zemního plynu, zdroj: autor

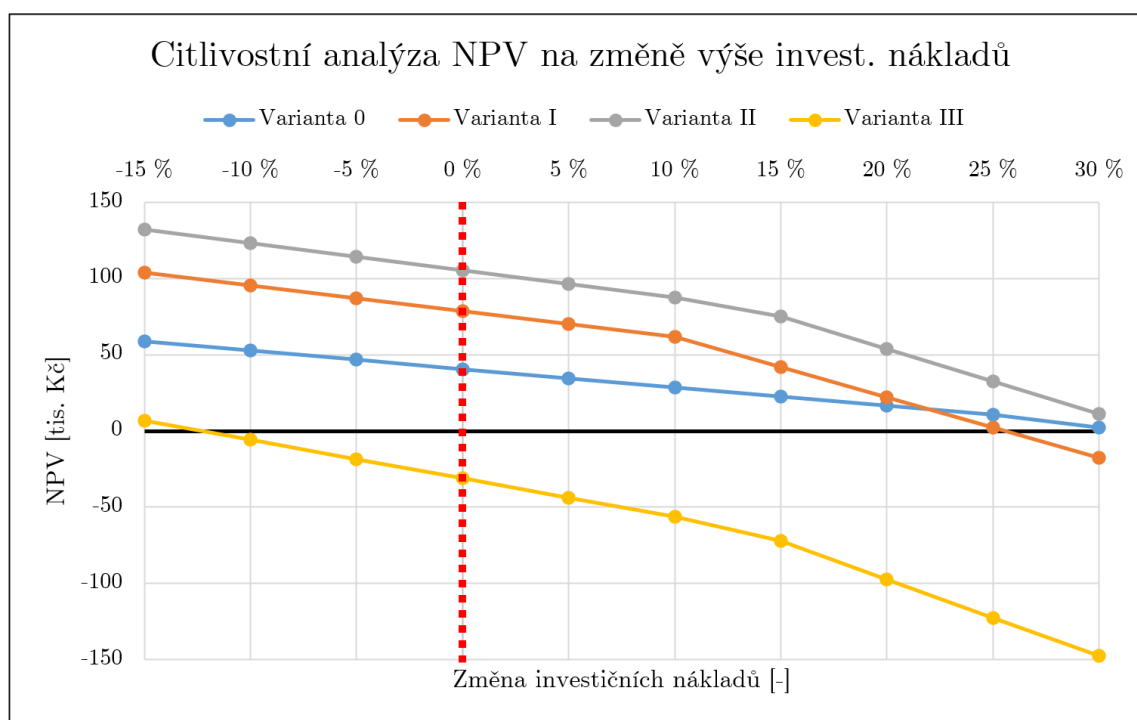
Citlivost NPV na změně výše variabilních nákladů na zemní plyn je velmi významná. Od hodnoty 850 Kč/MWh je stále optimální varianta II, avšak do této hodnoty je optimální varianta 0.

5.7.6 Citlivostní analýza NPV na změně spotřeby

Model je sestaven pro konstantní hodnotu spotřeby EE a ZP. Přesto je vhodné sledovat citlivost NPV na meziroční změně od -2 % do 2 %. Tyto hranice představují 33% pokles spotřeby v 20. roce projektu vůči 0. roku, resp. 49% nárůst. Takové změny jsou velmi nepravděpodobné pro ustálený životní styl. Přesto nedochází k výrazným změnám NPV na těchto parametrech a jsou uvedeny pouze v příloze K. Při meziroční změně spotřeby ZP o 3,6 % dochází k rovnosti NPV varianty 0 a varianty III, avšak tato meziroční změna představuje 100% nárůst spotřeby zemního plynu v období 20 let, což je nereálné. Proto lze říci, že NPV není citlivé na změnu spotřeby EE a ZP.

5.7.7 Citlivostní analýza NPV na změně výše investičních nákladů

Z podstaty investování financí do jednotlivých opatření lze předpokládat, že NPV může být velmi citlivé na změnu výše potřebné investice. Z Obr. 5.8 je zřejmá pouze mírná závislost NPV na výši investice. Obdobně jako u dvojrozměrné CA NPV na výši dotace také zde je důvod v 50 % omezení. Pokud výše investičních nákladů klesá, pak klesá polovičním (50 %) tempem také dosažitelná dotace, a proto efektivně klesají náklady pouze o polovinu. Naopak pokud cena narůstá, narůstá polovičním tempem výše dotace a efektivní zvýšení nákladů je pouze polovina.



Obr. 5.8: Citlivostní analýza NPV na změně výše investičních nákladů, zdroj: autor

Přesto lze z Obr. 5.8 pozorovat skutečnost, že na celém zkoumaném rozsahu od -15 % do 30 % je nejvýhodnější varianta II, a tedy optimální varianta se nemění. Změna nastává pouze

v pořadí dalších variant, kdy pro vyšší než 22% zvýšení investičních nákladů je výhodnější varianta 0 nad variantou II. Pokud by došlo ke snížení investice alespoň o 12 %, tak pro variantu III je NPV kladné. Pro zvýšení investice o více než 26 % nabývá záporných hodnot NPV nejdříve varianta II a od 30 % a více postupně všechny varianty.

Ačkoliv tato CA neurčila jinou optimální variantu, je stále velmi důležitá. Jelikož cenové kalkulace jsou vždy od konkrétní společnosti, může nastat situace, kdy z nespécifikovaného důvodu bude zvolena jiná společnost s vyšší nebo nižší cenou. Pokud jiná společnost poskytne cenovou kalkulaci, která je nižší a nebo není vyšší než 30 %, tak bude vždy zvolena varianta I.

5.7.8 Zhodnocení citlivostních analýz

Ze zpracovaných citlivostních analýz je patrné, že optimální variantou nadále zůstává varianta II. Tato skutečnost je neměnná pro všechny vstupní parametry v zadaném rozmezí, kromě variabilních nákladů na zemní plyn. Pokud by cena klesla pod hranici 850 Kč/MWh, mění se optimální varianta na variantu 0. Pro eskalaci cen energií nižší než -0,5 % a pro variabilní náklady na EE nižší než 1854 Kč/MWh optimální varianta neexistuje, jelikož všechny varianty nabývají záporné NPV a v takovém případě by nešlo doporučit investici.

Pro větší přehlednost je vytvořena následující Tab. 5.3, ve které je kromě minimální a maximální zkoumané hodnoty uvedena rovněž referenční hodnota, která je použita v ekonomickém modelu.

Citlivostní analýza NPV na	Min. zkoumaná hodnota	Ref. hodnota	Max. zkoumaná hodnota	Optimální varianta
Diskontu [-]	0%	2,51%	4%	II
Inflaci [-]	-2%	2,0%	4%	II
Eskalaci cen energií [-]	-0,5%	2,5%	4%	II
	-2%	2,5%	-0,5%	neexistuje
Dotaci [-]	-20%/50%	0%/50%	20%/70%	II
Ceně var. části EE [Kč/MWh]	1 000	3 674	1 854	neexistuje
	1 855	3 674	6 000	II
Ceně fix. části EE [Kč/MWh]	1 000	3 963	6 000	II
Ceně var. části ZP [Kč/MWh]	500	1 478	849	0
	850	1 478	3 000	II
Změně spotřeby EE [-]	-2%	0%	2%	II
Změně spotřeby ZP [-]	-2%	0%	2%	II
Změně invest. nákladů [-]	-20%	0%	30%	II

Tab. 5.3: Shrnutí citlivostních analýz, zdroj: autor

5.8 Kvalitativní zhodnocení

Veškeré hodnocení variant bylo provedeno na základě kvantitativních parametrů. Avšak nebazické varianty poskytují také zvýšený uživatelský komfort, lze tedy provést kvalitativní hodnocení.

Společná kvalitativní nevýhoda je spojena výhradně s fotovoltaickou elektrárnou, která může narušovat vzhled maloměsta.

- **Varianta 0**

Varianta 0 poskytuje částečnou soběstačnost z pohledu elektrické energie při přerušení dodávky elektrické z důvodů poničení elektrického vedení nebo plánované odstávky ze strany distributora.

- **Varianta I**

Tato varianta poskytuje rovněž částečnou soběstačnost z pohledu EE, dále možnost modernizace vzhledu domu, jelikož stávající fasáda je stará téměř 15 let. Po regeneraci oken lze očekávat nižší rosení v zimních měsících, což je častý problém u stávajících dvojskel.

- **Varianta II**

K částečné soběstačnosti z pohledu EE, modernizaci vzhledu a omezení rosení oken tato varianta poskytuje rovněž vysokou kvalitu vzduchu bez prachu, zápachu a škodlivin, omezení výskytu hmyzu a minimalizování průvanu. Jako nevýhodu lze uvažovat nevzhledné vývody vzduchovodů.

- **Varianta III**

Jelikož varianta III vychází z varianty II, tak poskytuje totožné zvýšení uživatelského komfortu. Dále tato varianta poskytuje vychlazené místnosti v letních dnech a možnost rychlejšího vytopení domu po návratu například z dovolené. K nevzhlednosti vývodů vzduchovodů mohou rovněž narušovat vzhled místností vnitřní klimatizační jednotky. Navíc venkovní jednotka způsobuje hluk při svém chodu.

Závěr

V této závěrečné práci byly navrženy rozdílné varianty rekonstrukce starého rodinného domu v Jihočeském kraji k dosažení energeticky úsporného domu. Tyto varianty byly hodnoceny z technického i ekonomického hlediska.

Nejprve byly v kapitole 1 rozebrány energetické standardy budov, související legislativa v podmínkách České republiky a také důležité podmínky čerpání dotací z programu Nová zelená úsporám. Podrobněji byl vysvětlen průkaz energetické náročnosti budov, který byl poté využit k hodnocení variant.

V rámci kapitoly 2 byl detailně rozebrán stav rodinného domu před rekonstrukcí. Dům byl podroben termoviznímu měření, ze kterého vyplynula vhodnost některých dále navrhovaných opatření. Mezi tato opatření patřilo zlepšení tepelně izolačních vlastností stavebních výplní, vnějších stěn a střechy. Z důvodu správného určení budoucí spotřeby elektrické energie a zemního plynu byl sledován historický vývoj s důležitými milníky, které indikovaly téměř konstantní spotřebu do budoucích let. Byla provedena analýza stávajících provozních nákladů, ze kterých byl určen orientační rozpočet pro jednotlivé varianty. Rodinný dům byl vyhodnocen dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. a zákona 406/200 Sb., byl vysvětlen rozdíl mezi průkazem energetické náročnosti budovy podle platné legislativy a podle skutečného způsobu využívání objektu. Také byla analyzována skladba obalových konstrukcí spolu s bilancí tepelných toků, která potvrdila či vyvrátila vhodnost předchozích opatření ke snížení energetické náročnosti domu. Bilance tepelných toků zároveň indikovala vhodnost řízené větrání, jelikož větrání tvořilo největší část tepelných ztrát (21,4 %). Stávající budova byla vyhodnocena jako nevhodná s potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů $163,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což odpovídá hodnotě $35,2 \text{ MWh}/\text{a}$.

V Kapitole 3 byla rozebrána jednotlivá opatření, která vycházela z analýzy stávajícího stavu objektu v kapitole 2. Opatření byla navrhována s důrazem na úsporu energie, na maximální využití dotací z programu NZÚ a s ohledem na minimalizaci investičních nákladů. Mezi opatření byla zvolena regenerace oken izolačním trojsklem, dodatečná izolace venkovních stěn, systém řízeného větrání s rekuperací tepla a fotovoltaická elektrárna s akumulací do baterie. Z analýzy nákladů na tepelné čerpadlo bylo zjištěno, že by byl překročen stanovený rozpočet, proto opatření nebylo více uvažováno. Ke strojnímu chlazení budovy byla zvolena multisplitová klimatizační jednotka. Ke správnému dimenzování instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny bylo přistoupeno více způsoby, jednak bez využití přetoků, jednak se změnou tarifu Elektřina pro soláry, který umožňuje snížit cenu odebrané elektrické energie do výše neregulované části přetoků. Jako nejvýhodnější systém z technického i ekonomického ohledu byl zvolen instalovaný výkon $3,78 \text{ kWp}$ s kapacitou baterie $4,8 \text{ kWh}$.

