

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ



NÁVRH KONCEPCE
ÚSTŘEDNÍHO VYTÁPĚNÍ
RODINNÉHO DOMU PRO
POUŽITÍ HYBRIDNÍCH
FOTOVOLTAICKÝCH
KOLEKTORŮ VE SPOJENÍ
S TEPELNÝM ČERPADLEM

2020/21
ZDENĚK
PROKOPEC

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne

Podpis

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prokopec** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **459604**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Energetika a procesní inženýrství**
Specializace: **Energetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem

Název diplomové práce anglicky:

Design of the central heating for family house for heat pump and hybrid photovoltaic collectors utilisation

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte optimalizovanou soustavu ústředního vytápění rodinného domu pro použití tepelného čerpadla ve spojení s hybridními FV kolektory. Cílem návrhu je zajištění tepelné pohody ve vytápěných prostorech a maximální využití tepelné a elektrické energie generované hybridními fotovoltaickými kolektory. Součástí návrhu je stanovení investiční náročnosti projektu a doby návratnosti vložených investic.

Seznam doporučené literatury:

Fotovoltaika, budovy jako zdroj proudu, Haselhuhn R., HEL Ostrava, 2010
Firemní literatura výrobců tepelných čerpadel a hybridních fotovoltaických kolektorů

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Neužil, Ph.D., ústav energetiky FS

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

Datum zadání diplomové práce: **22.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.06.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2022**

Ing. Martin Neužil, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Zdeněk Prokopec
Název DP:	Návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem
Anglický název:	Design of the central heating for family house for heat pump and hybrid photovoltaic collectors utilisation
Akademický rok:	2020/2021
Ústav/Odbor:	Ústav Energetiky/ Energetika a procesní inženýrství
Vedoucí DP:	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 100 Počet obrázků: 57 Počet tabulek: 24 Počet příloh: 12
Klíčová slova:	Vytápění, hybridní fotovoltaický kolektor, tepelné čerpadlo, koncepce, energie, elektřina, teplo
Keywords:	Heating, hybrid photovoltaic collectors, heat pump, utilization, energy, electricity
Anotace:	Diplomová práce obsahuje návrh koncepce ústředního vytápění rodinného domu pro použití hybridních fotovoltaických kolektorů ve spojení s tepelným čerpadlem. Práce dále obsahuje popis návrhu koncepce ústředního vytápění a možné aplikace moderních technologií, FVT kolektorů a tepelného čerpadla za účelem snížení spotřeby tepelné a elektrické energie. V závěru práce řeší ekonomické hodnocení celé výstavby včetně dodávky elektrické energie.
Annotation:	The diploma thesis contains a proposal for the concept of central heating of a family house for the use of hybrid photovoltaic collectors in conjunction with a heat pump. The thesis also contains a description of the design of the central heating concept and possible applications of modern technologies, PVT collectors and heat pump in order to reduce the consumption of heat and electricity. At the end of the thesis, it deals with the economic evaluation of the entire construction, including the supply of electricity.

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi při vytváření této práce pomáhali. Děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Neužilovi, PhD. za věnovaný čas a věcné připomínky. Děkuji všem členům rodiny za podporu při studiu a děkuji hlavně všem přátelům a spolužákům za motivaci, rady a skvělé vzpomínky, na které budu vždy rád vzpomínat.

Obsah

1	Úvod	10
2	Stav problematiky	11
2.1	Kapalinové fotovoltaicko-tepelné kolektory (FVT)	11
2.1.1	Zasklené FVT kolektory	12
2.1.2	Nezasklené FVT kolektory	12
2.1.3	Modelování FVT kolektoru	13
2.1.4	Příklady a porovnání aplikací obsahující FVT kolektory	13
2.1.5	Trh s FVT kolektory	14
2.1.6	Přehled kapalinových FVT kolektorů	15
2.2	Tepelné čerpadlo (vzduch-voda)	16
2.2.1	Princip funkce tepelného čerpadla	16
2.2.2	Prvky tepelného čerpadla	18
3	Analýza solární soustavy s tepelným čerpadlem	19
3.1	Projekt MacSheep	19
3.1.1	Analýza přínosů projektu MacSheep	19
3.1.2	Vyhodnocení cílů projektu MacSheep	20
3.2	Case-study Newcastle University	20
3.2.1	Analýza instalace FVT kolektorů na Newcastle University	20
4	Modelový dům	22
4.1	Vstupní údaje	22
4.1.1	Původ a druh vstupních údajů	22
4.1.2	Výkresová dokumentace	23
5	Postup návrhu koncepce a výpočtová část	24
5.1	Klimatické podmínky	24
5.2	Měsíční a hodinový úhrn slunečního svitu a sluneční radiace	25
5.2.1	Volba softwaru pro získání dat	25
5.3	Výpočet potřeby tepla pro pokrytí tepelné ztráty objektu	27
5.3.1	Volba softwaru pro výpočet tepelné ztráty	27
5.4	Výpočet spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody	28
5.4.1	Postup výpočtu potřeby tepelné energie na vytápění	29
5.4.2	Postup výpočtu spotřeby tepelné energie na ohřev teplé vody	29
5.4.3	Denní a roční průběh spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV	30
5.4.4	Sluneční pasivní zisky	35
5.5	Spotřeba běžné elektrické energie a osvětlení	36
5.5.1	Osvětlení a běžná spotřeba elektrické energie pro spotřebiče	36
5.5.2	Denní profil průměrné spotřeby elektřiny modelového domu	37
5.6	Postup při návrhu fotovoltaicko-tepelných FVT kolektorů	37
5.6.1	Účinnost FVT kolektoru	37
5.6.2	Teoretický využitelný zisk	39
5.6.3	Velikost FVT kolektoru	40
5.6.4	Parametry kapalinového FVT kolektoru	40
5.6.5	Bilanční analýza FVT kolektoru pro modelový dům	41
5.6.6	Denní (hodinová) bilance produkce tepelné energie na ohřev TV a elektrické energie	46
5.6.7	Nakládání s přebytky tepelné a elektrické energie	47
5.6.8	Výpočet velikosti akumulčního zásobníku	48
5.6.9	Volba velikosti bateriového uložení	50

5.6.10	Rozhraní výpočtového modelu pro bilanci FVT kolektoru	53
5.6.11	Vyhodnocení	53
5.7	Postup při návrhu tepelného čerpadla (vzduch-voda)	55
5.7.1	Podmínky provozu	55
5.7.2	Dimenzování výkonu tepelného čerpadla	55
5.7.3	Určení bodu bivalence	55
5.7.4	Technické údaje	57
5.7.5	Dimenzování bivalentního zdroje	58
5.7.6	Výpočet velikosti objemu akumulčního zásobníku	58
5.7.7	Doba potřebná pro nabití akumulční nádrže	59
5.7.8	Doba využití instalovaného tepelného výkonu	59
5.7.9	Hmotnostní průtok, teplotní spád	59
5.7.10	Bilance provozu tepelného čerpadla	61
5.7.11	Vyhodnocení	62
6	Praktická část	63
6.1	Schéma optimalizovaného systému	63
6.1.1	Volba programu pro vytvoření schématu	63
6.1.2	Schéma koncepce návrhu	63
6.2	Umístění zařízení v technické místnosti	64
6.2.1	Návrh umístění technologie v technické místnosti	64
6.3	Návrh ústředního vytápění	65
6.3.1	Tabulka přepočtu výkonů dle typu místnosti	65
7	Ekonomické a provozní zhodnocení	66
7.1	Investiční náklady na jednotlivá opatření	67
7.2	Výpočet ceny za elektřinu	68
7.2.1	Vstupní parametry pro výpočet ceny za elektřinu	68
7.2.2	Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Neregulovaná složka ceny	68
7.2.3	Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Regulovaná složka ceny	69
7.2.4	Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Ostatní poplatky	69
7.3	Energetická bilance jednotlivých variant	72
7.3.1	Provozní náklady	72
7.3.2	Vyhodnocení provozních nákladů	74
7.4	Prostá doba návratnosti T_s	74
7.5	Diskontovaná doba návratnosti T_{sd}	75
7.6	Čistá současná hodnota NPV	75
7.7	Citlivostní analýza	76
7.7.1	Vliv dotační podpory	76
7.7.2	Vliv růstu ceny elektrické energie	77
7.7.3	Vliv klimatických podmínek na produkci tepelné a elektrické energie z FVT kolektoru	77
8	Závěr	79
	Seznam tabulek	80
	Seznam obrázků	80
	Zdroje	83
	Přílohy	88

PŘEHLED POUŽITÝCH VELIČIN

a_1	lineární součinitel tepelné ztráty FVT kolektoru	$[W/m^2K]$
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty FVT kolektoru	$[W/m^2K]$
A_{FVT}	celková činná plocha všech FVT panelů	$[m^2]$
A_K	plocha apertury FVT kolektoru	$[m^2]$
c_p	měrná tepelná kapacita	$[kJ/kgK]$
$D^\circ(t_{is})$	počet denostupňů pro průměrnou vnitřní teplotu	$[^\circ C]$
E_{PV}	teoretický využitelný zisk (produkce el. energie)	$[kWh]$
f_{perf}	druh integrace	$[-]$
h	entalpie	$[J/kg^{-1}]$
$H_{mo/mú}$	měsíční úhrn slunečního svitu	$[kWh/m^2]$
H_T	měsíční úhrn slunečního záření	$[kWh/m^2]$
K_{pk}	součinitel špičkového výkonu	$[kW/m^2]$
\dot{m}	hmotnostní průtok kapaliny	$[kg/s]$
n_{50}	doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa	$[h^{-1}]$
P_i	vnitřní příkon kompresoru	$[W]$
P_{ie}	příkon kompresoru	$[W]$
p_k	kondenzační tlak	$[Pa]$
$Q_{k,u}$	teoretický využitelný zisk (produkce tep. energie)	$[kWh]$
Q_k	výkon kondenzátoru	$[W]$
q_o	odvedené teplo	$[J/kg]$
q_p	přivedené teplo	$[J/kg]$
$Q_{T\check{c}}$	topný výkon tepelného čerpadla	$[W]$
$Q_{TV,d}$	denní spotřeba tepla na ohřev TV	$[Wh]$
$Q_{TV,d}$	hodinová spotřeba tepla na ohřev TV	$[Wh]$
$Q_{TV,r}$	roční spotřeba tepla na ohřev TV	$[Wh]$
Q_v	výkon výparníku	$[W]$
$Q_{vyt,T\check{c}}$	dostupný špičkový výkon pro bivalentní bod (A-5/W35)	$[W]$
\dot{Q}_e	teoretický využitelný zisk (špičkový výkon)	$[W]$
Φ_{cm}	výsledná tepelná ztráta	$[W]$
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky	$[W]$
Φ_{HLm}	celkový navrhovaný tepelný výkon místnosti	$[W]$
Φ_{Tm}	návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	$[W]$
Φ_{Vm}	tepelná ztráta místnosti větráním	$[W]$
R_n	vnitřní tepelný odpor	$[m^2K/W]$
R_{se}	vnitřní tepelný odpor při prostupu tepla (external),	$[m^2K/W]$
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při prostupu tepla (internal)	$[m^2K/W]$
S_n	tloušťka	$[m]$
t_e	teplota okolního vzduchu	$[^\circ C]$
t_m	průměrná teplota média cirkulujícího v FVT kolektoru	$[^\circ C]$
t_{sv}	teplota studené vody	$[^\circ C]$

t_{SVL}	teplota studené vody v létě (15°C)	$[^{\circ}\text{C}]$
t_{SVZ}	teplota studené vody v létě ($5\text{-}10^{\circ}\text{C}$)	$[^{\circ}\text{C}]$
t_{TV}	teplota teplé vody	$[^{\circ}\text{C}]$
t_i	vnitřní výpočtová teplota	$[^{\circ}\text{C}]$
V_{2p}	celková potřeba teplé vody na osobu	$[\text{m}^3/\text{osoba. den}]$
$V_{Z,N}$	objem navrženého akumulčního zásobníku	$[\text{m}^3]$
$V_{\text{zásobníku}}$	objem zásobníku	$[\text{l}]$
X_p	spínací diference	$[\text{K}]$
η_{el}	účinnost elektrická	$[\%]$
η_K	termická účinnost FVT kolektoru	$[\%]$
η_m	účinnost mechanická	$[\%]$
η_o	účinnost kolektoru při nulových tep. ztrátách	$[\%]$
η_s	účinnost soustrojí	$[\%]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti	$[\text{W}/\text{mK}]$
ρ_x	korekční součinitel $\rho = 0,6$	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
τ	doba využití	$[\text{h}]$
Δt	ohřev zásobníku 3–5 K nad požadovanou teplotu	$[\text{K}]$
$\Delta\tau$	minimální doba chodu	$[\text{min}]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$
COP	topný faktor	$[-]$
EER	chladicí faktor	$[-]$
f	roční solární pokrytí	$[-]$
G	sluneční ozáření na plochu FVT kolektoru	$[\text{W}/\text{m}^2]$
H_T	měsíční úhrn slunečního svitu	$[\text{Wh}/\text{m}^2]$
P	počet osob čijících v objektu	$[-]$
Q_{cm}	tepelná ztráta objektu (nebo ϕ_{cm})	$[\text{W}]$
Q_{TV}	spotřeba tepelné energie na ohřev TV	$[\text{Wh}]$
$Q_{\text{vytápění}}$	spotřeba tepelné energie na vytápění	$[\text{Wh}]$
U	součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí	$[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$
y	korekční faktor	$[-]$
β	teplotní koeficient výkonu	$[1/\text{K}]$
ε	opravný součinitel reflektující způsob provozu	$[-]$
η	účinnost	$[\%]$
ρ	hustota	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
$A_{ok,p}$	plocha průsvitné části okna	$[\text{m}^2]$
A_o	plocha okna	$[\text{m}^2]$
A_n	plocha neprůsvitné části okna	$[\text{m}^2]$
T	celková propustnost slunečního záření okna	$[-]$
T_1	propustnost čirého skla	$[-]$
T_2	propustnost dle typu okna	$[-]$
T_3	hodnota stínícího součinitele $T_3 \sim 0,9$	$[-]$
c_m	činitel využití slunečního záření, dle typu azimutu a období	$[-]$