Kapitola 4 úzce navazuje na kapitolu 3, jelikož z jednotlivých opatření jsou vytvořeny čtyři rozdílné varianty, seznam opatření jednotlivých variant je zachycen vždy v příslušné podkapitole. Pro všechny varianty bylo dosaženo větší úspory energie posuzovaného objektu, nejvýznamnější pokles byl zaznamenán u varianty II, která se skládala z opatření snižující množství dodaného zemního plynu a zároveň množství dodané elektrické energie. Při přepočtu na primární energii z neobnovitelných zdrojů bylo dosaženo hodnoty $89,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což odpovídá hodnotě $17,8 \text{ MWh}/\text{a}$. Jedná se o výrazný 49% pokles proti bazické variantě, odpovídající klasifikační třída je velmi úsporná. Bližší porovnání energetických bilancí všech variant se nachází v podkapitole 4.5. V té samé kapitole byla uvedena chystaná změna stávající formy NZÚ, která bude mít dopad na výše dotací na jednotlivá opatření, a tedy měnit váši dotace pro jednotlivé varianty.

V kapitole 5 došlo k vytvoření technicko-ekonomického modelu pro jednotlivé varianty. Aby bylo možné v modelu správně vypočítat úsporu energie, bylo nutné rozdělit fakturované položky za energie dle fixních a variabilních nákladů a zároveň dle regulovaných nebo neregulovaných složek. Dále byla uvedena inflace, eskalace cen energií, byl zvolen diskont a také zde byly stručně popsány ekonomické ukazatele, které byly použity k hodnocení variant. Aby nedošlo k chybnému interpretování výsledků modelu, byly uvedeny zjednodušující předpoklady s jejich vlivem na model. Rovněž byla analyzována zůstatková cena každé varianty. Nejlépe hodnocená varianta z pohledu primární energie z neobnovitelných zdrojů (varianta II) má nejvyšší hodnotu čisté současné hodnoty 105 tis. Kč s vnitřním výnosovým procentem 5,7 %. Pro druhou variantu v pořadí nerozhodovaly ukazatele NPV a IRR totožně, proto byl tento rozdíl diskutován a byl zvolen ukazatel NPV jako rozhodující. Druhá nejvyšší hodnota čisté současné hodnoty je pro variantu I a představuje 79 tis. Kč s vnitřním výnosovým procentem 5,1 %. Podrobné ekonomické zhodnocení je uvedeno v podkapitole 5.6.

Bylo provedeno velké množství citlivostních analýz na změnu vstupů, které odhalily jen velmi nízkou závislost volby optimální varianty na vstupních parametrech. Zpřehledňující tabulka je zachycena v podkapitole 5.7.8. Pokud by klesla cena za 1 MWh zemního plynu pod hodnotu 849 Kč proti stávající ceně 1478 Kč/MWh, tak by optimální varianta byla varianta 0. Pro zápornou eskalaci cen energií nebo pro cenu elektrické energie nižší než 1854 Kč/MWh by optimální varianta neexistovala. V každém jiném případě je optimální varianta II.

Kromě kvantitativního hodnocení bylo provedeno také kvalitativní zhodnocení, které ukázalo, že veškeré varianty poskytují zvýšený uživatelský komfort.

Kvalitativní hodnocení je velmi subjektivní, přesto se varianta II jeví jako jedna s nejvyšším dodatečným uživatelským komfortem. Z kvantitativního hodnocení lze jednoznačně doporučit investici do varianty II.

Literatura

- [1] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [2] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] ČEJKA, Michal, ANTONÍN, Jan. [online]. *Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů*. 2017. [cit. 01.10.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energeticky-standardu>
- [4] TNI 73 0329. *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [5] ABF, a.s. [online]. *Energeticky plusový dům vyrobí více energie, než sám spotřebuje*. 2016. [cit. 01.10.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/120362-energeticky-plusovy-dum-vyrobi-vice-energie-nez-sam-spotrebuje>
- [6] Šance pro budovy, zájmové sdružení právnických osob. [online]. *Energetické standardy budov*. 2018. [cit. 07.10.2020]. Dostupné z: <https://sanceprobudovy.cz/energeticke-standardy/>
- [7] Energetický regulační úřad. [online]. *Roční zpráva o provozu teplotních soustav ČR 2019*. 2019. [cit. 07.10.2020]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5391332/Rocni_zprava_provoz_TS_2019.pdf
- [8] Energetický regulační úřad. [online]. *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019*. 2019. [cit. 07.10.2020]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf
- [9] Státní fond životního prostředí ČR. [online]. *Nová zelená úsporám - Nabídka dotací*. 2020. [cit. 08.10.2020]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/>
- [10] ČEZ, a. s. [online]. *Povodeň před 15 lety poničila v západních Čechách distribuční zařízení za 54 miliónů korun*. 2017. [cit. 10.10.2020]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/povoden-pred-15-lety-ponicila-v-zapadnich-cechach-distribucni-zarizeni-za-54-milionu-korun-44088>
- [11] ČEZ, a. s. [online]. *Poruchy na vedení vysokého a nízkého napětí kvůli silnému větru*. 2017. [cit. 10.10.2020]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/poruchy-na-vedeni-vysokeho-a-nizkeho-napeti-kvuli-silnemu-vetru-44039>
- [12] Energetický poradce PRE. [online]. *Pasivní domy - Rady, tipy, informace*. Praha. 2012. [cit. 11.10.2020]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pasivni_domy_rady_tipy_informace.pdf

- [13] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov. *Úřední věstník*, OJ L 153, 18.6.2010. [cit. 18.10.2020].
Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2010.153.01.0013.01.CES
- [14] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/27/EU ze dne 25. října 2012 o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES. *Úřední věstník*, OJ L 315, 14.11.2012. [cit. 18.10.2020].
Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32012L0027>
- [15] JIRÁSEK, Pavel. [online]. *Implementace směrnice č. 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov a novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií – I. díl*. 2012. [cit. 01.11.2020]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/8952-implementace-smernice-c-2010-31-eu-o-energeticke-narocnosti-budov-a-novela-zakona-c-406-2000-sb-o-hospodareni-energie-i-dil>
- [16] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020 [cit. 01.11.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>
- [17] ČEJKA, Michal. [online]. *Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 5: Úprava požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB)* 2020. [cit. 01.11.2020].
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/20778-novela-vyhlasky-c-78-2013-sb-cast-5-uprava-pozadavku-na-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-nzeb>
- [18] BERANOVSKÝ, Jiří, POKORNÝ, Jan. *Je úsporný dům opravdu úsporný?* Praha: EkoWATT, 2014. ISBN 978-80-87333-10-5.
- [19] SVOBODA, Zbyněk. [software]. *Energie2020*. Verze 2020.2 EDU. [cit. 01.11.2020].
Dostupné z: <https://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>
- [20] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [21] Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov. *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020 [cit. 11.11.2020].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>
- [22] BOHUSLÁVEK, Petr. [online]. *Redakční návštěva: Měření průvzdušnosti pasivní dřevostavby domu pro seniory*. 2018. [cit. 11.11.2020].
Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/17672-redakcni-navsteva-mereni-pruvzdusnosti-pasivni-drevostavby-domu-pro-seniory>
- [23] MATUŠKA, Tomáš, ŤOPEK, Vilém. [online]. *Jaké náklady má energeticky nulový dům?* 2017. [cit. 16.11.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/technicke-zarizeni-budov-v-ned-a-epd/16130-jake-naklady-ma-energeticky-nulovy-dum>
- [24] SRDEČNÝ, Karel. [online]. *Jak postavit energeticky soběstačný dům?* 2008. [cit. 18.11.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/jaky-vybrat-dum/jak-postavit-energeticky-sobestacny-dum>
- [25] NOVOTNÝ, Jiří. [online]. *Neobnovitelná primární energie* 2017. [cit. 06.12.2020].
Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>

- [26] stavba.tzb-info.cz. [online]. *Prostup tepla stavební konstrukcí*. [cit. 06.12.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
- [27] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [28] Státní fond životního prostředí ČR. [online]. *Nová zelená úsporám - O programu*. 2020. [cit. 17.12.2020]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/>
- [29] Státní fond životního prostředí ČR. [online]. *Nová zelená úsporám - Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádostí, platné ode dne 15. května 2020*. 2020. [cit. 17.12.2020]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>
- [30] BOUKHEMISOVÁ, Magdalena. [online]. *Jak velký koupit bojler?* 2017. [cit. 06.01.2021]. Dostupné z: <https://www.stavebni-vzdelani.cz/velikost-bojleru/>
- [31] kasa.cz. [online katalogový list]. *Produktový list OKCE 160*. [cit. 06.01.2021]. Dostupné z: https://www.kasa.cz/document/7/8/2/doc_1223287.pdf
- [32] E.ON Energie, a.s. [online]. *Ceník Elektřina k 10.1.2020 - distribuční území EG.D*. [cit. 10.01.2021]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>
- [33] E.ON Energie, a.s. [online]. *Ceník Standard plyn k 1.1.2021 - distribuční území EG.D*. [cit. 10.01.2021]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>
- [34] tzb-info.cz. [online]. *Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii*. [cit. 12.02.2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>
- [35] Státní fond životního prostředí ČR. [online]. *Změna vyhlášky o energetické náročnosti budov*. 2020. [cit. 12.02.2021]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/zmena-vyhlasky-o-energeticke-narocnosti-budov/>
- [36] tzb-info.cz. [online]. *Výpočet denostupňů*. [cit. 20.02.2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/103-vypocet-denostupnu?stanice=7>
- [37] stavimbydlim.cz. [online]. *Kolik stojí výměna oken – cena oken za m² a cena práce*. 2020. [cit. 20.02.2021]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/kolik-stoji-vymena-oken-cena-oken-za-m2-a-cena-prace/>
- [38] sklo-centrum.cz. [online]. *Izolační skla*. [cit. 07.03.2021]. Dostupné z: <https://www.sklo-centrum.cz/izolacni-skla>
- [39] aluplast.net. [online]. *IDEAL 5000*. [cit. 07.03.2021]. Dostupné z: <https://www.aluplast.net/cz/produkty/kunststofffenster-systeme/ideal-5000.php>
- [40] LORENC, Petr. [online]. *Zateplení na zateplení – jde to?* 2012. [cit. 07.03.2021]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/9208-zatepleni-na-zatepleni-jde-to>
- [41] Weber, Saint-Gobain. [online]. *Jak provést dodatečné zesílení zateplení ETICS na ETICS?* [cit. 08.03.2021]. Dostupné z: <https://www.cz.weber/zatepleni-domu/jak-provest-dodatecne-zesileni-zatepleni-etics-na-etics>

- [42] Baunit, spol. s r.o. [online]. *Zateplení na zateplení*. 2017. [cit. 08.03.2021]. Dostupné z: [https://baunit.cz/files/cz/Prospekty/Zateplovaci_systemy/ETICS_na_ETICS_\(Zatepleni_na_zatepleni\)/Baunit_IS_ETICS_na_ETICS_03_2017.pdf](https://baunit.cz/files/cz/Prospekty/Zateplovaci_systemy/ETICS_na_ETICS_(Zatepleni_na_zatepleni)/Baunit_IS_ETICS_na_ETICS_03_2017.pdf)
- [43] Baunit, spol. s r.o. [online katalogový list]. *Produktový list Baunit StarTrack Duplex*. [cit. 09.03.2021]. Dostupné z: https://www.kasa.cz/document/7/8/2/doc_1223287.pdf
- [44] izolace-info.cz. [online]. *Zateplovací systém Baunit Star*. [cit. 26.03.2021]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog-zateplovacich-systemu/baunit/1347311-zateplovaci-system-baunit-star-p.html>
- [45] izolace-info.cz. [online]. *Zateplovací systém Etics Weber Therm Elastik*. [cit. 26.03.2021]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/katalog-zateplovacich-systemu/weber/1347693-zateplovaci-system-etics-weber-therm-elastik-p.html>
- [46] stavimbydlim.cz. [online]. *Kolik stojí zateplení fasády domu – polystyren, minerální vata, práce*. 2019. [cit. 26.03.2021]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/kolik-stoji-zatepleni-fasady-domu-polystyren-mineralni-vata-prace/>
- [47] solarventi.cz. [online]. *DUKA One Pro 50*. [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: <https://www.solarventi.cz/rekuperacni-jednotky/duka-one-pro-50-32.html>
- [48] pantifinka.cz. [online]. *Zehnder ComfoAir 70 větrací jednotka s rekuperací*. [cit. 16.04.2021]. Dostupné z: <https://eshop.panfitinka.cz/p/zehnder-comfoair-70-rekuperacni-jednotka>
- [49] ČSN EN 16798-1. *Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [50] ČSN EN 15665:2009/Z1. *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [51] PARTIKA, Radek, PARTIKOVÁ, Michaela. [online]. *Mít či nemít rekuperaci vzduchu?* [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://www.atelier-partika.cz/mit-ci-nemit-rekuperaci-vzduchu/>
- [52] TZB Vysočina s.r.o. [online]. *Cenová kalkulace - řízené větrání s rekuperací*. [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://rekuperuji.cz/>
- [53] ATREA s.r.o. [online katalogový list]. *Produktový list Atrea Rekuperační jednotka DUPLEX 300 Easy*. [cit. 12.05.2021]. Dostupné z: <https://www.atreaeshop.cz/atrea-rekuperacni-jednotka-duplex-300-easy-a161901/30994/produkt>
- [54] VITOUŠ, Jan, KNY, Martin. [online]. *Větrací jednotky s tepelným čerpadlem, část 2. Ekonomické hodnocení*. 2020. [cit. 13.05.2021]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/20651-vetraci-jednotky-s-tepelnym-cerpadlem-cast-2-ekonomicke-hodnoceni>
- [55] E.ON Česká republika, s.r.o. [online]. *Kolik stojí tepelné čerpadlo?* [cit. 13.05.2021]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-vetrani/tepelna-cerpadla/kolik-stoji-tepelne-cerpadlo/>

- [56] STIEBEL ELTRON spol. s r. o. [online]. *Cenová kalkulace - tepelné čerpadlo*. [cit. 22.06.2021]. Dostupné z: <https://www.stiebel-eltron.cz/>
- [57] ÚRS CZ a.s. [software]. *KROS 4*. Verze 2021/I. [cit. 22.06.2021]. Dostupné z: <https://www.urs.cz/software-a-data/kros-4-ocenovani-a-rizeni-stavebni-vyroby>
- [58] KLIMA RAPID, spol. s r.o. [online]. *Tepelné čerpadlo vzduch vzduch*. [cit. 22.06.2021]. Dostupné z: <https://klimarapid.cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch/>
- [59] MATUŠKA, Tomáš. [online]. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP*. 2015. [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [60] VRBA, Jan. [online]. *Výpočet vhodného výkonu klimatizace*. 2020. [cit. 24.06.2021]. Dostupné z: <https://www.intechna.cz/vypocet-vykonu-klimatizace>
- [61] Pražská energetika, a. s. [online]. *Výpočet chladicího výkonu klimatizace*. [cit. 28.06.2021]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/dulezite-informace/kalkulacky-energie/vytapani/vypocet-chladiciho-vykonu-klimatizace/>
- [62] Blue team, s.r.o. [online]. *Cenová kalkulace - klimatizace*. [cit. 28.06.2021]. Dostupné z: <http://www.blueteam.cz/>
- [63] PFLUGRADT, Noah. [software]. *LoadProfileGenerator*. Version 10.5.0. [cit. 29.06.2021]. Dostupné z: <https://www.loadprofilegenerator.de/>
- [64] CANADIAN SOLAR INC. [online katalogový list]. *Produktový list Solární panel Canadian Solar 420Wp POLY*. [cit. 29.06.2021]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/polykrystalicke-panely/2914-solarni-panel-canadian-solar-420wp-poly-stribrny-ram.html>
- [65] European Commission. [online]. *Photovoltaic Geographical Information System 2019*. [cit. 01.07.2021]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [66] MATUŠKA, Tomáš. [online]. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací*. 2016. [cit. 01.07.2021]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [67] TRAMBA, David. [online]. *Do vody nebo do baterie*. 2018. [cit. 09.07.2021]. Dostupné z: <https://aktualne.cvut.cz/zpravy-z-medii/20181015-do-vody-nebo-do-baterie>
- [68] bc engineering s.r.o. [online]. *Cenová kalkulace - fotovoltaická elektrárna*. [cit. 09.07.2021]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/>
- [69] solarcontrols.cz. [online]. *Regulátory WATTrouter a příslušenství*. [cit. 10.07.2021]. Dostupné z: https://solarcontrols.cz/cz/shop_watrouter.html
- [70] ZEMKOVÁ, Barbora. [online]. *Životnost fyzických baterií*. 2019. [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/zivotnost-fyzickych-baterii>
- [71] ČEZ Prodej, a.s. [online]. *Ceník Elektřina pro soláry od 1.7.2021 - distribuční území EG.D*. [cit. 12.07.2021]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>
- [72] Česká národní banka. [online]. *Prognóza ČNB – jaro 2021*. 2021. [cit. 13.07.2021]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>

- [73] GasNet, s.r.o. [online]. *GasNet: Spotřeba zemního plynu v pololetí vzrostla meziročně o 21 %*. 2021. [cit. 13.07.2021]. Dostupné z:
<https://www.gasnet.cz/cs/archiv-novinek-2021-GasNet-spotreba-plynu-pololeti-2021/>
- [74] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku. *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2020 [cit. 14.07.2021].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480/zneni-20161011>
- [75] SUNFIN PRAHA s.r.o. [online]. *Otázky a odpovědi*. [cit. 14.07.2021].
Dostupné z: <https://www.sunfin.cz/otazky-a-odpovedi>

Seznam příloh

Příloha A - Nová zelená úsporám	87
Příloha B - Výkresová dokumentace	88
Příloha C - Pomocné výpočtové hodnoty (objemy, intenzita větrání, vnitřní návrhové teploty)	91
Příloha D - Klimatická data pro lokalitu České Velenice	92
Příloha E - Kompletní skladba obalových konstrukcí (vč. sklepa)	93
Příloha F - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den	94
Příloha G - Energetický štítek Sinclair MS-E28AIN	97
Příloha H - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den (varianta III)	98
Příloha I - Kompletní srovnání variant s bazickou variantou	99
Příloha J - Hodnoty CF a DCF v průběhu projektu	100
Příloha K - Citlivostní analýzy	101
Příloha L - Struktura přiloženého CD	104

Příloha A - Nová zelená úsporám

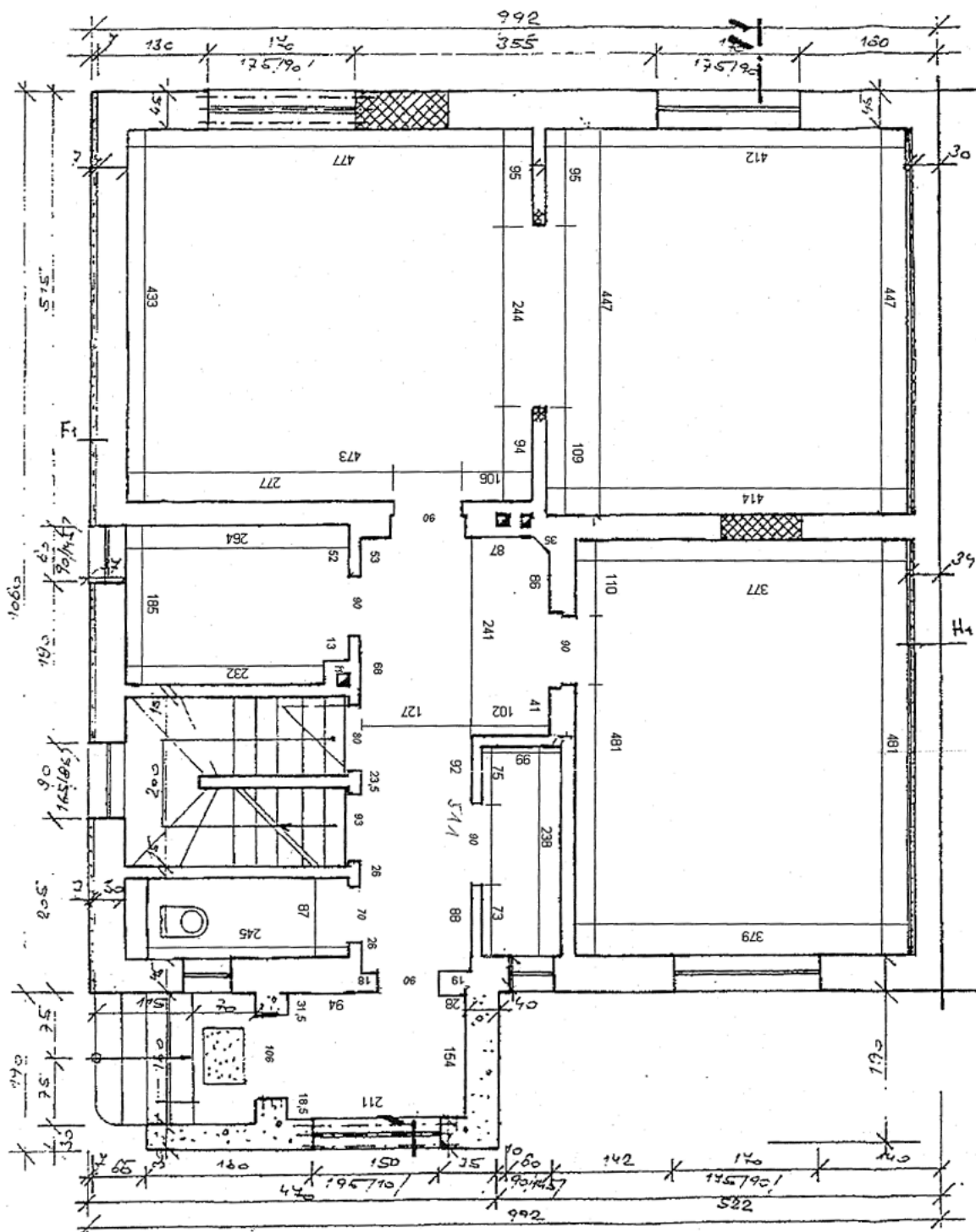
Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.4	C.3.5	C.3.6	C.3.7	C.3.8	C.3.9
Celkový využitelný zisk	$Q_{FV,u}$ [kWh.rok ⁻¹]	≥ 1 700	≥ 1 700	≥ 3 000	≥ 4 000	≥ 3 000 (1f) ≥ 4 000 (3f)	≥ 3 000
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Povinná	Možná	Možná	Možná	Povinná	Povinná
Minimální objem zásobníku teplé vody nebo akumulační nádrže	[l]	120	-	-	-	600	200
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	Možná	Povinná	Povinná	Povinná	Možná	Možná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWh·kWp ⁻¹]	-	1,75/1,25	1,75/1,25	1,75/1,25	-	-