c_n	činitel korigující skutečnost, že dopad slunečního záření paprsků není kolmý (0,9)	[–]
C_{VT}	cena za dodávku elektřiny VT	[Kč/r]
C_{VT}	cena za dodávku elektřiny NT	[Kč/r]
S_{VT}	spotřeba elektrické energie VT	[kWh/r]
S_{VT}	spotřeba elektrické energie NT	[kWh/r]
C_{DEnr}	cena za dodávku elektřiny VT – dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]
C_{DEnr}	cena za dodávku elektřiny NT – dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]
C_{SP}	cena za dodávku elektřiny VT	[Kč/r]
$C_{SP\text{dodavatel}}$	cena za dodávku elektřiny NT	[Kč/r]
N	počet měsíců v kalendářním roce (12)	[–]
$C_{JISTIČ}$	podle jističe (3x25 a)	[Kč/r]
$C_{SPOTŘEBA}$	cena podle spotřeby	[Kč/A. f]
$C_{ČEPS}$	systémové služby (ČEPS)	[Kč/r]
C_{SPRK}	stálá platba za rezervovanou kapacitu	[Kč/r]

1 Úvod

Česká republika jako člen Evropské unie se v rámci Pařížské dohody přihlásila společně s ostatními členskými státy EU ke snížení emisí skleníkových plynů do roku 2030, a to nejméně o 40 % ve srovnání s rokem 1990. Jeden z dalších dílčích cílů Evropské unie je dosáhnout do roku 2050 uhlíkové neutrality. To umožní Evropské unii přejít na klimaticky neutrální ekonomiku a plnit tak závazky podle Pařížské dohody [19][20]. K obdobnému snižování se dobrovolně zavazuje stále více obcí a měst v rámci evropské iniciativy Paktu starostů a primátorů. Jedná se o dobrovolné zavázání se ke zvýšení energetické účinnosti a používání obnovitelných zdrojů energie na území, jež spravují. V případě světového srovnání spotřebovávají budovy okolo 30 % neobnovitelné primární energie, což odpovídá 28 % skleníkových plynů [21]. Efektivní využívání obnovitelných zdrojů energie a celkové zvyšování energetické účinnosti je podstatný faktor při boji s klimatickou změnou.

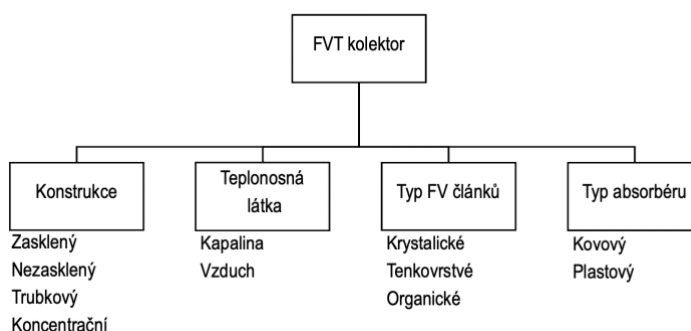
Tato diplomová práce se zabývá kombinací tepelného čerpadla a hybridního fotovoltaicko-tepelného kolektoru, který díky současné produkci tepelné a elektrické energie výrazně zvyšuje využití dopadající sluneční energie na zemský povrch. Tepelné čerpadlo (vzduch-voda) využívá nízkopotencionálního tepla ve formě energie, která je následně přeměněna na vyšší teplotní úroveň a dále využívána pro topné účely. Dané technologie jsou použity za účelem snížení energetické náročnosti rodinného domu a tvoří tak nedílnou součást návrhu koncepce ústředního vytápění rodinného domu.

Na trhu je řada kapalinových FVT kolektorů. Kapalinové FVT kolektory existují v nezasklené (nízkoteplotní) a zasklené (vysokoteplotní) variantě. Nezasklená varianta FVT kolektoru je vhodná pro aplikace s prioritou produkce elektrické energie, kde druhotné nízkopotencionální teplo je bráno jako hodnota přidaná. Tento typ FVT kolektoru je vhodný pro oblasti vysokých úhrnů slunečního záření. Zasklený kapalinový FVT kolektor je výhodný z důvodu možného provozu při vyšších teplotách, které jsou dostačující zejména pro přípravu teplé vody (dále jen TV). Příprava teplé vody solárním systémem patří mezi nejrozšířenější aplikaci solárních tepelných kolektorů. [22]

Ve své diplomové práci představuji kombinaci zvolených technologií za účelem snížení spotřeby elektrické a tepelné energie modelového objektu. Koncepce návrhu systému je navržena tak, aby pro klimatické podmínky České republiky byla smysluplná. V koncepci ústředního vytápění pro využití těchto technologií se mimo jiné věnuji i rentabilitě celého systému a analýze z hlediska dosažitelných energetických úspor. Celá koncepce je aplikována na modelový dům pro zvolenou lokaci, kterou je Ústí nad Labem. Modelový rodinný dům (dřevostavba) je v současné době zároveň ekonomicky nenáročným a časově rychlým řešením z hlediska její výstavby.

2 Stav problematiky

FVT kolektory a jejich první aplikace v oblasti vědy se objevily již v 70. letech 20. století. Od první zmínky o FVT kolektorech je výzkum stále aktuální a FVT kolektory jsou předmětem vývoje v mnoho výzkumných institucích nejen na území Evropy. O aktuálním vývoji utvrzuje projekt Mezinárodní energetické agentury spadající pod program mezinárodní spolupráce SHC (Solar Heating and Cooling). Jedná se o projekt, který se do hloubky věnuje problematice v oblasti FVT kolektorů a spolupracuje na něm několik výzkumných center a univerzit [26]. FVT kolektory jsou na trhu v mnoha konfiguracích. Fotovoltaicko-tepelný kolektor lze rozdělit dle typu konstrukce, dle typu teplotnosné látky, dle typu fotovoltaického článku a dle typu absorbéru. V mé diplomové práci se věnuji převážně kapalinovým FVT kolektorům, které jsou v současné době popisovány v několika publikacích věnujících se FVT kolektorům a které jsou často citované v rešerších výzkumu od prof. Chowa [43], prof. Zondaga [1] či prof. Asteho [44]. Typické rozdělení členění FVT kolektorů (viz Obrázek 1).



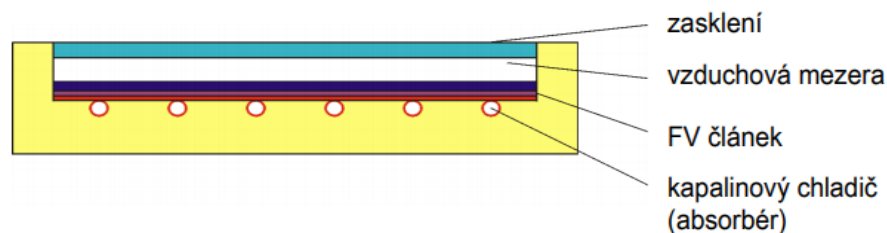
Obrázek 1 Obecné rozdělení fotovoltaicko-tepelných kolektorů [24]

2.1 Kapalinové fotovoltaicko-tepelné kolektory (FVT)

Kapalinové hybridní fotovoltaicko-tepelné (FVT) kolektory produkují jak tepelnou, tak elektrickou energii z jedné plochy. Vysoké využití a vysoký potenciál má technologie FVT kolektorů právě díky lepšímu využití tepla v aplikacích spojených s tepelnými čerpadly, bazény aj. Určité omezení technologie FVT kolektorů však přichází v případech zasklené varianty FVT kolektorů, a to při teplotách nad 80 °C, kdy se běžně používaná EVA laminace fotovoltaických modulů, která se při překročení dané teplotní hranice rozkládá na acetáty, hrozí tak degradace kontaktů korozí [1] a dlouhodobě není tato laminace schopna odolávat oblastem vysokých teplot (150–160 °C). V případě nezasklených FVT kolektorů, kdy účinnost je výrazně závislá na okolních podmínkách (teplota, zastínění, aj.) jsme limitováni pouze na nízkoteplotní aplikace, mezi které patří přehřev vody.

2.1.1 Zasklené FVT kolektory

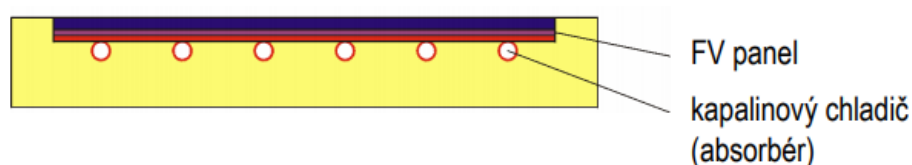
Mezi první druh FVT kolektoru patří zasklené kolektory, které mají nižší tepelné ztráty a vyšší tepelnou účinnost než kolektory bez zasklení. Zasklení také poskytuje další možnosti, jako zvýšení teplotní úrovně a následné použití například pro ohřev teplé vody. U těchto druhů FVT kolektorů je nutná speciální laminace (silikonové gely), jak uvádí Dupeyrat, P [5]. Zde je prioritou především produkce tepla. S tímto je spojena nižší produkce elektrické energie a vyšší provozní teploty. Mezi příklad zaskleného kapalinových FVT kolektorů patří například výrobce Solimpeks Powertherm. Struktura zakleného kolektoru je znázorněna níže (viz Obrázek 2).



Obrázek 2 zasklený kolektor [7]

2.1.2 Nezasklené FVT kolektory

Nezasklený FVT kolektor a jeho hlavní rozdíl oproti zasklenému typu je v absence ochranného zasklení, což způsobuje tvorbu vzduchové mezery mezi laminací fotovoltaických článků a chybějícím sklem. Dochází tak k velkým tepelným ztrátám. Ztráty lze redukovat tepelnou izolací na zadní straně kolektoru, nebo zakomponováním kolektoru do obálky budovy. Vzhledem k vysokým tepelným ztrátám je primární funkcí tohoto typu kolektoru výroba elektrické energie. Nezasklený FVT kolektor samozřejmě produkuje i nízkopotencionální teplo, které může sloužit k předehřevu studené vody, plnění funkce ohřevu bazénu, nebo případné využití tepla v primárním okruhu tepelných čerpadel, jak uvádí Matuška [6]. Nezasklené kapalinové FVT kolektory nejvíce používáme pro primární okruhy tepelných čerpadel (0 – 10 °C), předehřev studené vody (10 – 20 °C celoročně), nebo ohřev bazénové vody (25 – 30 °C). Mezi příklady typů nezasklených kapalinových FVT kolektorů patří: DualSun Spring 375 Shingle Black, Anaf Solar H-NRG, CGA Technologies Hybrid, Meyer Burger Hybrid, Wiosun PV-Therm, NTD Limited Solar Angel nebo Solimpeks Volther PowerVolt. Struktura nezakleného kolektoru je znázorněna níže (viz Obrázek 3).



Obrázek 3 FVT nezasklený kolektor [7]

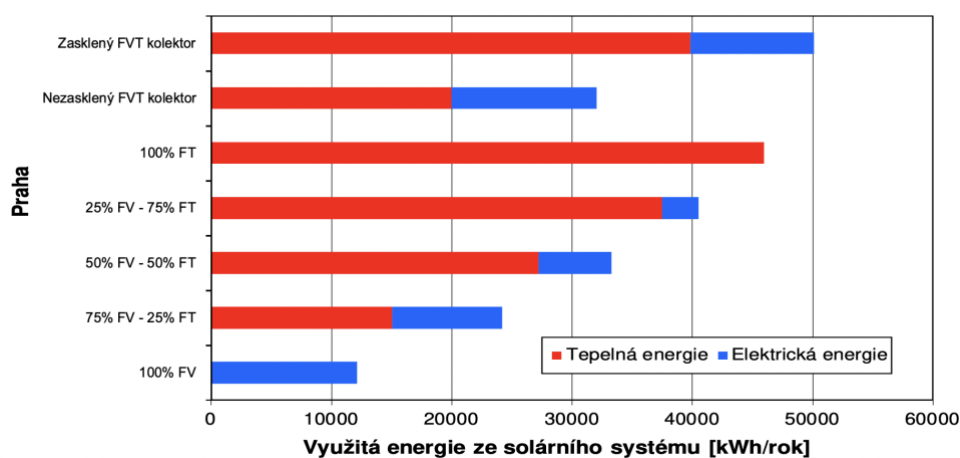
2.1.3 Modelování FVT kolektoru

Provozní chování zaskleného kolektoru a jeho modelování je možné uskutečnit dle detailního matematického nebo parametrického modelu, který blíže popisuje Nikola Pokorný [24] ve své disertační práci. Jeden z prvních matematických modelů FVT kolektoru byl totiž publikován již v 70. letech minulého století a jednalo se o model podle Florschuetze [23]. Tento model vycházel z popisu solárního tepelného kolektoru dle Hottella a Whiliera [25] a původní Florschuetzův model byl rozšířen o produkci elektrické energie. Existuje několik dynamických modelů pro model FVT kolektoru, které pracují na principu Florschuetze nebo Hottella a Whiliera, ale není zde však zohledňována tepelná setrvačnost kolektoru, kterou lze výpočet zpřesnit. Je nutné zmínit, že dosud nebyl ve vědeckých publikacích detailní matematický model FVT kolektoru rozšířený právě o tepelnou setrvačnost kolektoru dle Nikoly Pokorného publikován. Pro detailní simulační prostředí lze využít prostředí TRNSYS, kde simulace zaskleného kapalinového FVT kolektoru lze provést.