Požadované parametry v podoblastech podpory C.3.4 až C.3.9

Popis	Podmínky	Koeficient K
Budovy a konstrukce bez zvýhodnění	-	1,0
RD v Moravskoslezském, Ústeckém nebo Karlovarském kraji	kapitola 2.1 písm. n)	1,1
Památkově chráněná budova	kapitola 2.2.4	1,3
Použití materiálů s vydaným environmentálním prohlášením typu III	kapitola 2.2.5	1,05

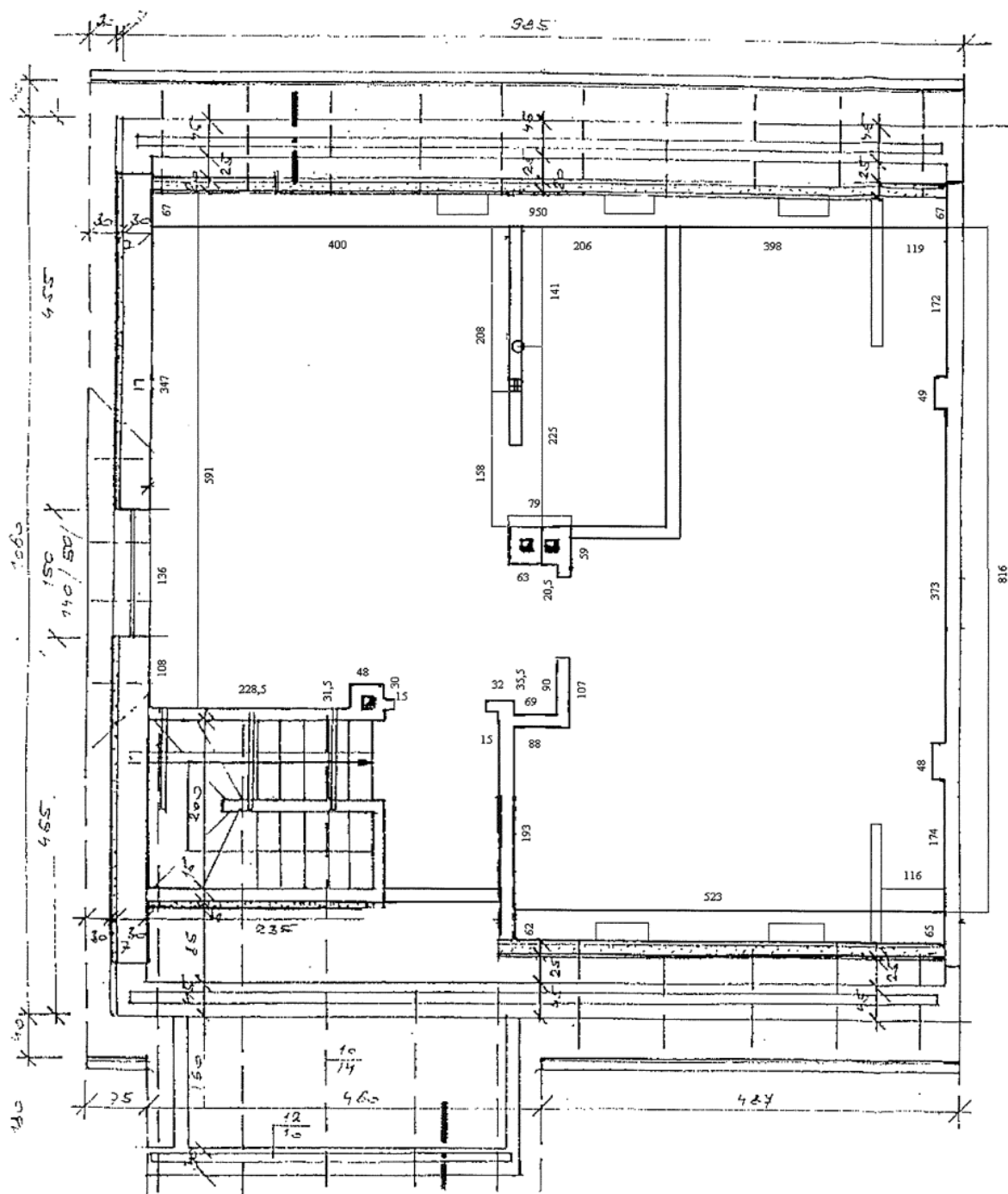
Koeficienty upravující výši podpory v oblasti podpory A pro jednotlivé konstrukce

Příloha B - Výkresová dokumentace



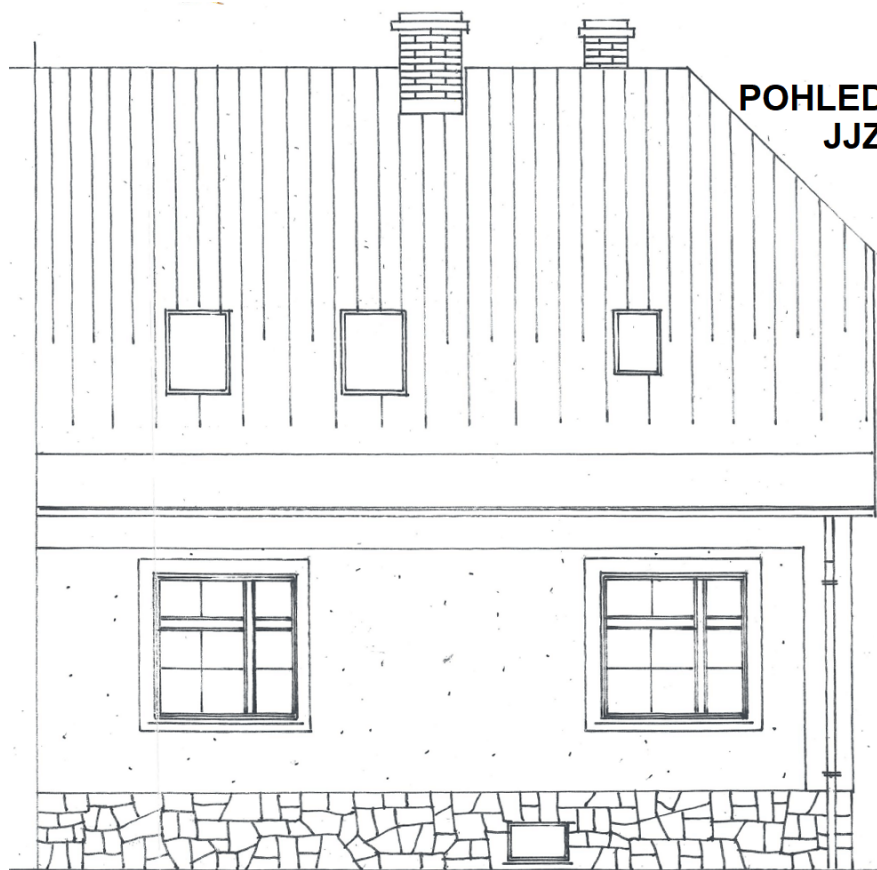
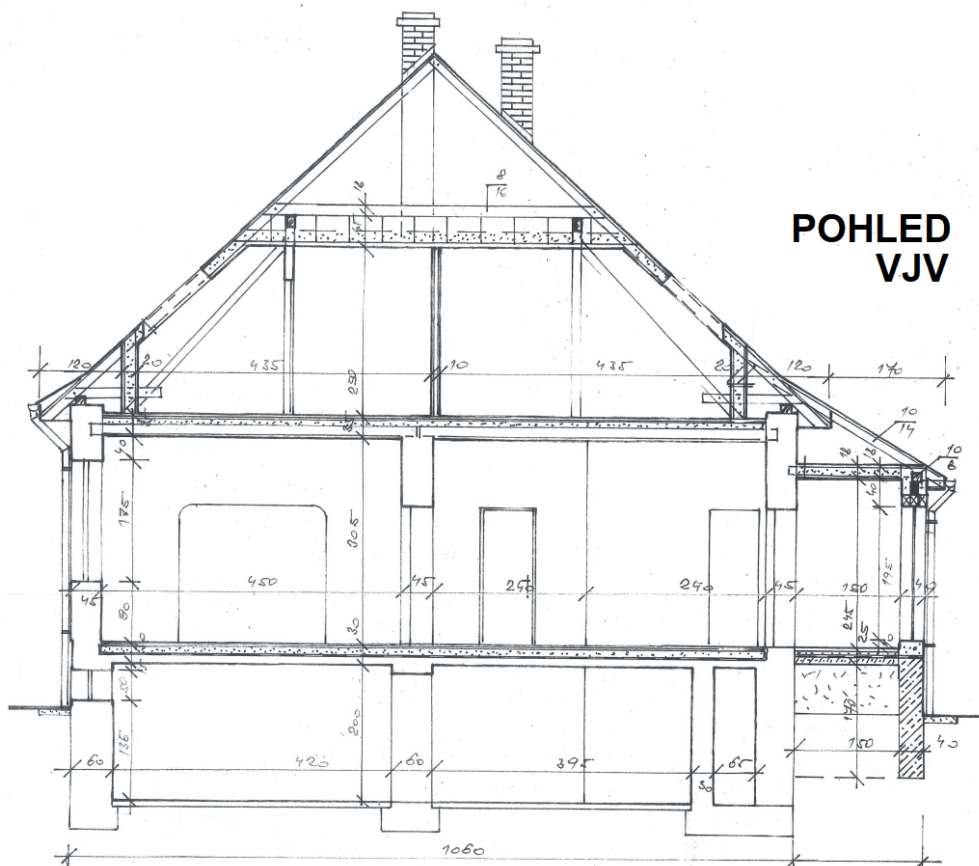
Půdorys 1. NP

Příloha B - Výkresová dokumentace



Půdorys 2. NP

Příloha B - Výkresová dokumentace



Příloha C - Pomocné výpočtové hodnoty (objemy, intenzita větrání, vnitřní návrhové teploty)

Místnost	Plocha podlahy [m] [m]	Výška stropu [m]	Objem místnosti [m ³]	Intenzita větrání [1/h]	Obměna vzduchu [m ³ /h]	Příkon osvětlení [W]	ČSN EN 12831-1	Teplota dle ČSN EN 12831-1 [°C]	Teplota dle nastaveného profilu [°C]
Kuchyň	21	3,1	64	0,7	45	55,5		20	20
Obývací pokoj	19	3,1	59	0,7	41	41		20	20
Ložnice	19	3,1	58	0,7	41	27,5		20	20
Koupelna	5	3,1	15	0,5	7	18		24	24
Klozet	2	3,1	6	0,5	3	9		20	20
Spíš	3	3,1	8	0,5	4	10		15	15
Chodba	8	3,1	25	0,5	13	27		15	15
Předsíň	3	2,5	8	0,5	4	10		15	15
Chodba 2	2	2,5	4	0,5	2	0		15	15
Pokoj 1	42	2,5	95	0,5	47	42		20	15
Pokoj 2	25	2,5	59	0,5	29	39		20	15
Koupelna 2	8	2,5	17	0,5	8	18		24	15
Schodiště	5	n/a	12	0,5	6	18		10	15
Celkem	162	n/a	428	n/a	250	315		n/a	n/a
					Průměr			19,5	17,5