Další možnost, jak modelovat FVT kolektor je pomocí parametrického modelu, který pracuje na principu uvedených výpočtových principů dle norem ČSN ISO 9806 [27], TNI 73 0302 [42] pro termickou část FVT kolektoru a ČSN EN 14316-4-3 pro bilanci fotovoltaické části FVT kolektoru [47]. Tuto metodu jsem aplikoval při bilancování výpočtového modelu ve své diplomové práci. Metoda však není vhodná pro optimalizaci zabývající se konstrukcí kolektoru. Model je vhodný zejména pro optimalizaci systému, jehož prvky jsou již volně k dispozici na trhu. Dále lze využít v simulačním prostředí type 203 [28], který pracuje s nezaskleným FVT kolektorem jako dvě odlišná zařízení. Pro fotovoltaický panel a termický kolektor jsou vstupní data implementována zvlášť.

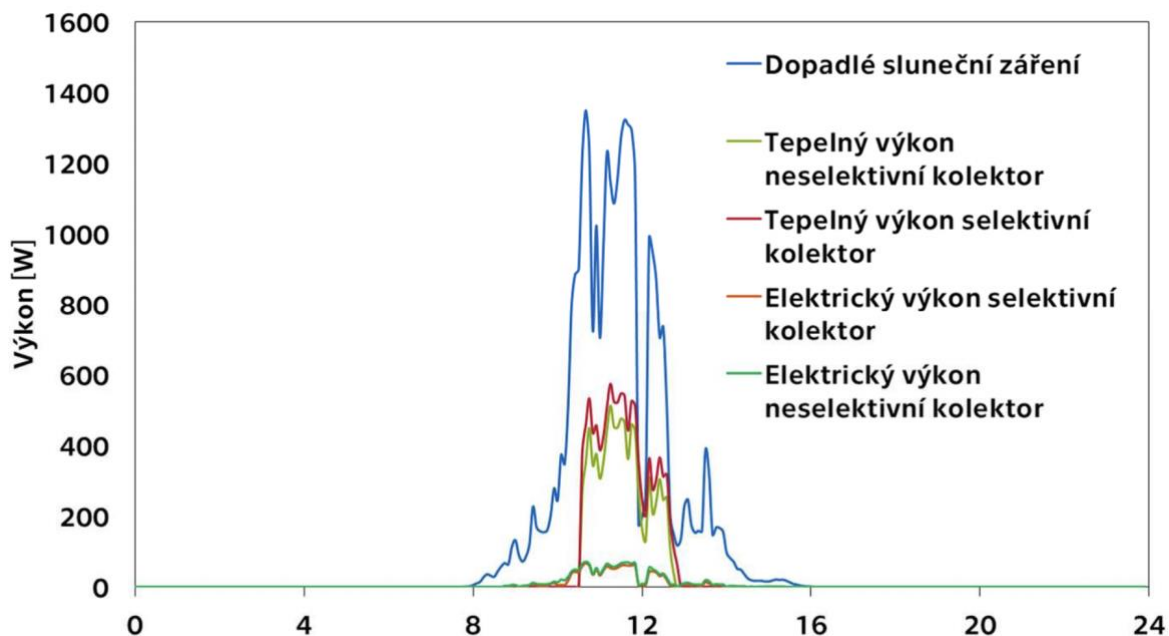
2.1.4 Příklady a porovnání aplikací obsahující FVT kolektory

Níže (viz Obrázek 4) je vidět porovnání aplikace a využití energie ze solárního systému dle jeho typu, a jak blíže uvádí [7], tak je názorně vidět, jakým způsobem ovlivňuje zasklení produkci energie. Zasklení kolektoru snižuje jeho elektrickou produkci. Naopak při aplikaci nezaskleného FVT kolektoru sledujeme zvýšení elektrické účinnosti na úkor menší produkce tepelné energie.



Obrázek 4 Porovnání systémů FV, FT, FVT [7]

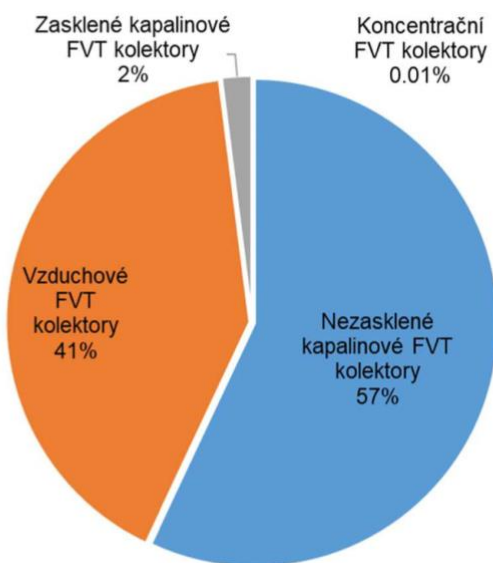
Níže (viz Obrázek 5) dle [7] je znázorněné využití dopadajícího slunečního záření a jeho následné využití k produkci tepelné a elektrické energie. Jedná se o denní bilanci FVT kolektoru aplikovaného do obvodového pláště budovy. Modrá křivka popisuje dopadlé sluneční záření [W], křivky červeně a zeleně zbarvené popisují tepelný výkon a zbylé dvě křivky naznačují produkci elektrické energie.



Obrázek 5 Příklad denní bilance FVT kolektoru [7]

2.1.5 Trh s FVT kolektory

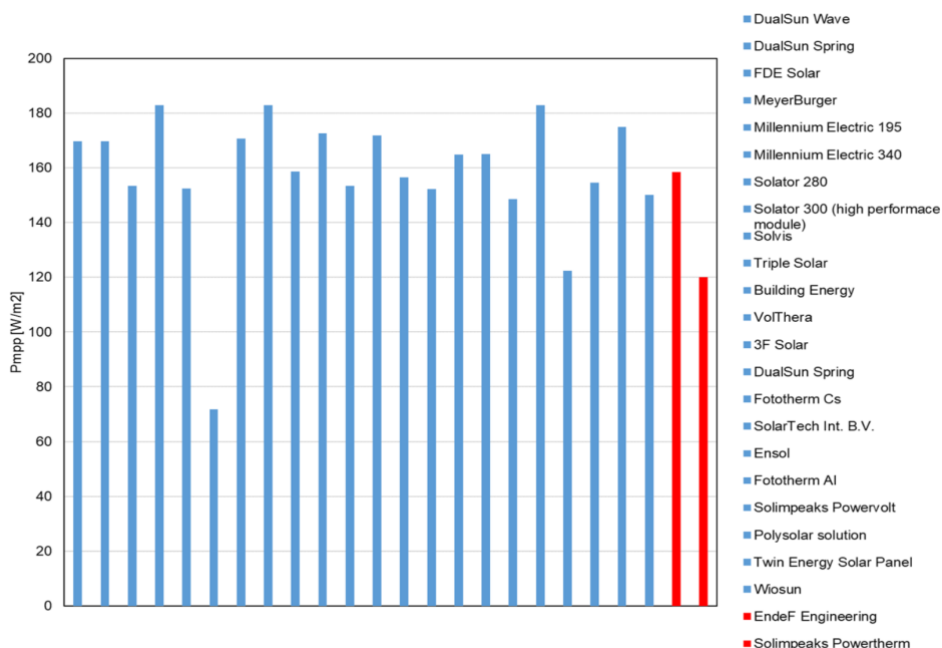
V této podkapitole se věnuji krátkému přehledu podílu FVT kolektorů na trhu. V roce 2017 byla zveřejněna rešerše zaměřena na stav trhu (kapalinové, vzduchové i koncentrační FVT kolektory) a bylo evidováno 53 druhů FVT kolektorů, přičemž 38 druhů byly nezasklené FVT kolektory [29].



Obrázek 6 Podíl jednotlivých typů FVT kolektorů z celkové instalované plochy kolektorů na světě [24]

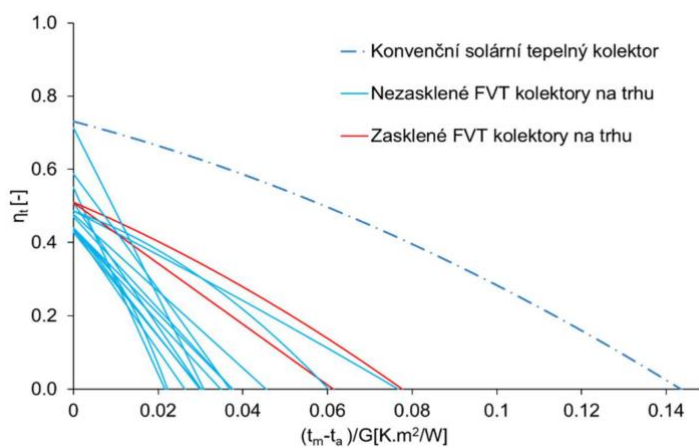
2.1.6 Přehled kapalinových FVT kolektorů

Jak bylo zmíněno v kapitole o nezasklených FVT kolektorech, tak právě díky vyšší produkci elektrické energie jsou tyto FVT kolektory značně populární i v našich klimatických podmínkách Evropy. Objevují se tedy aplikace nezasklených FVT kolektorů v kombinaci s tepelným čerpadlem. Nezasklený FVT kolektor je totiž instalován zejména u nízkoteplotních aplikací. Celkové srovnání elektrického výkonu a termické účinnosti lze vidět níže dle Pokorného [24] (viz Obrázek 7).



Obrázek 7 Porovnání špičkového elektrického výkonu FVT kolektoru na současném trhu (modrá nezasklené FVT, červená zasklené FVT) [24]

Dalším přehledným a názorným grafem je křivka tepelné účinnosti η [%] fotovoltaicko-tepelného kolektoru, která je závislá na střední teplotě okolního vzduchu t_e [°C], střední teplotě kapaliny v kolektoru t_m [°C] a v neposlední řadě na hodnotě slunečního ozáření G [W/m²]. Průběh tepelné účinnosti je znázorněn níže, (viz Obrázek 8).



Obrázek 8 Tepelná účinnost FVT kolektorů dle zasklení ve srovnání s klasickým termickým kolektorem [24]

2.2 Tepelné čerpadlo (vzduch-voda)

Tepelné čerpadlo a základní princip jeho funkce spočívá v přečerpávání teplotní hladiny ze zdroje nízko potenční energie na vyšší úroveň. Zdrojem energie může být energie ze země, vody, vzduchu, nebo lze případně využívat i odpadního tepla.

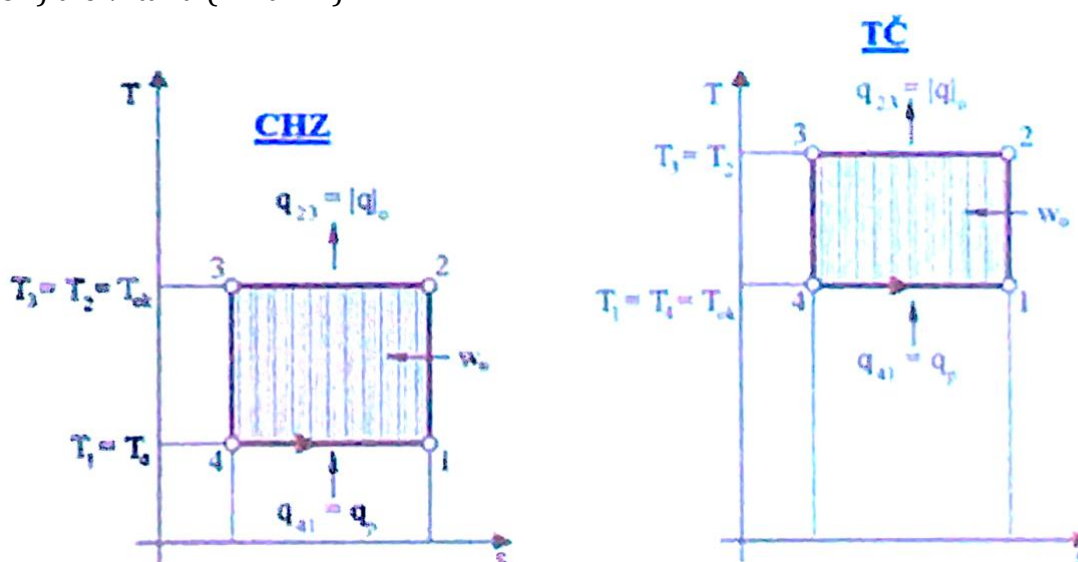
Základním principem je využívání vlastností chladiva, které je základním funkčním prvkem okruhu tepelného čerpadla a využívá se opakovaného stlačování a expanze v primárním okruhu. Principem je vypařování chladiva, mezi které patří chlorofluorované uhlovodíky HCFC (R21, R141b), HFC (R32, R410a), tvrdé freony CFC (R11, R12, R113 aj.), nebo přírodní uhlovodíky (čpavek, propan) [35]. Tato chladiva se vyznačují nízkou teplotou vypařování, kdy za nízkých teplot přecházejí do plynného stavu. Zmíněný princip a popis odpovídá teorii na bázi parních levotočivých oběhů a podle II. Zákona termodynamiky dle [36] (růst entropie, nevratnost tepelných pochodů), kdy „tepelná energie nemůže samovolně přecházet z prostředí o nižší teplotě do prostředí o teplotě vyšší“.