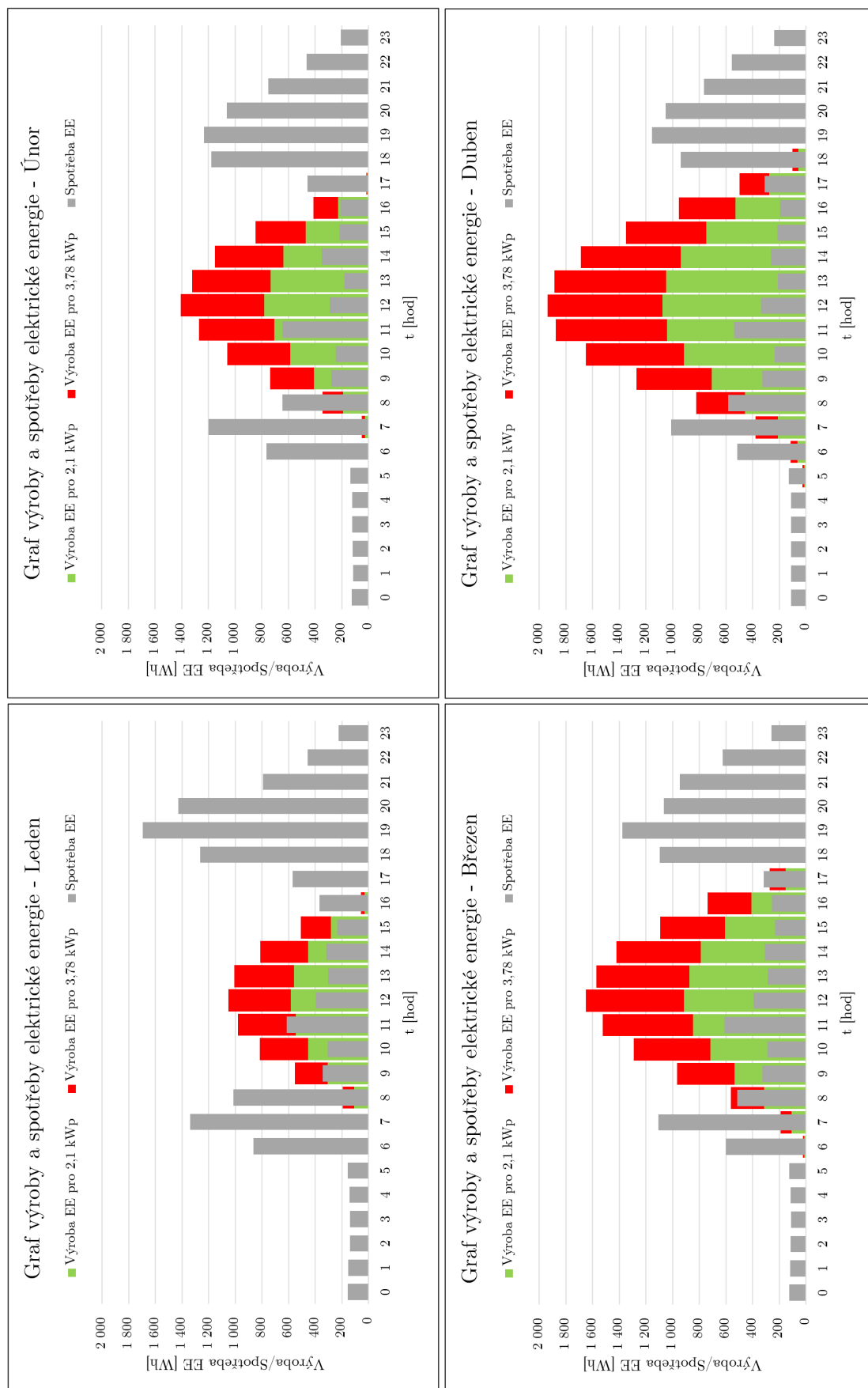
Příloha D - Klimatická data pro lokalitu České Velenice

Měsíc	Denostupně $D_{17,5}$		Průměrná teplota [°C]
	[D.K]	[dny]	
01/2020	506	31	1,2
02/2020	353	29	5,3
03/2020	379	31	5,3
04/2020	196	28	10,6
05/2020	138	22	12,2
06/2020	0	0	17,1
07/2020	0	0	19,1
08/2020	0	0	19,8
09/2020	50	8	15
10/2020	227	29	9,9
11/2020	377	29	4,7
12/2020	477	31	2,1

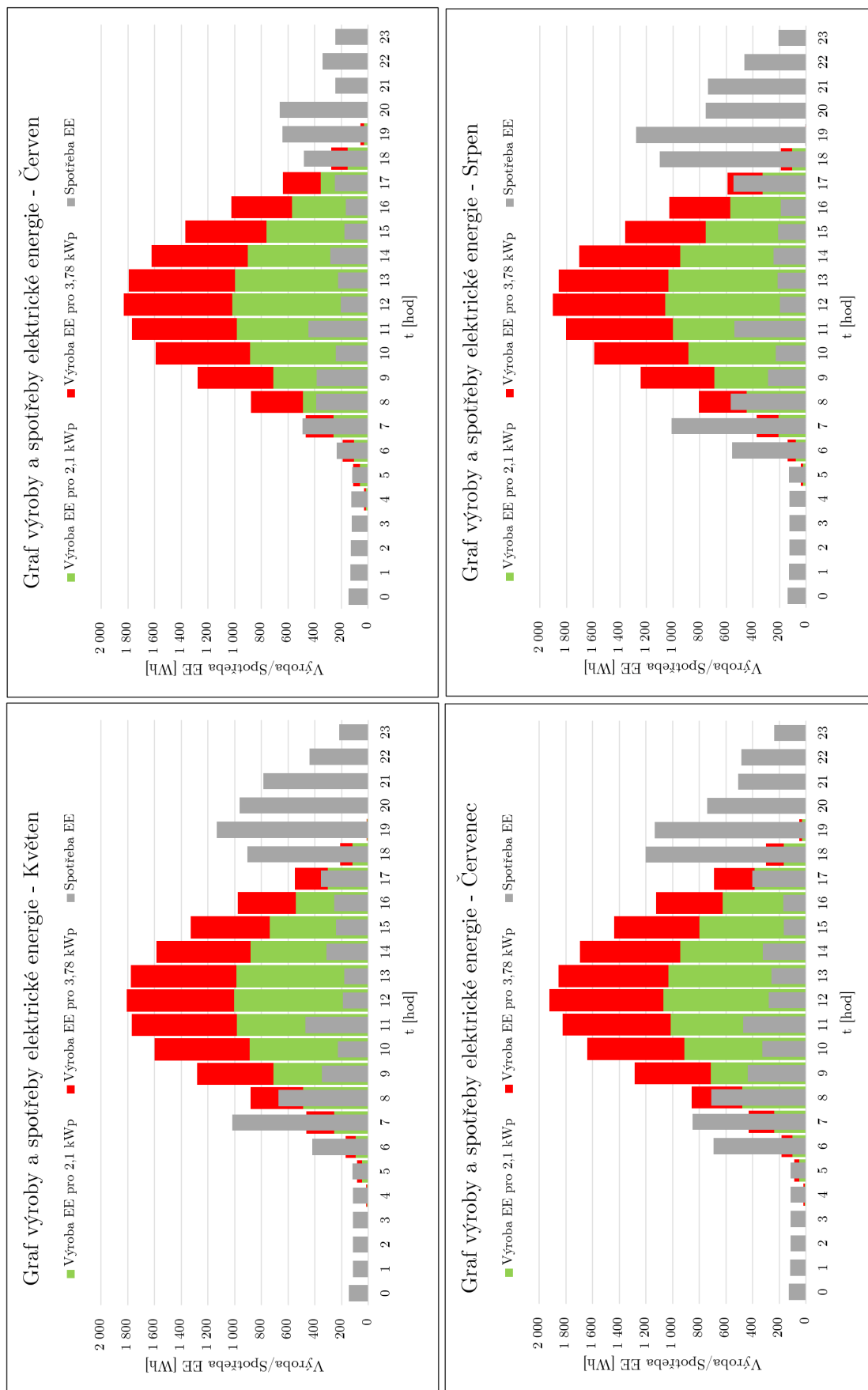
Příloha E - Kompletní skladba obalových konstrukcí (vč. sklepa)

Typ	Materiál	d [m]	λ [W/(m.K)]	R_i [(m ² .K)/W]	R_{si} [(m ² .K)/W]	R_{se} [(m ² .K)/W]	R_T [(m ² .K)/W]	U [W/(m ² .K)]	$U_{N,20}$ [W/(m ² .K)]	$U_{em,rec,20}$ [W/(m ² .K)]	$0,9 \cdot U_{em,rec,20}$ [W/(m ² .K)]	$U_{pas,20}$ [W/(m ² .K)]	Název dle ČSN 73 0540-2
Sklep - stěna (zem)	Kámen	0,60	1,40	0,43	0,13	0,00	0,57	1,75	0,85	0,64	0,57	0,3 až 0,45	Stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině podle ČSN 730540-2
	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,01									
Sklep - stěna (vzduch)	Kámen	0,60	1,40	0,43	0,13	0,04	0,61	1,63	0,75	0,56	0,51	0,25 až 0,38	Stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí podle ČSN 730540-2
	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,01									
Sklep - podlaha	Kámen	0,60	1,40	0,43									
	Bitagit	0,00	0,21	0,02	0,17	0,00	1,93	0,52	0,85	0,64	0,57	0,3 až 0,45	Podlaha temperovaného prostoru přilehlá k zemině podle ČSN 730540-2
	Exp. polystyren	0,05	0,04	1,28									
	Betonový potěr	0,04	1,40	0,03									
Vnější stěna (mimo sklep,	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,01									
	Piná cihla	0,30	0,84	0,36	0,13	0,04	3,12	0,32	0,3	0,23	0,20	0,12 a 0,18	Stěna vnější podle ČSN 730540-2
	Exp. polystyren	0,10	0,04	2,56									
	Vnější omítka	0,01	0,80	0,01									
Vnější stěna (mimo sklep,	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,01									
	Piná cihla	0,45	0,84	0,54	0,13	0,04	3,30	0,30	0,3	0,23	0,20	0,12 a 0,18	Stěna vnější podle ČSN 730540-2
	Exp. polystyren	0,10	0,04	2,56									
	Vnější omítka	0,01	0,80	0,01									
Podlaha (mezi sklepem a 1. NP)	Podlahové linoleum	0,01	0,17	0,06									
	OSB desky	0,02	0,13	0,12									
	Bitagit	0,00	0,21	0,02	0,17	0,17	1,87	0,53	0,75	0,56	0,51	0,25 až 0,38	Strop vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru podle ČSN 730540-2
	Isover Orsil N	0,05	0,04	1,16									
	Beton	0,20	1,23	0,16									
	Omítka	0,01	0,75	0,01									
Podlaha (mezi zemí a 1. NP)	Podlahové linoleum	0,01	0,17	0,06									
	OSB desky	0,02	0,13	0,12									
	Bitagit	0,00	0,21	0,02	0,17	0,17	1,99	0,50	0,45	0,34	0,30	0,15 až 0,22	Podlaha vytápěného prostoru přilehlá k zemině podle ČSN 730540-2
	Isover Orsil N	0,05	0,04	1,16									
	Beton	0,20	1,23	0,16									
	Štěrka	0,20	0,65	0,31									
Strop (mezi 2. NP a půdou)	Sádrokartonové desky	0,01	0,22	0,05									
	Isover Orsil N	0,18	0,04	4,19	0,1	0,10	4,44	0,22	0,75	0,56	0,51	0,25 až 0,38	Strop vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru podle ČSN 730540-2
Střecha	Vnitřní omítka	0,01	0,75	0,01									
	Sádrokartonové desky	0,01	0,22	0,05									
	Isover Orsil N	0,18	0,04	4,19	0,1	0,04	4,76	0,21	0,24	0,18	0,16	0,1 až 0,15	Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně podle ČSN 730540-2
	Heraklit	0,04	0,09	0,39									
Okno (stěna)	Okna Oknotherm izolační dvojsklo 4/16/4 s pokovením							1,1	1,5	1,13	1,01	0,6 až 0,8	Okno ve vnější stěně a strmné střeše z vytápěného prostoru podle ČSN 730540-2
Okno (střecha)	Okna Oknotherm izolační dvojsklo 4/16/4 s pokovením							1,1	1,4	1,05	0,95	0,9	Okno se sklonem doo 45° z vytápěného prostoru do exteriéru podle ČSN 730540-2
Dveře	Dveře Perito bezpečnostní plastové dveře s technologií HPL							0,7 až 1,15	1,7	1,28	1,15	0,9	Dveře z vytápěného prostoru do exteriéru podle ČSN 730540-2

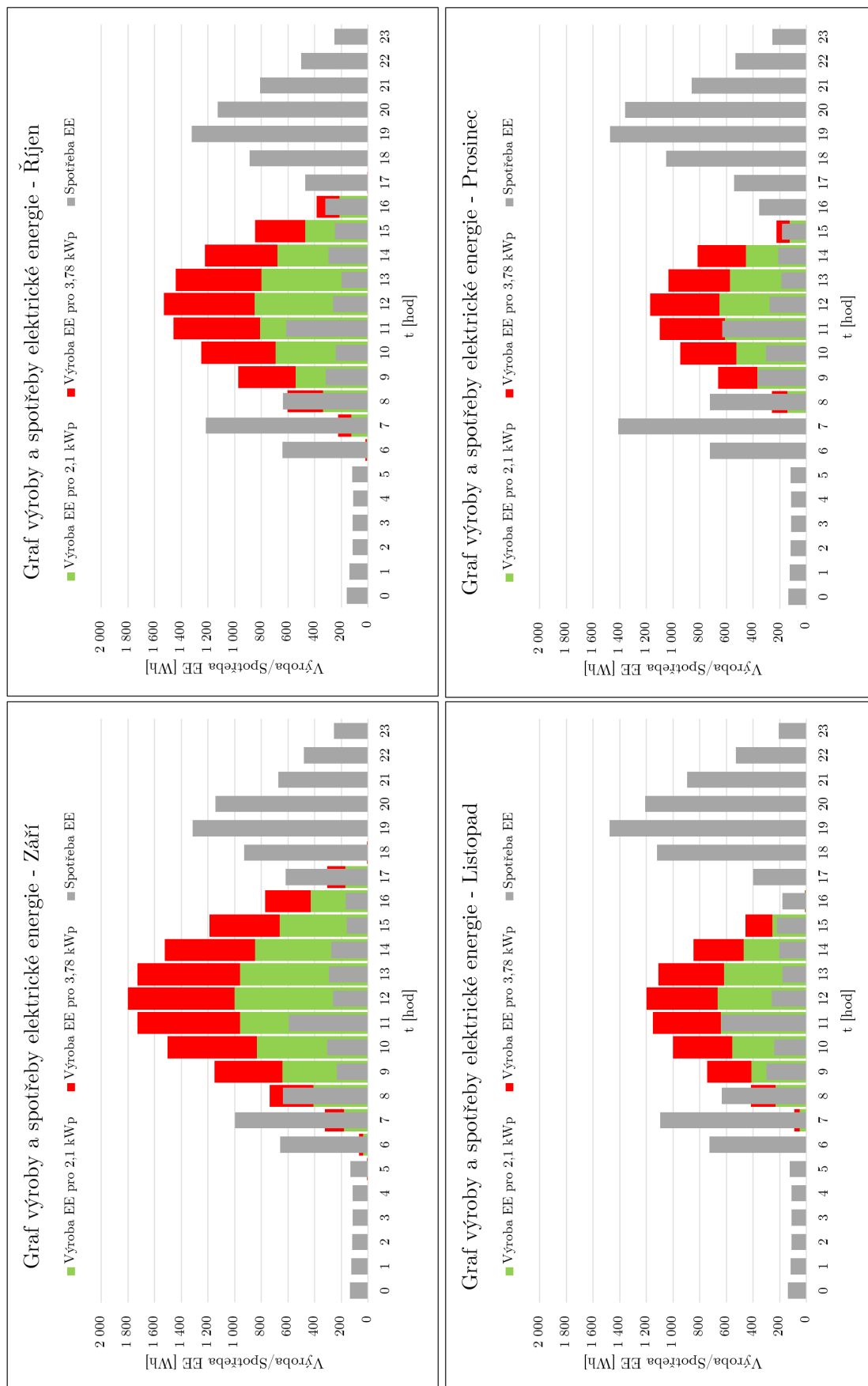
Příloha F - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den



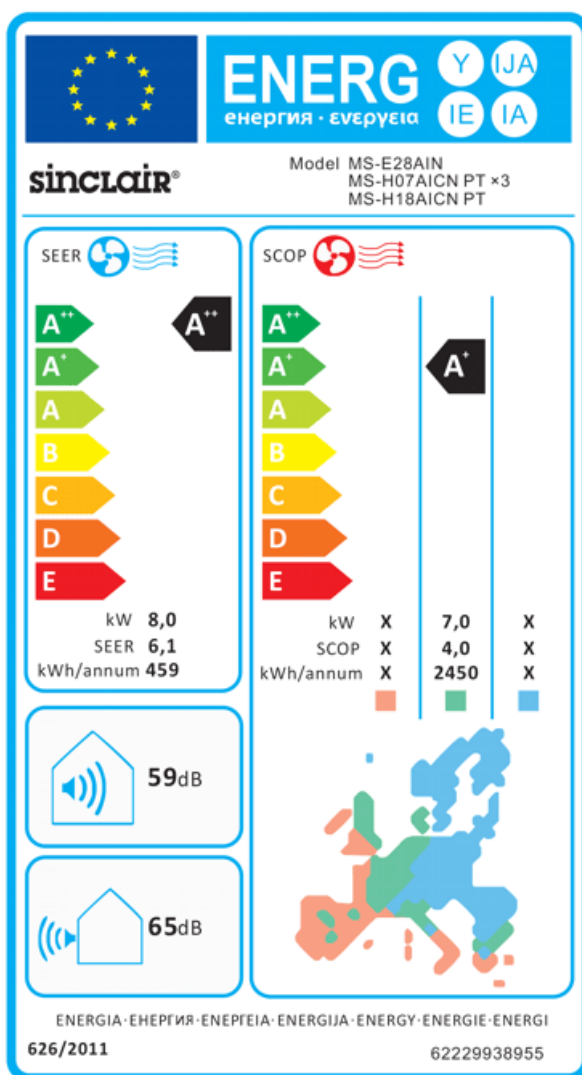
Příloha F - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den



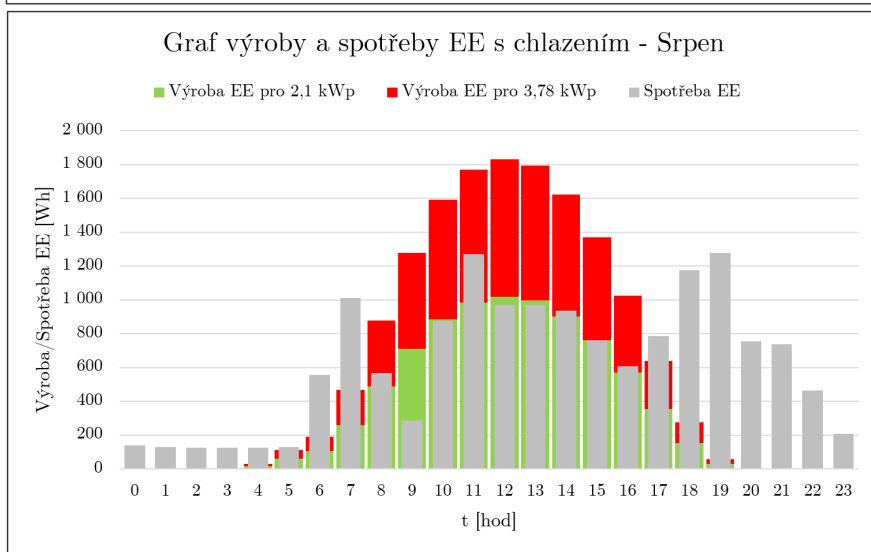
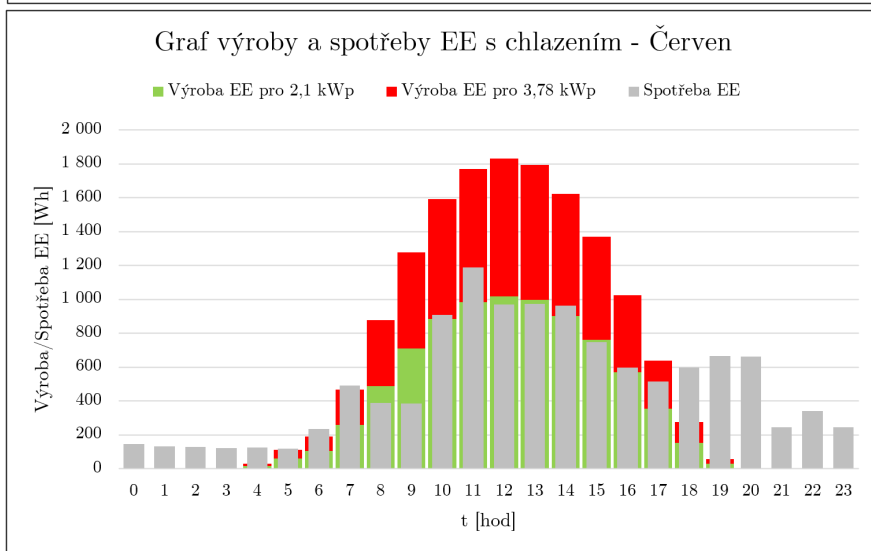
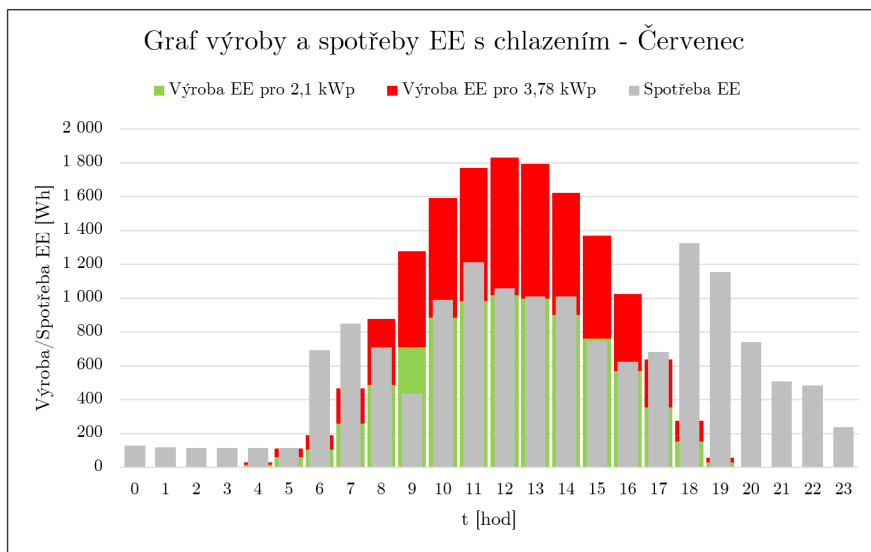
Příloha F - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den