Tepelné čerpadlo je možné využít i jako stroj pro případné chlazení, kdy využíváme převážně chladicího jevu. Základní pochopení principu tepelného čerpadla lze znázornit na levotočivých obězích, které jsou blíže popsány v následujících podkapitolách.

2.2.1 Princip funkce tepelného čerpadla

2.2.1.1 Levotočivý Carnotův oběh

Jak uvádí Kolovratník [37], tak lze levotočivý Carnotův oběh znázornit pro chlazení a pro tepelné čerpadlo (viz Obrázek 9). Oběh lze popsat dle čtyř vratných změn po sobě následujících (komprese a expanze). Komprese je izotermická a adiabatická. Expanze je izotermická a adiabatická. Jelikož se jedná o levotočivé oběhy, tak neurčíme termickou účinnost jako u pravotočivých oběhů. Určíme tzv. chladicí faktor (EER) a topný faktor (COP) dle vztahů (2.1 a 2.2).



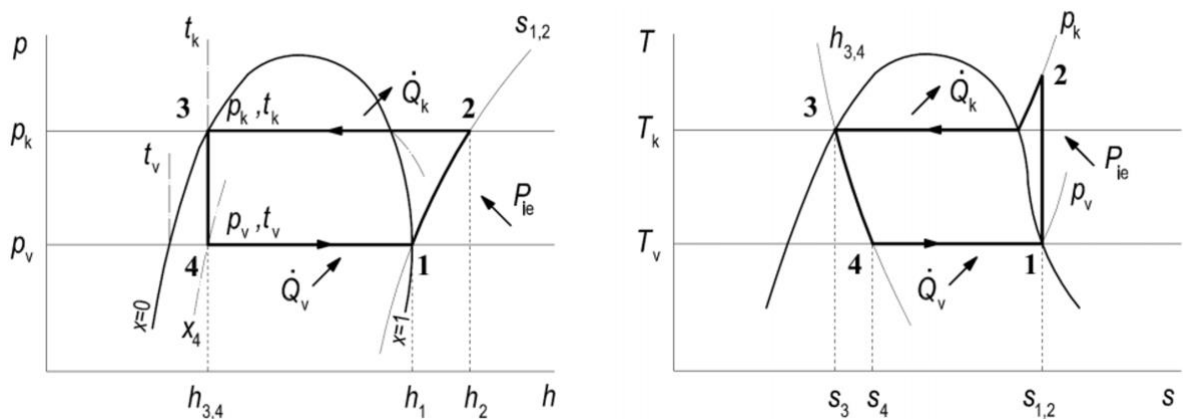
Obrázek 9 Levotočivý Carnotův oběh [37]

$$EER = \frac{q_p}{q_o - q_p} = \frac{q_{14}}{q_{23} - q_{14}} = \frac{T_1}{T_3 - T_1} \quad [-] \quad (2.1)$$

$$COP = \frac{q_o}{q_o - q_p} = \frac{q_{23}}{q_{23} - q_{14}} = \frac{T_3}{T_3 - T_1} \quad [-] \quad (2.2)$$

2.2.1.2 Levotočivý Rankin-Clausiiův oběh

Jak uvádí Matuška [38, st. 13], tak levotočivý Rankin-Clausiiův oběh je nejrozšířenější oběh u tepelných čerpadel. Princip je následující: 4-1: izobarické vypařování na mez syté páry, 1-2: izoentropická komprese syté páry na přehřátou páru, 2-3: izobarické ochlazení přehřátých par na mez sytosti a následná kondenzace na mez syté kapaliny, 3-4: izoentropické škrcení na mokrou páru, přičemž dochází ke snížení tlaku škrcením za konstantní entalpie (adiabatické škrcení).

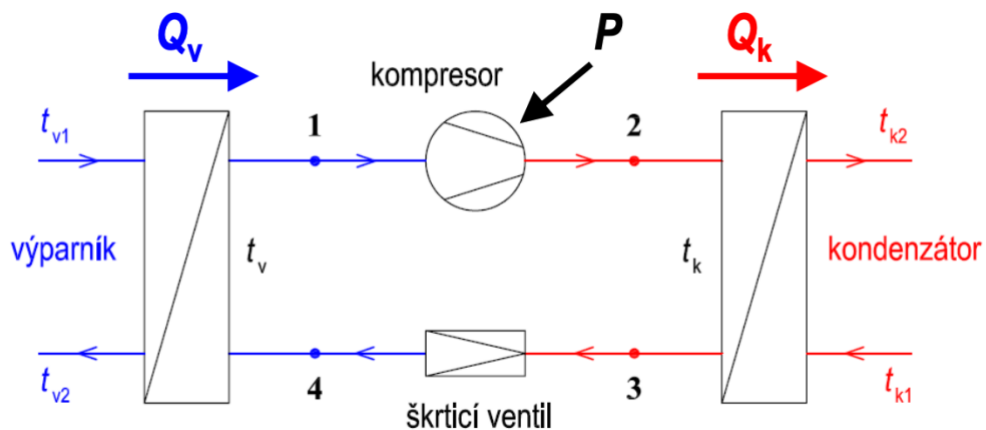


Obrázek 10 p-v a T-s diagram levotočivého RC oběhu (tepelné čerpadlo) [38]

$$EER = \frac{\dot{Q}_v}{P_{ie}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \left[\frac{kJ.kg^{-1}}{kJ.kg^{-1}} \right] \quad (2.3)$$

$$COP = \frac{Q_k}{P_{ie}} = \frac{h_2 - h_4}{h_2 - h_1} \left[\frac{kJ.kg^{-1}}{kJ.kg^{-1}} \right] \quad (2.4)$$

- 4-1: vypařování při nízkém vypařovacím tlaku $p[kPa]$ a teplotě $t_v < t_{v2}$, ochlazení
- 1-2: komprese na vyšší kondenzační tlak $p_k[MPa]$
- 2-3: ochlazení par a kondenzace při tlaku $p_k[MPa]$ a teplotě $t_k > t_{k2}$, odvod přecherpaného tepla z kondenzátoru, ohřev
- 3-4: škrtící ventil pro udržení rozdílu tlaků mezi výparníkem a kondenzátorem



Obrázek 11 Princip tepelného čerpadla s chladivem [38]

2.2.2 Prvky tepelného čerpadla

2.2.2.1 Kompresor

Kompresor má funkci nasávání přehřátých par jdoucích z výparníku. Požadavkem na kompresor při běžných provozních podmínkách, jak uvádí Matuška [38, st. 30], je typicky nízká hlučnost, dlouhodobá živostnost, minimální údržba či provozní spolehlivost. Provedení kompresoru může být buď oddělené nebo hermetické, kdy motor a kompresor jsou v hermeticky uzavřené tlakové nádobě. Elektrický příkon kompresoru lze vypočítat dle vztahu (2.5), kdy pro hermetické kompresory účinnost soustrojí $\eta_s = 1[\%]$, $\eta_p[\%]$ je účinnost převodu, $\eta_m[\%]$ je účinnost mechanická a $\eta_{el}[\%]$ je účinnost elektrická.

$$P_{el} = \frac{P_i}{\eta_s} = \frac{P_i}{\eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_{el}} = \frac{P_{ef}}{\eta_p \cdot \eta_{el}} \quad [W] \quad (2.5)$$

2.2.2.2 Výparník

Výparník odebírá teplo nízko potenciálnímu zdroji tepla (chladnému prostředí) pomocí vypařování chladiva za nízkého tlaku [kPa] při teplotě nižší, než je teplota okolí. Postup získání výkonu výparníku je znázorněn ve vztahu (2.6 a 2.7) dle [38].

$$\dot{Q}_v = U_v \cdot A \cdot \Delta t_v \quad [W] \quad (2.6)$$

$$\Delta t_v = \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}} \quad (2.7)$$

2.2.2.3 Kondenzátor

Kondenzátor představuje prvek tepelného čerpadla, kde předáváme teplo do teplosměnné látky (ohřívanému prostředí) kondenzací chladiva za vysokého tlaku [MPa] při vyšší teplotě, než je teplota okruhu topení. Postup získání výkonu výparníku je znázorněn ve vztahu (2.8 a 2.9) [38].

$$\dot{Q}_k = U_k \cdot A \cdot \Delta t_k \quad [W] \quad (2.8)$$

$$\Delta t_v = \frac{\Delta t'' - \Delta t'}{\ln \frac{\Delta t''}{\Delta t'}} \quad (2.9)$$

2.2.2.4 Expanzní (škrticí ventil)

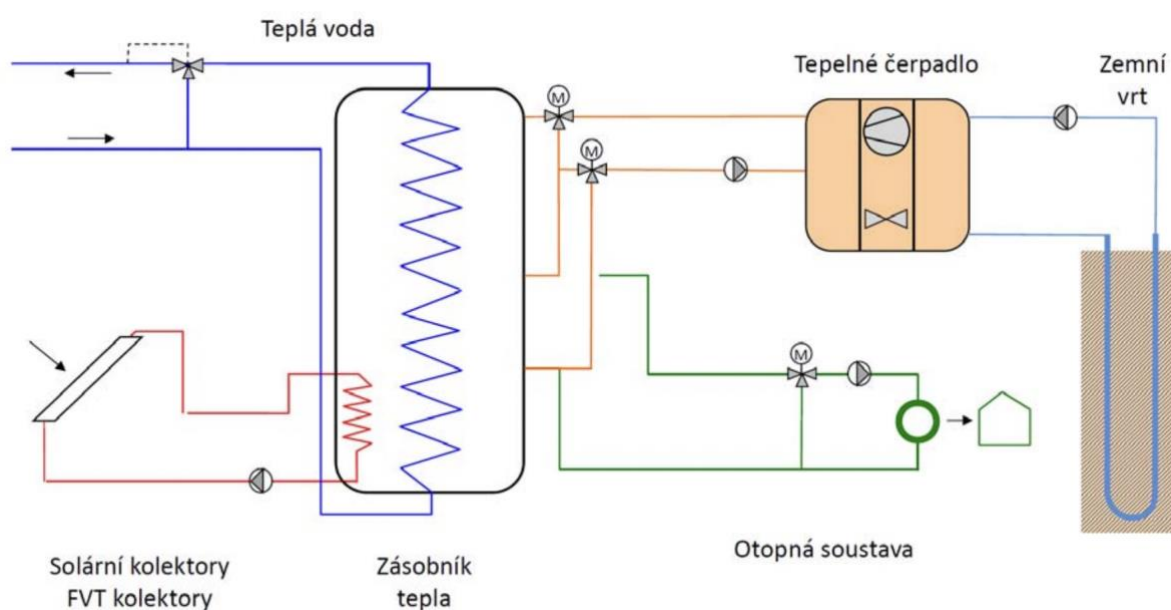
Expanzní ventil za konstantní entalpie udržuje tlakový rozdíl mezi nízkotlakou a vysokotlakou stranou oběhu, reguluje průtok chladiva a udržuje jeho dostatečné přehřátí za výparníkem o 4 až 8 K [38].

3 Analýza solární soustavy s tepelným čerpadlem

3.1 Projekt MacSheep

Možnosti, jak vylepšit efektivnost a výkonnost solárních soustav v kombinaci s tepelným čerpadlem bylo zkoumáno v rámci evropského projektu MacSheep (Švýcarsko) [3] [2], kdy hlavním cílem bylo vyvinout tepelnou soustavu, která je konkurenceschopná. Cílem byla soustava, která kombinuje solární kolektory a tepelné čerpadlo a je o 25 % z hlediska elektrické energie úspornější.

Myšlenkou bylo nahrazení konvenčních solárních tepelných kolektorů zasklenými FVT kolektory, které budou kromě tepla do zásobníku a odběru dodávat také elektřinu pro tepelné čerpadlo. Tento dopad kombinace FVT kolektorů s tepelným čerpadlem na snížení spotřeby elektrické energie byl zkoumán počítačovou simulací celé soustavy. [2]



Obrázek 12 Schéma solární referenční soustavy s tepelným čerpadlem projekt MacSheep [2].

Celý návrh byl proveden pomocí simulační analýzy na objektu T44138 jak uvádí R. Dott, M. Haller [4] a T. Matuška [2]. Budova má roční spotřebu tepla 60 kWh/m^2 a nachází se ve městě Zurich ve Švýcarsku. Roční odběr teplé vody v domě je 73 m^3 při $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro vytápění byla uvažována nízkoteplotní otopná soustava s teplotním spádem $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$. Vyhodnocovaná spotřeba elektrické energie zahrnovala elektřinu pro několik odběrů (tepelné čerpadlo, oběhová čerpadla a regulaci včetně penaltové spotřeby v případě, že by nebylo dodrženo tepelného komfortu z hlediska přípravy TV nebo vytápění) [2].

3.1.1 Analýza přínosů projektu MacSheep

Prvotním krokem bylo definování referenční varianty, která by reprezentovala stav trhu. Při analýze přínosu nových technologií a při kombinaci solární soustavy s tepelným čerpadlem byla definována soustava obsahující zásobník tepla o objemu 800 l , ploché solární kolektory o využitelné ploše 10 m^2 a tepelné čerpadlo země-voda se zemním vrtem hlubokým 75 m

(viz Obrázek 12). Zásobník tepla měl vestavěný vnitřní výměník pro přípravu TV a výměník solárního okruhu, který byl umístěn ve spodní části zásobníku tepla. Na monovalentní provoz bylo navrženo tepelné čerpadlo se jmenovitým tepelným výkonem 5 kW při (B0/W35) a celková spotřeba elektrické energie referenční solární soustavy s tepelným čerpadlem byla 2,63 MWh při sezónním topném faktoru 4.17 (v klimatu města Zurich) [2].

3.1.2 Vyhodnocení cílů projektu MacSheep

Projekt MacSheep srovnával několik variant soustav s využitím FVT kolektorů, jak píše [2] a došlo se k závěru, že celkových úspor 25 % nelze dosáhnout pouze aplikací FVT kolektorů. Bylo by totiž nutné provést nákladnou analýzu pro dokázání konkurenceschopnosti integrace FVT kolektorů do solární soustavy s tepelným čerpadlem. Uvedená analýza výkonnosti soustav byla provedena pro stanovení potenciálu FVT kolektorů a pro dosažení zadaných cílů ve zkoumané soustavě. Výsledky ukázaly, že zasklené FVT kolektory s nízkoemisním povlakem FV absorberu vzešly jako jediná možná cesta pro další vývoj. Prokázalo se také, že neselektivní FVT kolektory v solární soustavě kombinované s tepelným čerpadlem nepřinášejí značnou ani významnou výhodu ve srovnání s referenční soustavou s nebo bez fotovoltaických systémů [2].

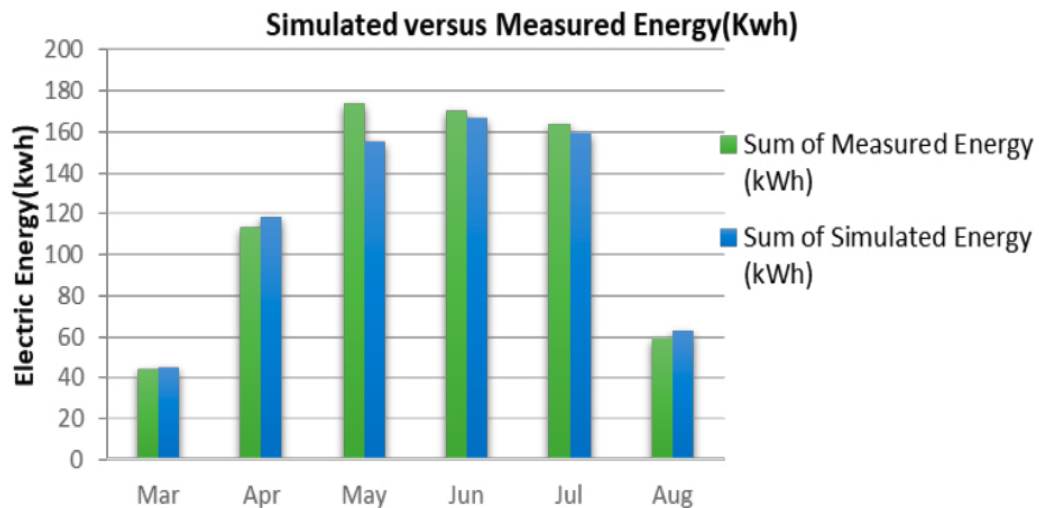
3.2 Case-study Newcastle University

Na Newcastle University byla provedena studie věnovaná optimalizaci aplikace FVT kolektorů dle Anu Antony, Y.D Wang, A.P Roskilly [41]. Bylo zde použito 12ks FVT kolektorů značky Solar-Angel DG-01, které sloužily svými parametry pro maximální využití dopadajícího slunečního záření. Termická část kolektoru měla konstrukci pro vedení tepla vyrobenou z hliníku a konečnou vrstvou s polyuretanovou pěnou s izolací pro celkové snížení právě tepelných ztrát. Prostřednictvím projektu Newcastle University byly provedeny pokusy a korelace všech parametrů, přičemž bylo získáno a shromážděno dostatek dat pro objektivní srovnání a analýzu aplikace FVT kolektorů.

Instalován byl systém s 12 ks FVT kolektory, úhlem náklonu 20° a celkovým výkonem 2,5 kW. FVT kolektor disponoval elektrickým výkonem 250 Wp a tepelným výkonem 658 W. Bilancování solární soustavy bylo provedeno pro fotovoltaickou a termickou část zvlášť. Tato metodika výpočtu bilance FVT kolektoru je využita i v mé diplomové práci. Podobnou analýzu provedl i Pokorný [24], jehož shrnutí je využito též pro porovnání s vlastní bilanční analýzou v této diplomové práci.

3.2.1 Analýza instalace FVT kolektorů na Newcastle University

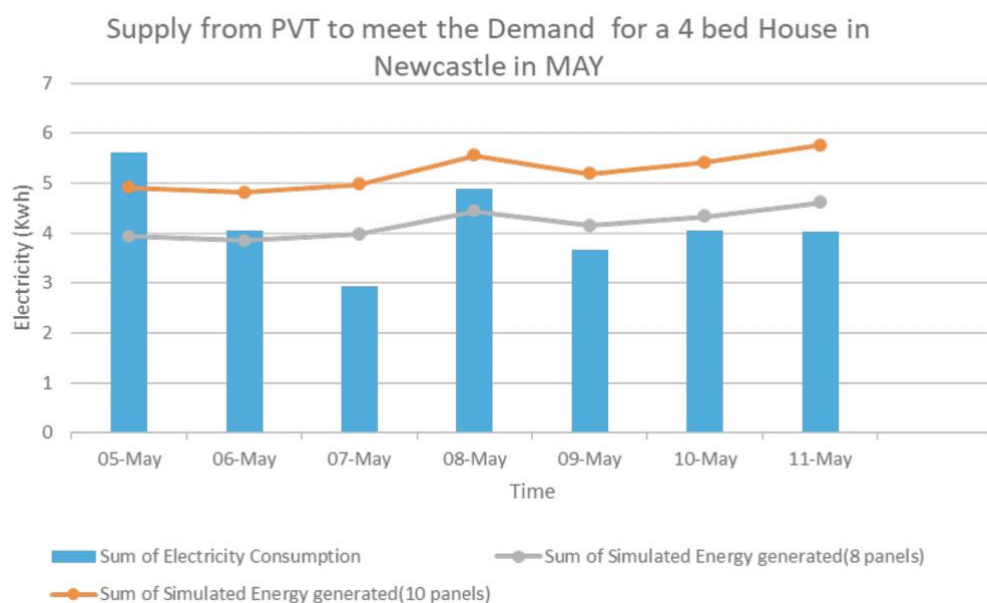
Produkcí tepelné energie zajišťovalo všech 12 FVT kolektorů, z nichž pro výrobu elektrické energie bylo využito pouze 10 panelů. Regulátor zde řídil chod cirkulačního čerpadla v případě teplotní difference mezi solárním panelem a výměníkem tepla umístěným na výstupu FVT kolektoru. Použité médium pro přenos tepelné energie obsahuje z 20 % směs glykol-voda, což ovlivňuje tepelnou kapacitu kapaliny systému a je zde převážně pro využití nemrznoucích vlastností média [41]. Na produkci energie (viz Obrázek 13) je patrné, že při výpočtu simulace dochází k určitým odchylkám od reálných naměřených dat.



Obrázek 13 Porovnání naměřených a vypočtených dat studie na Newcastle University po dobu 6 měsíců [41]

Jelikož se jednalo o analýzu prováděnou na území Anglie, tak se zde uvažovalo s jinými klimatickými podmínkami než v České republice a tato data se mohou značně lišit od dat vypočtených v mé diplomové práci. Optimální sklon FVT kolektoru byl z vypočtených a naměřených hodnot stanoven mezi 20–40 stupni.

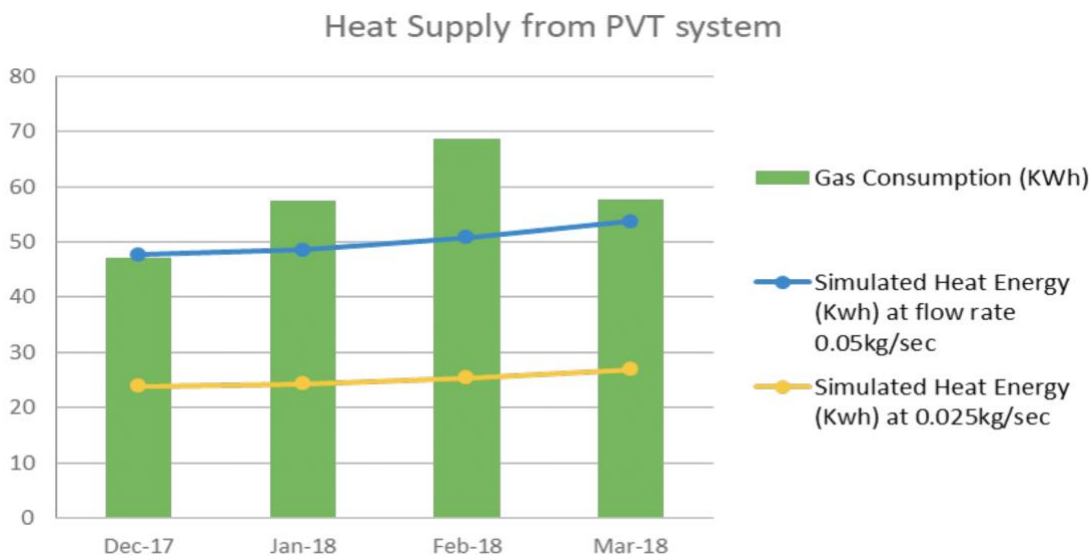
Denní simulace produkce elektřiny a produkce tepelné energie je znázorněna (viz Obrázek 14). pro měsíc květen a simulaci provedené pro modelový bytový dům o čtyřech bytových jednotkách. Modře značené sloupce znázorňují spotřebu elektrické energie, oranžová a šedá křivka naopak značí produkci elektrické energie v závislosti na počtu FVT kolektorů. Je zde na první pohled vidět, že přebytky elektrické energie mohou být ukládány a dále využívány při její budoucí spotřebě.



Obrázek 14 Produkce elektrické energie z FVT kolektoru ze studie Newcastle University [41]

Produkce tepelné energie je závislá značně na hmotnostním průtoku teplosného média, které následně ovlivňuje výkon kolektoru. Vyšší tepelný zisk lze získat při vyšším

hmotnostním průtokem. Tato problematika při analýze na Newcastle University je znázorněna (viz Obrázek 25). kdy spotřeba tepelné energie [kWh] je vyznačena zelenými sloupci a produkce tepelné energie v závislosti na změně hmotnostního toku modrou a oranžovou křivkou. Je značně vidět, že produkce tepelné energie s vyšším hmotnostním průtokem též roste. Hodnota doporučeného hmotnostního toku je však uvedena v technických listech všech FVT kolektorů.



Obrázek 15 Produkce tepelné energie z FVT kolektoru ze studie Newcastle University [41]

4 Modelový dům

V této kapitole se detailně věnuji modelovému domu (referenční stavbě), ke které je koncepce ústředního vytápění s použitím FVT kolektorů a tepelného čerpadla vztažena.

4.1 Vstupní údaje

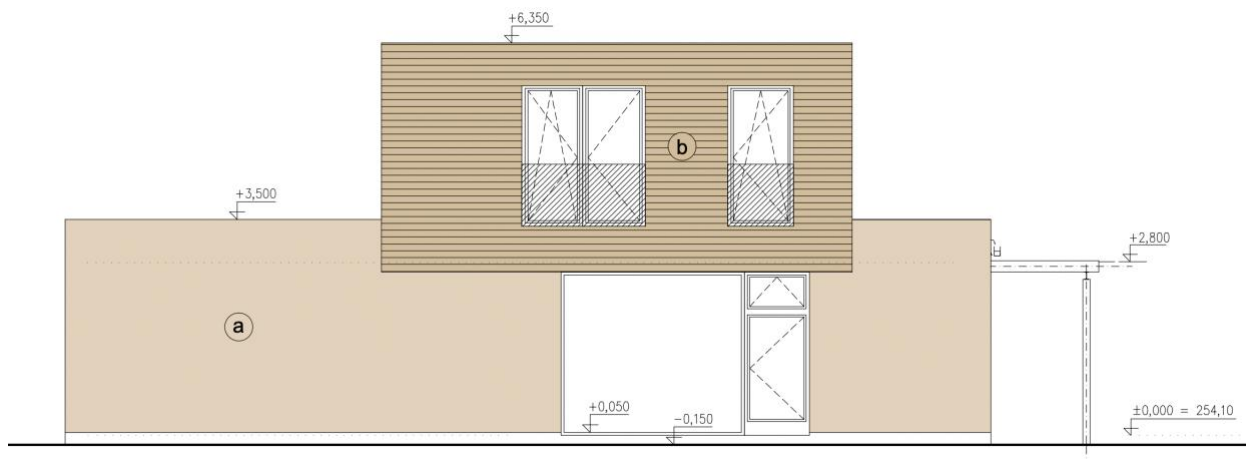
Shromáždění podkladů o budově (modelovém domě), okrajových podmínkách, díky získané výkresové dokumentaci, budoucích požadavků na spotřebu tepelné energie a spotřeby běžné elektrické energie.