Příloha G - Energetický štítek Sinclair MS-E28AIN



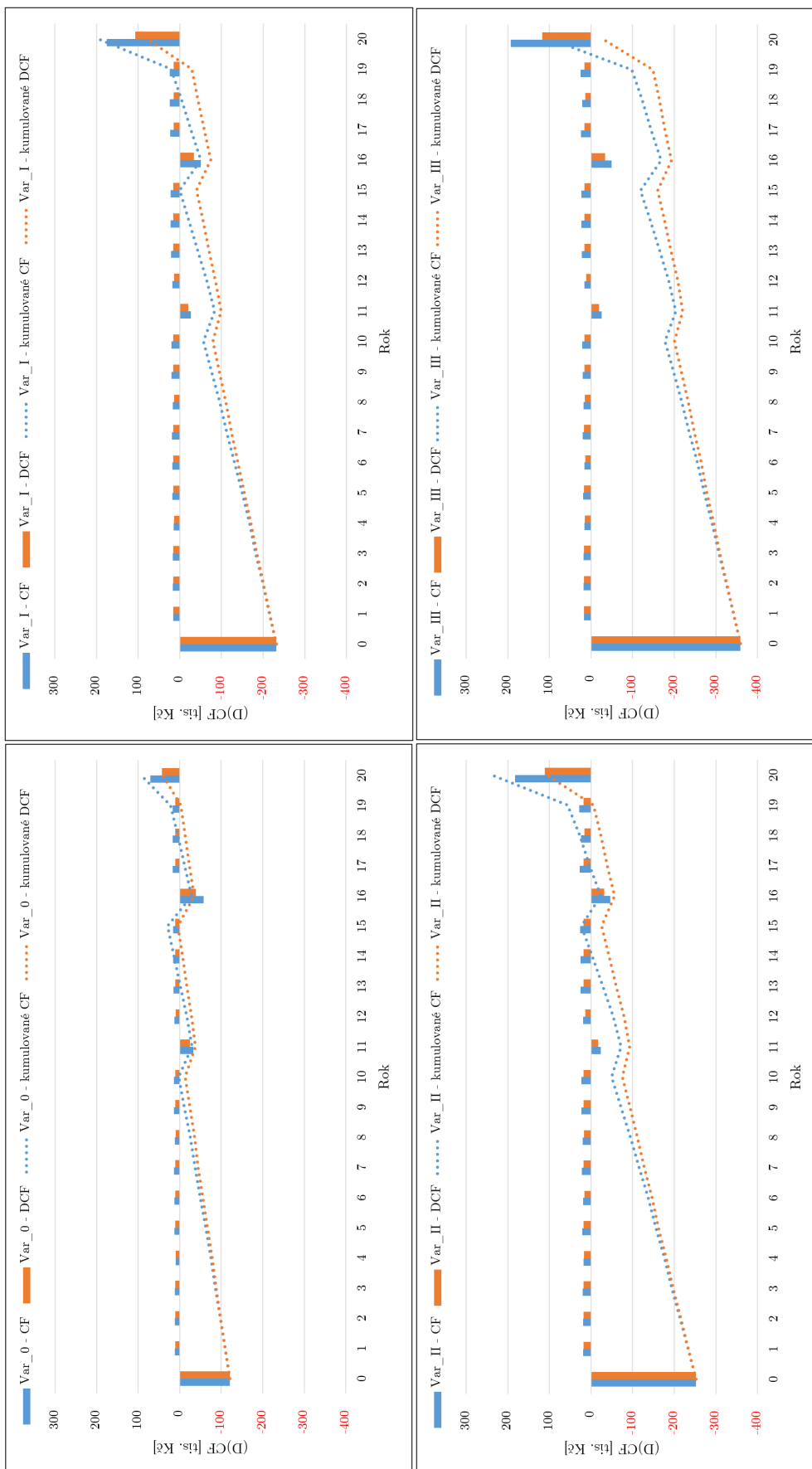
Příloha H - Průběh výroby a spotřeby pro průměrný den (varianta III)



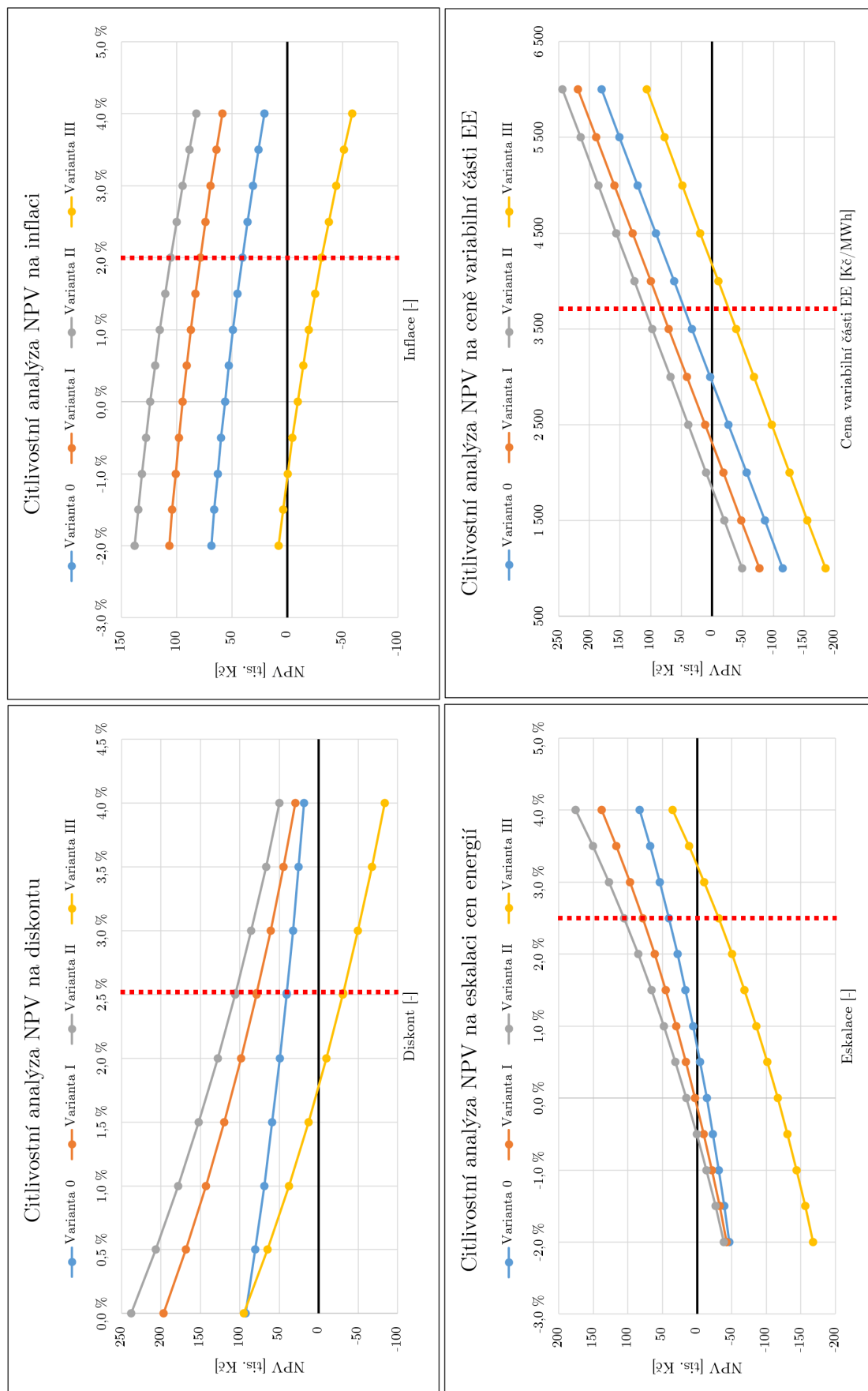
Příloha I - Kompletní srovnání variant s bazickou variantou

Energetický ukazatel (Dle ČSN 73 0331-1)	Bazická varianta		Varianta I		Varianta II		Varianta III	
	Hod. Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka	Hod. Δ Jednotka
Dodaná energie ZP	20 959 [kWh/a]	20 959 0% [kWh/a]	16 709 -20% [kWh/a]	13 774 -34% [kWh/a]	13 774 -34% [kWh/a]	13 774 -34% [kWh/a]	13 774 -34% [kWh/a]	13 774 -34% [kWh/a]
Dodaná energie EE	5 492 [kWh/a]	1 390 -75% [kWh/a]	1 390 -75% [kWh/a]	1 390 -75% [kWh/a]	1 559 -72% [kWh/a]	1 559 -72% [kWh/a]	1 994 -64% [kWh/a]	1 994 -64% [kWh/a]
EE z FVE užitá v budově	0 [kWh/a]	4 103 n/a [kWh/a]	4 092 n/a [kWh/a]	4 124 n/a [kWh/a]	4 124 n/a [kWh/a]	4 124 n/a [kWh/a]	4 148 n/a [kWh/a]	4 148 n/a [kWh/a]
Tepečná ztráta	6,7 kW	6,7 0% kW	5,5 -18% kW	4,7 -30% kW	4,7 -30% kW	4,7 -30% kW	4,7 -30% kW	4,7 -30% kW
Primární energie z nebo. zdrojů	163,8 [kWh/(m ² .a)]	114,2 -30% [kWh/(m ² .a)]	94,5 -42% [kWh/(m ² .a)]	82,9 -49% [kWh/(m ² .a)]	82,9 -49% [kWh/(m ² .a)]	82,9 -49% [kWh/(m ² .a)]	88,1 -46% [kWh/(m ² .a)]	88,1 -46% [kWh/(m ² .a)]
Měrná potřeba tepla na vytápění	71,8 [kWh/(m ² .a)]	71,8 0% [kWh/(m ² .a)]	57,2 -20% [kWh/(m ² .a)]	47,2 -34% [kWh/(m ² .a)]	47,2 -34% [kWh/(m ² .a)]	47,2 -34% [kWh/(m ² .a)]	47,2 -34% [kWh/(m ² .a)]	47,2 -34% [kWh/(m ² .a)]
Celková dodaná energie	123,0 [kWh/(m ² .a)]	123,0 0% [kWh/(m ² .a)]	103,2 -16% [kWh/(m ² .a)]	90,5 -26% [kWh/(m ² .a)]	90,5 -26% [kWh/(m ² .a)]	90,5 -26% [kWh/(m ² .a)]	92,6 -25% [kWh/(m ² .a)]	92,6 -25% [kWh/(m ² .a)]
z toho na vytápění	98,5 [kWh/(m ² .a)]	98,5 0% [kWh/(m ² .a)]	78,7 -20% [kWh/(m ² .a)]	65,0 -34% [kWh/(m ² .a)]	65,0 -34% [kWh/(m ² .a)]	65,0 -34% [kWh/(m ² .a)]	65,0 -34% [kWh/(m ² .a)]	65,0 -34% [kWh/(m ² .a)]
z toho na chlazení	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	2,1 n/a [kWh/(m ² .a)]	2,1 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na nucené větrání	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	1,0 n/a [kWh/(m ² .a)]	1,0 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na úpravu vlhkosti	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na přípravu teplé vody	22,7 [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]	22,7 0% [kWh/(m ² .a)]
z toho na osvětlení	1,7 [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]
Klasifikační třída	Nehospodárná (E)	Méně úsporná (D)	Úsporná (C)	Velmi úsporná (B)	Úsporná (C)	Velmi úsporná (B)	Úsporná (C)	Úsporná (C)
Energetický ukazatel (Dle nastaveného profilu)	Bazická varianta	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Bazická varianta	Varianta I	Varianta II	Varianta III
Dodaná energie ZP	14 424 [kWh/a]	14 424 0,0% [kWh/a]	11 533 -20% [kWh/a]	9 841 -32% [kWh/a]	11 533 -20% [kWh/a]	9 841 -32% [kWh/a]	9 841 -32% [kWh/a]	9 841 -32% [kWh/a]
Dodaná energie EE	2 231 [kWh/a]	44 -98% [kWh/a]	44 -98% [kWh/a]	52 -98% [kWh/a]	44 -98% [kWh/a]	52 -98% [kWh/a]	69 -97% [kWh/a]	69 -97% [kWh/a]
EE z FVE užitá v budově	0 [kWh/a]	2 187 n/a [kWh/a]	2 185 n/a [kWh/a]	2 226 n/a [kWh/a]	2 185 n/a [kWh/a]	2 226 n/a [kWh/a]	2 668 n/a [kWh/a]	2 668 n/a [kWh/a]
Tepečná ztráta	6,2 kW	6,2 0% kW	5,1 -18% kW	4,4 -29% kW	6,2 0% kW	5,1 -18% kW	4,4 -29% kW	4,4 -29% kW
Primární energie z nebo. zdrojů	94,0 [kWh/(m ² .a)]	67,6 -28% [kWh/(m ² .a)]	54,1 -42% [kWh/(m ² .a)]	46,4 -51% [kWh/(m ² .a)]	67,6 -28% [kWh/(m ² .a)]	54,1 -42% [kWh/(m ² .a)]	46,6 -50% [kWh/(m ² .a)]	46,6 -50% [kWh/(m ² .a)]
Měrná potřeba tepla na vytápění	49,4 [kWh/(m ² .a)]	49,4 0% [kWh/(m ² .a)]	39,5 -20% [kWh/(m ² .a)]	33,7 -32% [kWh/(m ² .a)]	49,4 0% [kWh/(m ² .a)]	39,5 -20% [kWh/(m ² .a)]	33,7 -32% [kWh/(m ² .a)]	33,7 -32% [kWh/(m ² .a)]
Celková dodaná energie	77,4 [kWh/(m ² .a)]	77,4 0% [kWh/(m ² .a)]	64,0 -17% [kWh/(m ² .a)]	56,3 -27% [kWh/(m ² .a)]	77,4 0% [kWh/(m ² .a)]	64,0 -17% [kWh/(m ² .a)]	58,5 -24% [kWh/(m ² .a)]	58,5 -24% [kWh/(m ² .a)]
z toho na vytápění	67,9 [kWh/(m ² .a)]	67,9 0% [kWh/(m ² .a)]	54,5 -20% [kWh/(m ² .a)]	46,6 -31% [kWh/(m ² .a)]	67,9 0% [kWh/(m ² .a)]	54,5 -20% [kWh/(m ² .a)]	46,6 -31% [kWh/(m ² .a)]	46,6 -31% [kWh/(m ² .a)]
z toho na chlazení	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	2,1 n/a [kWh/(m ² .a)]	2,1 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na nucené větrání	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0,2 n/a [kWh/(m ² .a)]	0,2 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na úpravu vlhkosti	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0 [kWh/(m ² .a)]	0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0,0 n/a [kWh/(m ² .a)]	0,0 n/a [kWh/(m ² .a)]
z toho na přípravu teplé vody	7,8 [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]	7,8 [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]	7,8 0% [kWh/(m ² .a)]
z toho na osvětlení	1,7 [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]	1,7 0% [kWh/(m ² .a)]
Klasifikační třída	Méně úsporná (D)	Úsporná (C)	Úsporná (C)	Úsporná (C)	Méně úsporná (D)	Úsporná (C)	Úsporná (C)	Úsporná (C)