4.1.1 Původ a druh vstupních údajů

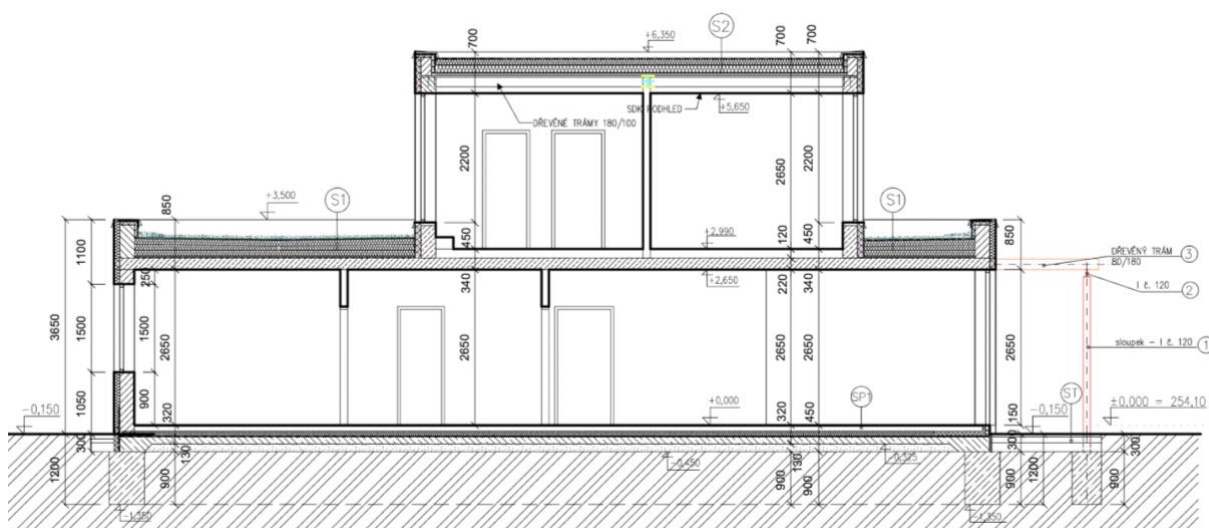
Jedná se o modelový dům (dřevostavbu), který nespadá do pasivního standardu. K modelovému domu se vztahuje několik provozních informací, kterými jsou například hodnota hlavního domovního jističe 3 x 25 A, distribuční sazba D57d pro tepelné čerpadlo a lokace místa výstavby objektu je Ústí nad Labem. Tyto parametry jsou zásadní v dále řešených kapitolách jako výpočet ceny elektřiny apod.

4.1.2 Výkresová dokumentace

Dle dodané výkresové dokumentace víme, že celková energeticky vztažná plocha budovy je 160,1 m², objem budovy (vnější objem vytápěné budovy) je 571,7 m³, objemový faktor A/V činí 0,82 m²/m³ a dále známe skladbu celého modelového domu. Níže (viz Obrázek 16 a 17) lze vidět modelový dům (jižní pohled) a jeho řez. Jedná se o úryvek výkresové dokumentace, která je součástí příloh diplomové práce. Celé výkresy jsou k nahlédnutí v příloze 1–7. Získání výkresové dokumentace je zásadní pro následující výpočet tepelné ztráty a potřeby energie na vytápění, či ohřev teplé vody.



Obrázek 16 Modelový dům (dřevostavba) jižní strana [autor]



Obrázek 17 Modelový dům řez (dřevostavba) jižní strana [autor]

5 Postup návrhu koncepce a výpočtová část

V této kapitole jsou hodnoceny jednotlivé postupy k získání potřebných dat k návrhu tepelného zdroje, FVT systému a celé koncepce ústředního vytápění modelového domu. Jedná se o získání hodnot měsíčních úhrnů slunečního záření H_T [kWh/m²], intenzity slunečního záření G [W/m²], hodnotu venkovní teploty t_e [°C], výpočet tepelné ztráty modelového domu Q_{cm} [W], získání předběžné hodnoty spotřeby tepelné energie na vytápění $Q_{vytápění}$ [MWh], ohřevu teplé vody Q_{TV} [MWh], nebo běžnou spotřebu elektrické energie v domácnosti aj. Výpočet hodnot je stanoven dle platné vyhlášky č. 264/2020 Sb. [55].

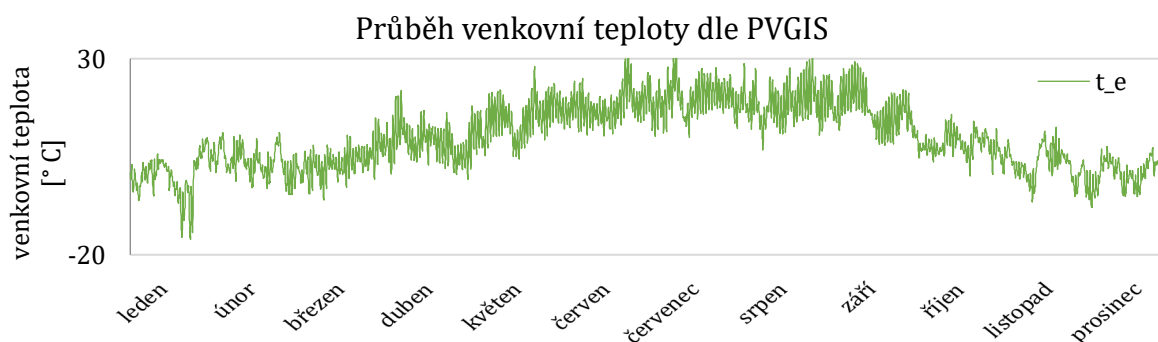
5.1 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky dané lokality mají velký vliv při výpočtu tepelné ztráty a potřeby tepelné energie na vytápění. Pro danou lokalitu Ústí nad Labem, kde uvažujeme, že se modelový dům nachází, byla klimatická data čerpána ze zdroje [9], z ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). Průměrné měsíční hodnoty jsou čerpány z ČHMÚ pro rok 2020 a lokalitu Ústí nad Labem – Kočkov (375 m.n.m) – metadata U1ULK001. Hodinová data jsou čerpána ze softwaru PVGIS pro rok 2016. Měsíční a roční data jsou veřejně přístupné v souladu se zákonem 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí. Průměrné teploty dle ČHMÚ a dle PVGIS jsou vidět níže (viz Obrázek 18).

Lze si všimnout, že průměrné měsíční teploty se každým rokem zvyšují. Pro získání předpokládané spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV využívám hodnoty dle ČHMÚ. Pro hodinové bilance však uvažuji hodinová data dle PVGIS.

Tabulka 1 Průměrné teploty dle ČHMÚ (2020) a PVGIS pro Ústí n. Labem (rok 2016) [9]

měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
ČHMÚ (2020)	2,45	6,00	3,68	8,80	11,25	17,00	17,35	20,05	14,55	10,35	6,05	3,25
PVGIS (2016)	0,48	3,51	3,90	11,45	14,62	17,94	20,17	18,68	17,69	8,76	3,38	0,70



Obrázek 18 Průměrné teploty dle PVGIS pro Ústí nad Labem (rok 2016) [15]

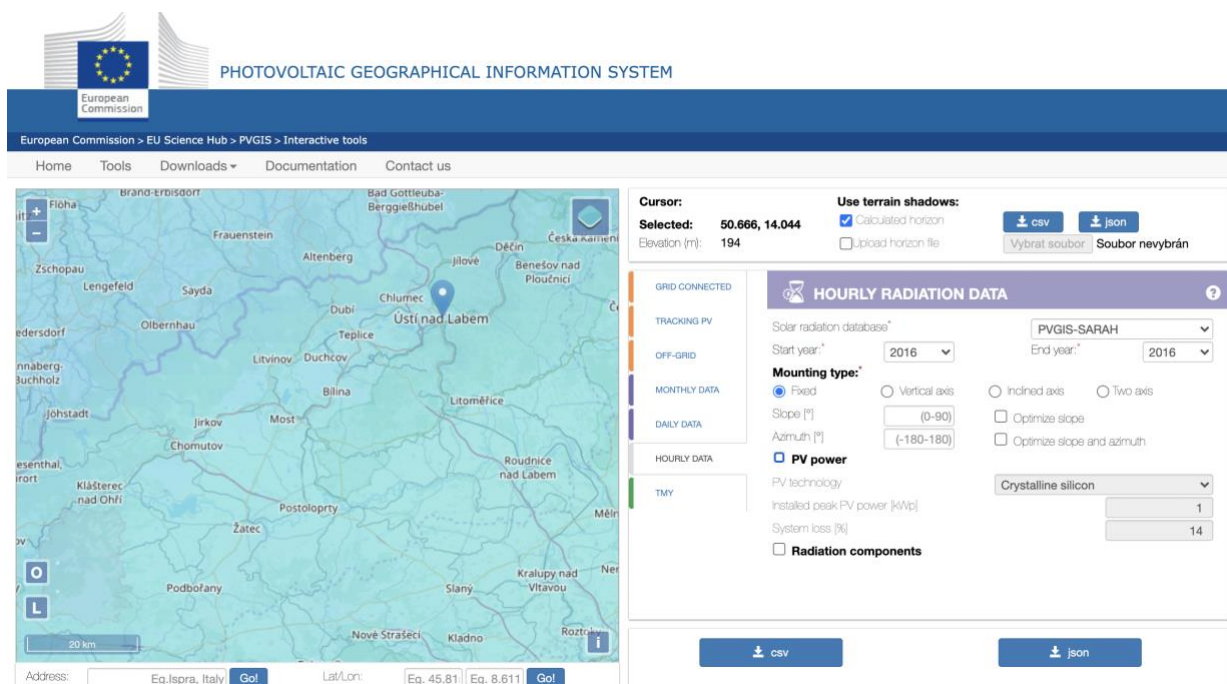
5.2 Měsíční a hodinový úhrn slunečního svitu a sluneční radiace

5.2.1 Volba softwaru pro získání dat

Mezi softwary, skrze které lze zdarma dohledat údaje o měsíčním úhrnu slunečního svitu a sluneční radiace, patří software PVGIS (Photovoltaics Geographical Information System) [15], SAM (System Advisor Model) [30] nebo RETScreen (Clean Energy Management) [31]. Nejvíce intuitivním nástrojem zůstává však PVGIS [14], a proto s ním v této diplomové práci pracuji.

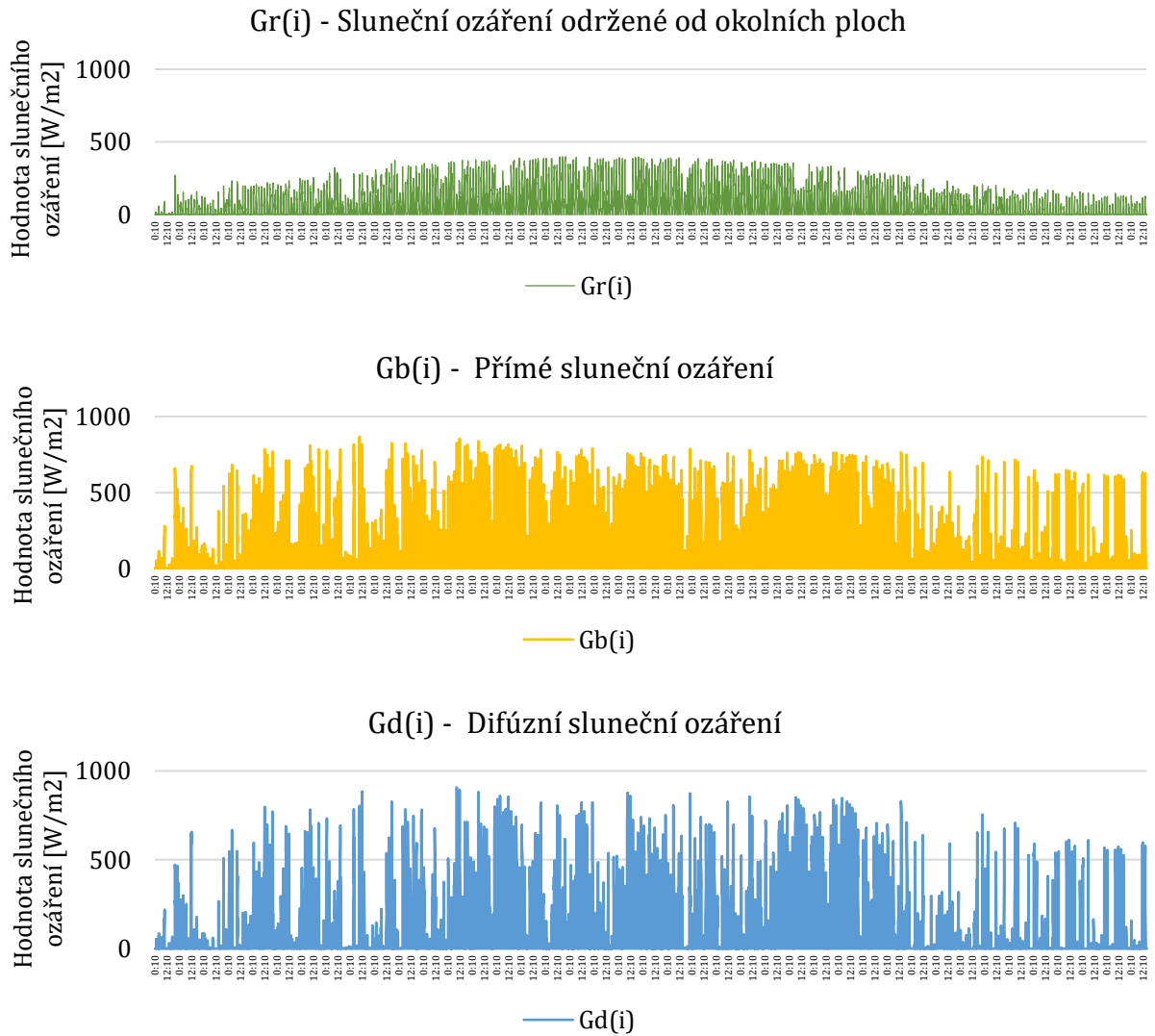
5.2.1.1 PGVIS (Photovoltaics Geographical Information System)

PVGIS (Photovoltaics Geographical Information System) [15] je model vytvořený výzkumným centrem Evropské komise. PVGIS je zaměřený přímo na využití pro fotovoltaické aplikace. Umožňuje kalkulaci výroby elektřiny v konkrétním místě kdekoli v Evropě i v Africe. Výpočetní model využívá jak údaje ze satelitních měření, tak z pozemních meteorologických měření. Důležité hodnoty, které skrze tento software zjistíme, jsou následující: denní intenzita slunečního záření G dle typu dopadajícího záření [W/m^2], měsíční úhrn slunečního svitu H_r [kWh/m^2], a dokonce hodinový průběh venkovní teploty. Rozhraní výpočtového modelu PVGIS je znázorněno na níže (viz Obrázek 19). [15].



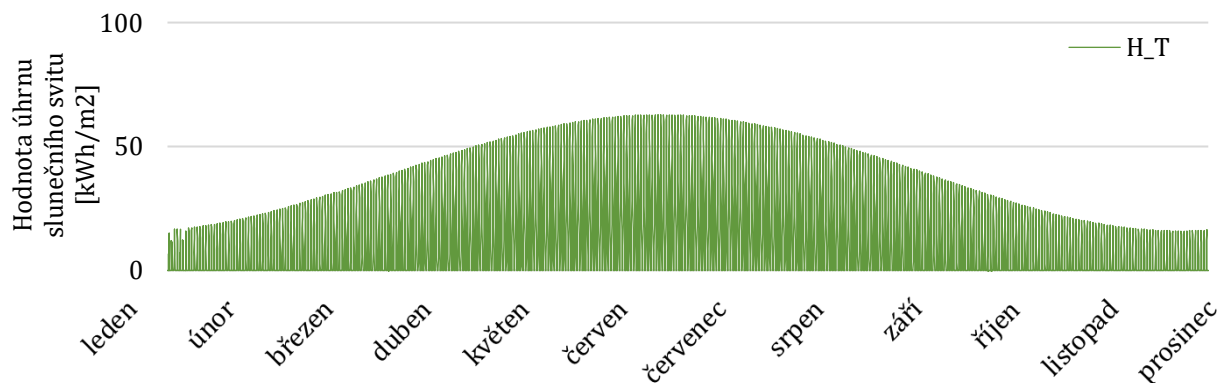
Obrázek 19 Rozhraní softwaru PVGIS pro Ústí nad Labem [15]

Výsledkem získaných dat je hodinový průběh venkovní teploty, intenzity slunečního ozáření dle jeho typu dopadu pro 365 dní v roce. Tato data budou následně využívat v hodinové bilanci produkce elektrické energie a tepelné energie pro typové dny průběhu roku. Níže (viz Obrázek 20) je vyneseno hodinový průběh hodnoty slunečního ozáření v průběhu roku 2016 pro lokalitu Ústí nad Labem.



Obrázek 20 Hodinový průběh hodnot slunečního svitu pro Gr(i), Gb(i), Gd(i) (pro rok 2016) [19]

Další důležitá hodnota pro výpočet produkce energie FVT kolektoru je znalost hodinového průběhu hodnoty průměrné úhrnu slunečního záření H_T [kWh/m^2]. Hodinový průběh pro 365 dní v roce je znázorněn níže (viz Obrázek 21).



Obrázek 21 Hodinový průběh hodnoty úhrnu slunečního svitu H_T (pro rok 2016) [19]

5.3 Výpočet potřeby tepla pro pokrytí tepelné ztráty objektu

První část správného návrhu koncepce je výpočet tepelné ztráty objektu (modelového domu) – dřevostavby. Výpočet tepelné ztráty a její postup udává například dnes již neplatná norma ČSN EN ISO 13790 [10] jejíž zrušení nastalo vyhlášením normy ČSN EN ISO 52016-1 (73 0336) Energetická náročnost budov – Energie potřebná pro vytápění a chlazení vnitřních prostor a citelné latentní tepelné zatížení – Část 1: Postupy výpočtu., ČSN 06 0210 [11]. Mezi platné normy patří ČSN EN 12831-1(060206) [12]. (Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3) v účinnosti od 10.8.2018 nebo STN EN 73 0540-2 [14]. Jedná se o náročný postup, který vyžaduje výkresovou dokumentaci a znalost struktury objektu (materiály aj.).

Právě normu ČSN EN 12831-1 [12] a STN EN 73 0540-2 [14] dále využívám při výpočtu tepelné ztráty modelového domu za pomoci výpočtového softwaru PROTECH TV.

5.3.1 Volba softwaru pro výpočet tepelné ztráty

5.3.1.1 PROTECH (TV) – Tepelný výkon

PROTECH spol. s.r. o. je česká společnost, která se již od roku 1987 zabývá vývojem programů pro projektanty, přičemž mezi hlavními produkty patří soubor programů pro hodnocení energetické náročnosti budov a programy pro dimenzování otopných soustav. Program (tepelný výkon TV) ve své diplomové práci využívám k výpočtu navrhovaného tepelného výkonu dle platné normy ČSN EN 12831-1 [12] a STN EN 73 0540-2 [14], z které dále lze získat hodnotu spotřeby energie na vytápění, ohřev TV a provádím analýzu na celkové tepelné ztráty. Mohu tak díky těmto hodnotám dimenzovat i otopná tělesa. Tento program jsem měl zdarma k využití díky platné licenci skrze firmu Pražská energetika, a. s.

Postup při výpočtu tepelné ztráty spočíval v první řadě na zadání vstupních dat v programu a kategorii „Údaje o budově“. Po zadání lokality (Ústí nad Labem) si software díky zabudované databázi dohledá data jako nadmořská výška, klimatická oblast, výpočtová venkovní teplota (-12 °C) a roční průměrná teplota. Dále bylo nutné zadat z přiložené výkresové dokumentace informace o jednotlivých konstrukcích, jako například součinitel prostupu (okna, dveře aj.). Jednotlivé konstrukce jsou zadávány podle doporučené normy ČSN 73 0540-2 (730540) [14] a postupně se tak definují jednotlivé použité materiály v objektu. Pro představu, jak vypadá výpočet součinitele prostupu tepla je uvedeno ve vztahu (5.1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} [W/m^2K] \quad (5.1)$$

$U [W/m^2K]$ je součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí, $R_{si} [m^2K/W]$ je tepelný odpor při prostupu tepla (vnitřní), $R_{se} [m^2K/W]$ je tepelný odpor při prostupu tepla (vnější), $R_n [m^2K/W]$ je tepelný odporš n-té stavební konstrukce, $S_n [m]$ je tloušťka n-té stavební konstrukce a $\lambda_n [W/mK]$ je součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce.

Další fází výpočtu je definování skladby, a to tak že jednotlivé materiály a jejich sousledné použití definuje skladbu (zdí, oken, stropu či podlah). Postupně se tak modeluje celý objekt a jednotlivé místnosti definované právě předchozími skladbami zdí. Postupnými výpočty, které program Protech provádí se dostaneme k výsledné tepelné ztrátě a máme tak představu o tom, jak se náš objekt chová v dané lokalitě. Provedený výpočet nabízí několik způsobů, jak prezentovat výsledky. Několik z nich je uvedeno v příloze 7. a příloze 8.

Úryvek z exportu, který jsem získal po dokončení výpočtu je znázorněn (viz Obrázek 14). Jednotlivé symboly zde znamenají: t_e [°C] je výpočtová teplota, t_{is} [°C] je vnitřní teplota, n_{50} [h⁻¹] je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa, v [h⁻¹], Φ_{Vm} [W] je návrhová tepelná ztráta místnosti větráním, Φ_{Tm} [W] je návrhová tepelná ztráta prostupem tepla, Φ_{HLM} [W] je celkový navrhovaný tepelný výkon místnosti, $\Phi_{hu,i}$ [W] je dodatečný zátopový tepelný výkon, $\Phi_{gain,i}$ [W] jsou trvalé tepelné zisky, které ale v programu protech nepočítám. Hodnotu solárních pasivních zisků počítám v kapitole 5.4.4. Hodnota Φ_{cm} [W] je výsledná tepelná ztráta, přičemž platí následující vztah (1.2)

$$\Phi_{HLM} = \Phi_{Tm} + \Phi_{Vm} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} [W] \quad (5.2)$$

$t_e = -12$ °C $t_{ib} = 20,2$ °C $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

Σ úseku	V_{me} m ³	A_{pe} m ²	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLM} W	Q_{cm} W
Σ úsek 1 1 NP	312,7	104,2	221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	5 055
Σ úsek 2 2 NP	167,6	55,9	127,8	47,3	700	1 643	2 343	2 343
Σ budovy	480,2	160,1	349,0	130,7	1 913	5 485	7 398	7 398

Obrázek 14 Export PROTECH TV – výsledná tepelná ztráta modelového domu

Výslednou tepelnou ztrátu vypočtenou za pomoci výpočetního softwaru Protech TV lze vidět (viz Obrázek 14).. Výsledná potřeba tepla pro pokrytí tepelné ztráty pro vnitřní výpočtovou teplotu $t_{is} = 20,2$ [°C] a výpočtovou teplotu $t_e = -12$ [°C] je tepelná ztráta objektu $Q_{cm} = 7\,398$ W = 7,398 kW.

5.4 Výpočet spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody

V této kapitole je zhodnocen přístup pro správný návrh tepelného zdroje, a to výpočet spotřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody (TV). První fáze je tedy výpočet roční spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV. Metody získání těchto hodnot se od sebe liší a podle J. Vlacha [8] je dělíme na prakticky nezávislé na venkovní teplotě (ohřev teplé vody, aj.) a závislé na venkovní teplotě (vytápění, úprava vlhkosti vzduchu, větrání aj.) u kterých využíváme dat z kapitoly (Klimatické podmínky), pro danou lokalitu. Předpokládaná vypočtená spotřeba tepelné energie určuje, jaké množství energie se spotřebuje na vytápění budovy a pro ohřev TV. Reálná spotřeba tepelné energie je určena množstvím energie, která byla v modelovém době opravdu spotřebována.

5.4.1 Postup výpočtu potřeby tepelné energie na vytápění

Výsledná spotřeba tepelné energie na vytápění se vyznačuje silnou závislostí na klimatických podmínkách pro mou zvolenou lokalitu výstavby (Ústí nad Labem) a mimo jiné i na požadované vnitřní výpočtové teplotě. Postup výpočtu potřeby tepelné energie na vytápění je uveden v následující podkapitole.