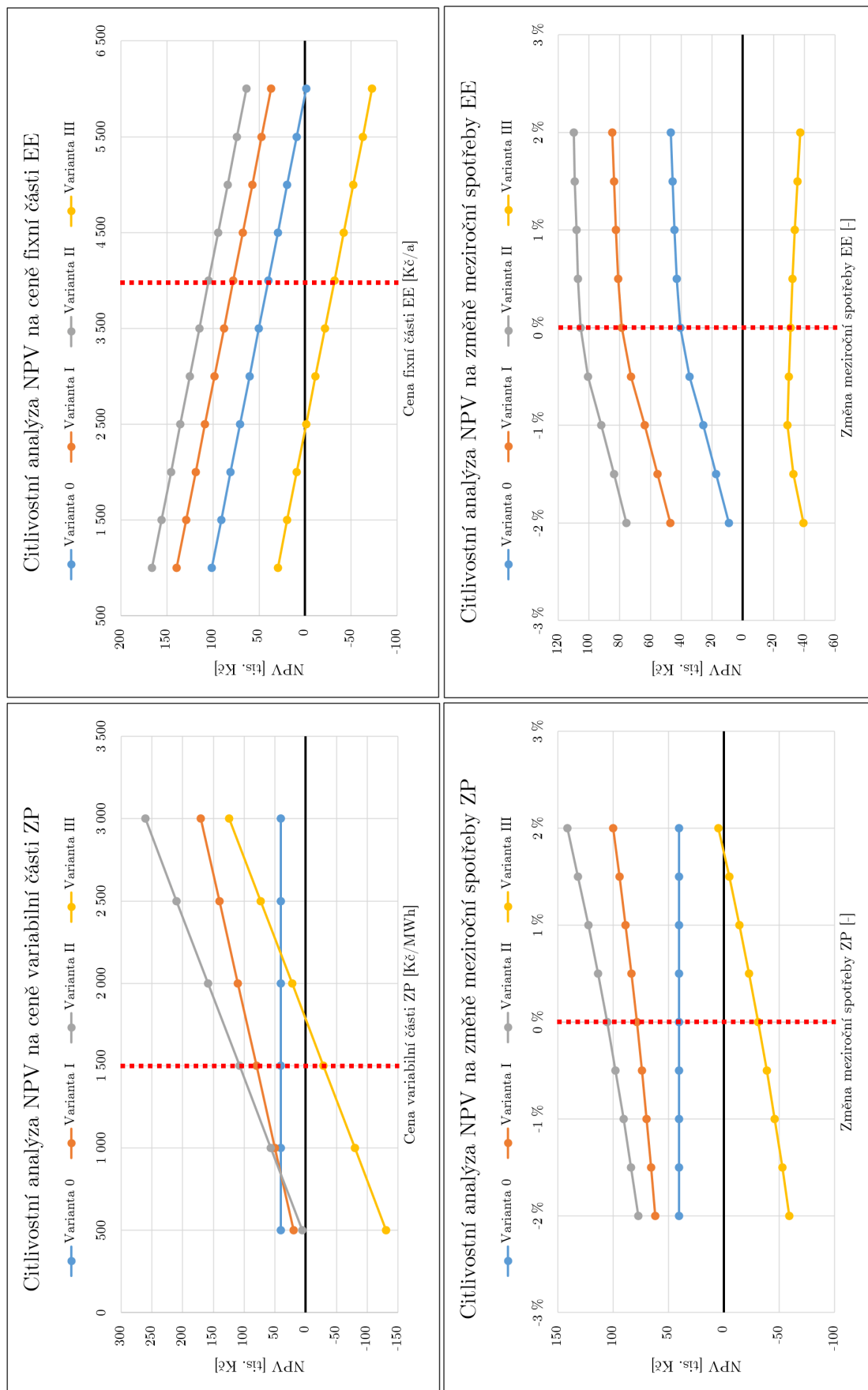
Příloha J - Hodnoty CF a DCF v průběhu projektu



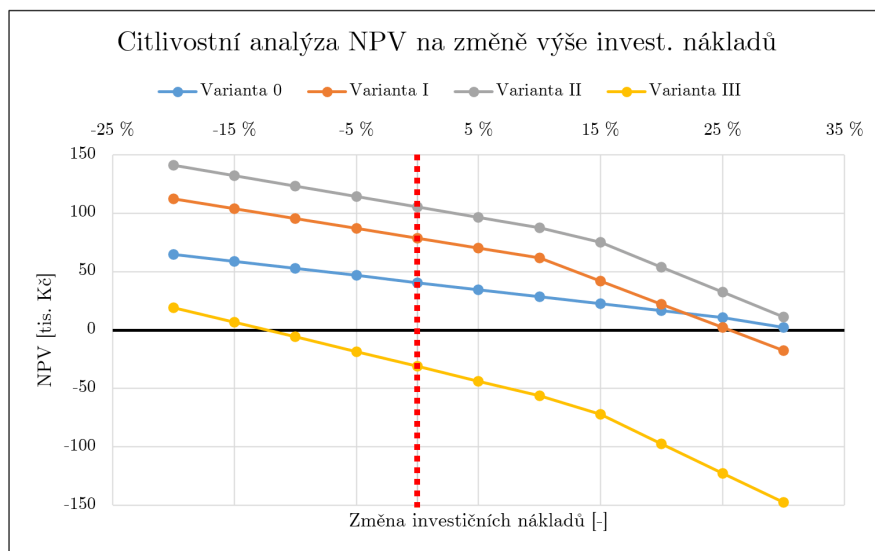
Příloha K - Citlivostní analýzy



Příloha K - Citlivostní analýzy



Příloha K - Citlivostní analýzy



Změna výše dotace na jednotlivá opatření [-]	Varianta 0				
	NPV [tis. Kč]				
	Max. výše dotace [-]				
	50%	55%	60%	65%	70%
-20%	41	44	44	44	44
-15%	41	52	52	52	52
-10%	41	53	59	59	59
-5%	41	53	65	67	67
0%	41	53	65	75	75
5%	41	53	65	77	83
10%	41	53	65	77	89
15%	41	53	65	77	89
20%	41	53	65	77	89

Změna výše dotace na jednotlivá opatření [-]	Varianta I				
	NPV [tis. Kč]				
	Max. výše dotace [-]				
	50%	55%	60%	65%	70%
-20%	52	52	52	52	52
-15%	64	64	64	64	64
-10%	77	77	77	77	77
-5%	79	89	89	89	89
0%	79	101	102	102	102
5%	79	101	114	114	114
10%	79	101	124	127	127
15%	79	101	124	140	140
20%	79	101	124	147	152

Změna výše dotace na jednotlivá opatření [-]	Varianta II				
	NPV [tis. Kč]				
	Max. výše dotace [-]				
	50%	55%	60%	65%	70%
-20%	83	83	83	83	83
-15%	97	97	97	97	97
-10%	105	111	111	111	111
-5%	105	125	125	125	125
0%	105	130	140	140	140
5%	105	130	154	154	154
10%	105	130	155	168	168
15%	105	130	155	180	182
20%	105	130	155	180	196

Změna výše dotace na jednotlivá opatření [-]	Varianta III				
	NPV [tis. Kč]				
	Max. výše dotace [-]				
	50%	55%	60%	65%	70%
-20%	-54	-54	-54	-54	-54
-15%	-39	-39	-39	-39	-39
-10%	-31	-25	-25	-25	-25
-5%	-31	-11	-11	-11	-11
0%	-31	-6	3	3	3
5%	-31	-6	17	17	17
10%	-31	-6	19	31	31
15%	-31	-6	19	43	45
20%	-31	-6	19	43	59

Příloha L - Struktura přiloženého CD

Obsah adresářové struktury je následující:

- výpočty/
 - FVE_výpočty.xlsx - Soubor se všemi výpočty pro fotovoltaický systém, celkem obsahuje 13 listů (doporučený program: Microsoft Excel).
 - Ekonomický_model.xlsm - Soubor s ekonomickým modelem vč. citlivostních analýz, celkem obsahuje 7 listů (doporučený program: Microsoft Excel).
- záloha/
 - Ekonomický_model.xlsx - Jedná se o záložní soubor s výpočty k souboru "Ekonomický_model.xlsm" v případě, že není možné využít soubor s makry (doporučený program: Microsoft Excel).
- PENB/
 - Bazická_varianta_nastavený_profil.pdf - PENB pro bazickou variantu dle nastaveného profilu (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_0_nastavený_profil.pdf - PENB pro variantu 0 dle nastaveného profilu (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_I_nastavený_profil.pdf - PENB pro variantu I dle nastaveného profilu (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_II_nastavený_profil.pdf - PENB pro variantu II dle nastaveného profilu (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Bazická_varianta_vyhláška.pdf - PENB pro bazickou variantu dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_0_vyhláška.pdf - PENB pro variantu 0 dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_I_vyhláška.pdf - PENB pro variantu I dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
 - Varianta_II_vyhláška.pdf - PENB pro variantu II dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).
- Parcela/
 - Výkup_parcely.pdf - Výkup pozemkové parcely datovaný do roku 1923 (doporučený program: Adobe Acrobat Reader DC).