5.4.1.1 Denostupňová metoda

Díky znalosti hodnoty tepelné ztráty můžeme přejít k výpočtu potřeby tepelné energie na vytápění, a to pomocí denostupňové metody, která do návrhu integruje proměnlivost klimatických podmínek. Základní znalost je průběh venkovních teplot v dané oblasti pro vyhodnocované období. Počet denostupňů příslušných v jednom dni jsem vypočítal pomocí rovnice (5.3), kde $D^{\circ}(t_{is}) [d.K]$ je počet denostupňů pro průměrnou vnitřní teplotu $t_{is} [^{\circ}C]$ a sledované období, $d [dny]$ představuje počet dnů v období a $t_{es} [^{\circ}C]$ představuje průměrnou venkovní teplotu ve sledovaném období.

$$D^{\circ}(t_{is}) = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [d.K] \quad (5.3)$$

Po zjištění hodnoty počtu denostupňů jsem samostatnou hodnotu předpokládané spotřeby tepelné energie tepla na vytápění $Q_{vytápění} [MWh]$ vypočetl za pomoci vztahu (5.4), kde $Q_{cm} [W]$ je tepelná ztráta pro danou vnitřní teplotu $t_{is} [^{\circ}C]$ a výpočtovou teplotu $t_e [^{\circ}C]$. $\varepsilon [-]$ je opravný součinitel reflektující způsob provozu otopné soustavy, jak uvádí A. Horáková [16].

$$Q_{vytápění} = 24 \cdot Q_{cm} \cdot \frac{D^{\circ}(t_{is})}{t_{is} - t_e} \cdot \varepsilon \quad [MWh] \quad (5.4)$$

5.4.2 Postup výpočtu spotřeby tepelné energie na ohřev teplé vody

Dalším důležitým parametrem pro správný návrh zdroje tepla je spotřeba tepelné energie na ohřev teplé vody (TV). Velikost potřeby je zde také závislá na charakteru spotřeby a chování spotřebitelů. Nejdříve je proveden výpočet denní spotřeby tepla na ohřev teplé vody $Q_{TV,d} [Wh]$, kde $c_p [kJ/kgK]$ je měrná tepelná kapacita vody ($4,182 \text{ kJ/kgK} = 4 \text{ 182 J/kgK}$), $\rho [kg/m^3]$ je měrná hmotnost vody (1000 kg/m^3), $V_{2p} [m^3/osoba.den]$ je uvažovaná spotřeba TV pro všechny osoby v domácnosti, $t_{sv} [^{\circ}C]$ je teplota studené vody ($10^{\circ}C$) a $t_{TV} [^{\circ}C]$ je teplota teplé vody ($55^{\circ}C$). [17]

$$Q_{TV,d} = \frac{(1 + z) \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_{2p} \cdot (t_{TV} - t_{sv})}{3600 \cdot 1000} \quad [Wh/den] \quad (5.4)$$

Hodinovou potřebu lze vypočítat jako denní potřebu vztahenou na jednu hodinu dle vztahu (5.5), kde $\tau [hod]$ je časová perioda, tj. 24 hodin denně.

$$Q_{TV,h} = \frac{Q_{TV,d}}{\tau} \quad [Wh/hod] \quad (5.5)$$

Díky vztahům uvedeným v rovnicích (5.3) a (5.4) lze dopočítat celkovou roční potřebu tepla na ohřev teplé vody, a to pomocí vztahu (5.6). $Q_{TV,d}$ [Wh/den] je denní spotřeba TV, d [dny] je počet dnů otopného období v roce a pro plánovanou polohu výstavby (221 dní – Ústí nad Labem) dle [16]. 0,8 [-] je součinitel zohledňující snížení spotřeby TV v létě, t_{SVL} [°C] je teplota studené vody v létě (15 °C), t_{SVZ} [°C] je teplota studené vody v zimě (5 – 10 °C) a N [dny] je počet pracovních dní soustavy v roce (350 – 365) [17].

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{55 - t_{SVL}}{55 - t_{SVZ}} (N - d) \quad [Wh/rok] \quad (5.6)$$

V domácnosti uvažujeme čtyři žijící osoby, u kterých uvažujeme spotřebu teplé vody 41 l/os. den dle [12]. Nelze zde použít normu ČSN 06 0320 [33], která uvažuje spotřebu teplé vody 82 l/os. den, a to z několika důvodů, jak uvádí MATUŠKA [34], kdy tato hodnota je určena pouze pro návrh objemu a tepelného příkonu ohříváče vody, který musí vyhovět extrémním podmínkám.

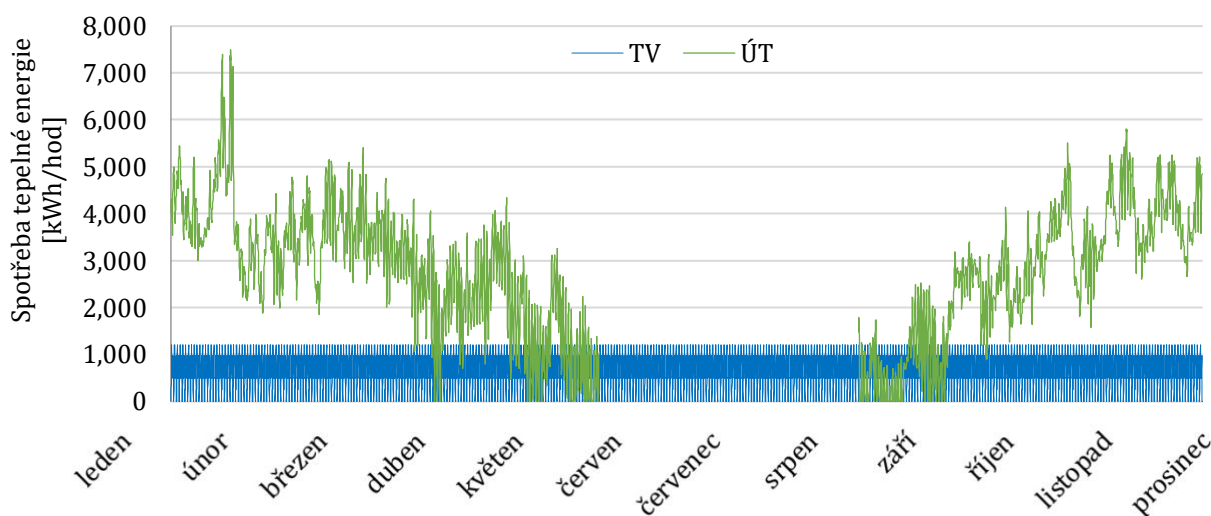
5.4.3 Denní a roční průběh spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV

Každý vytápěný objekt (modelový dům) je charakterizován energetickou náročností (spotřebou energie) a energetickými nároky, které je důležité brát jako energii, kterou objekt k jeho funkci potřebuje. V této kapitole se věnuji právě vypočtené hodnotě potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na ohřev TV v modelovém domě. Je důležité zmínit, že dle Klazara [39] spotřeba tepla nemůže být ovlivněna vnějšími, ani vnitřními tepelnými zisky.

5.4.3.1 Roční průběh spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV

Po vytvoření základního modelu a aplikaci získaných dat jsem vytvořil roční průběh předpokládané spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody (viz Obrázek 22).

Předpokládaná spotřeba tepelné energie na ohřev TV a vytápění



Obrázek 22 Roční průběh spotřeby tepla na vytápění, ohřev TV a spotřeby běžné elektrické energie

Detailní měsíční export hodnot pro získání měsíční potřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV je vidět níže (viz Tabulka 2).

Tabulka 2 Spotřeba tepelné energie na vytápění a ohřev TV

Ústí nad Labem	d		t_{is}	t_{es}	D	t_i	$Q_{vytápění}$	Q_{TV}
	[dny]	[hod]	[°C]	[°C]	[d. K]	[°C]	[MWh]	[MWh]
leden	31,00	744,00	20,20	2,45	550,25	-12,00	2,7274	0,3256
únor	28,00	672,00	20,20	6,00	397,60	-12,00	1,9707	0,3256
březen	31,00	744,00	20,20	4,30	492,90	-12,00	2,4431	0,3256
duben	25,00	600,00	20,20	8,80	285,00	-12,00	1,4126	0,3256
květen	5,00	120,00	20,20	11,25	44,75	-12,00	0,2218	0,3256
červen	0,00	0,00	20,20	17,00	0,00	-12,00	0,0000	0,3256
červenec	0,00	0,00	20,20	17,35	0,00	-12,00	0,0000	0,3256
srpen	0,00	0,00	20,20	20,05	0,00	-12,00	0,0000	0,3256
září	9,00	216,00	20,20	14,45	51,75	-12,00	0,2565	0,3256
říjen	31,00	744,00	20,20	10,35	305,35	-12,00	1,5135	0,3256
listopad	30,00	720,00	20,20	6,05	424,50	-12,00	2,1041	0,3256
prosinec	31,00	744,00	20,20	3,25	525,45	-12,00	2,6044	0,3256
Σ	221,00	5304,00	-	-	3077,55	-	15,2542	3,9074

Je důležité zmínit, že spotřebu tepla na ohřev TV uvažuji v celém roce a v jednotlivých měsících konstantní. Profil spotřeby tepla na přípravu TV by v reálných případech obnášel i letní pokles v jednotkách procentních bodů. Tento pokles však v mé diplomové práci zanedbávám. Výpočet měrné spotřeby na vytápění je následující a je vztažen k energeticky vztažné ploše, která je definována dle ČSN EN ISO 52000-1/2018 [65] jako součet půdorysných ploch všech zón všech podlažích s upravovaným vnitřním prostředím.

$$q_{vytápění} = \frac{Q_{vytápění}}{A_{pe}} \quad (5.7)$$

kde je:

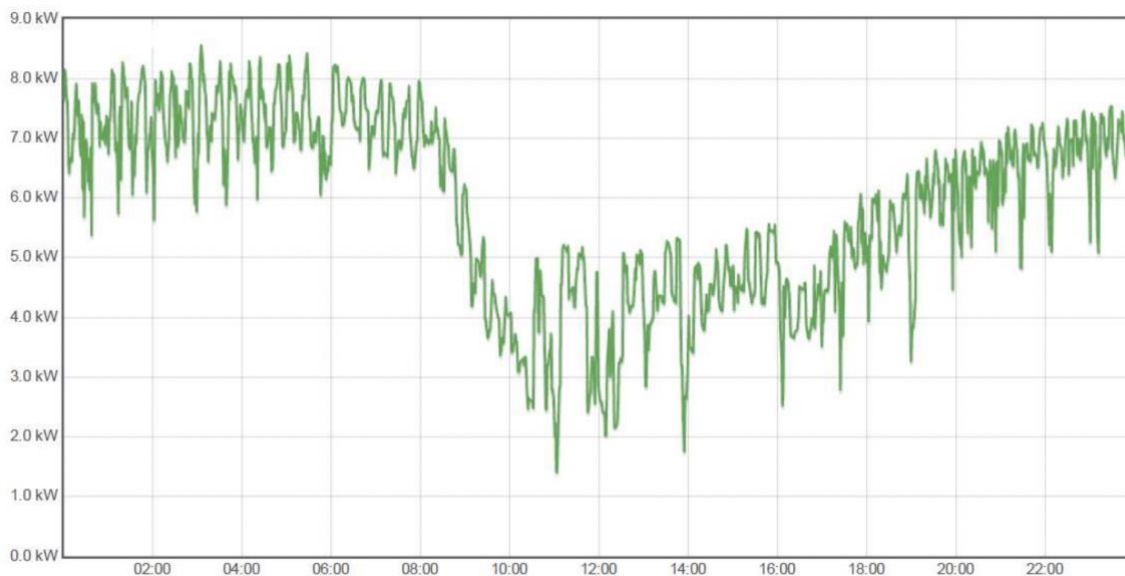
$q_{vytápění}$	měrná spotřeba tepelné energie na vytápění	[kWh/m ² .r]
$Q_{vytápění}$	spotřeba tepelné energie na vytápění	[kWh/r]
A_{pe}	energeticky vztažná plocha objektu	[m ²]

$$q_v = \frac{Q_v}{A_{pe}} = \frac{15\,254,2}{160,1} = 95,3 \text{ kWh/m}^2 = 0,34 \text{ GJ/m}^2$$

5.4.3.2 Denní diagram spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev TV

Denní diagram potřeby tepla na ohřev teplé vody byl vytvořen na základě vypočítaných hodnot a vstupních dat získaných pro modelový dům. Typický hodinový průběhu potřeby

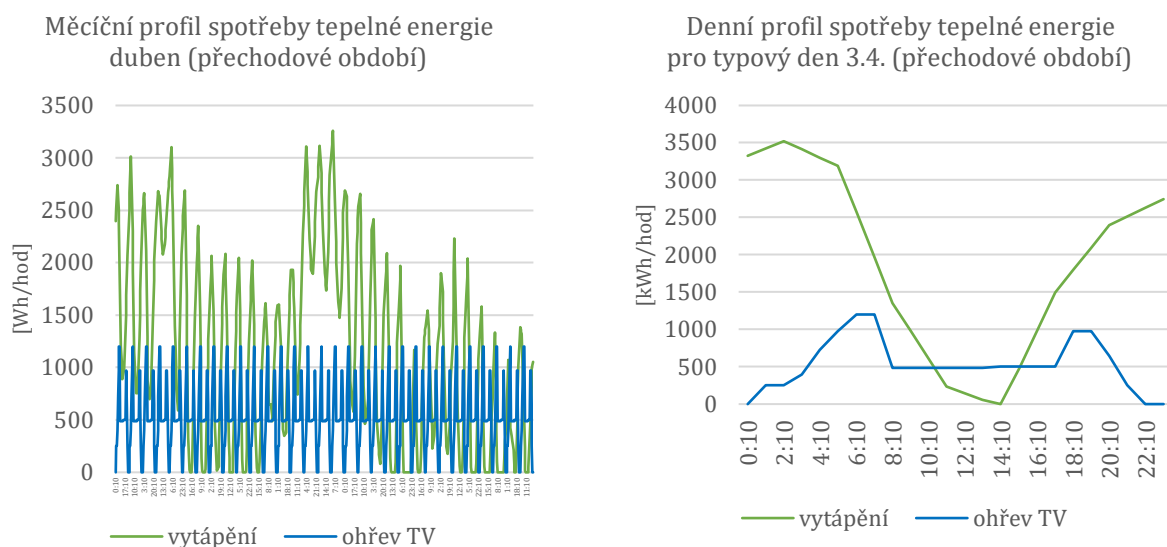
tepla na vytápění (viz Obrázek 23), který je inspirovaný reálně naměřenými daty v bytovém domě [40].



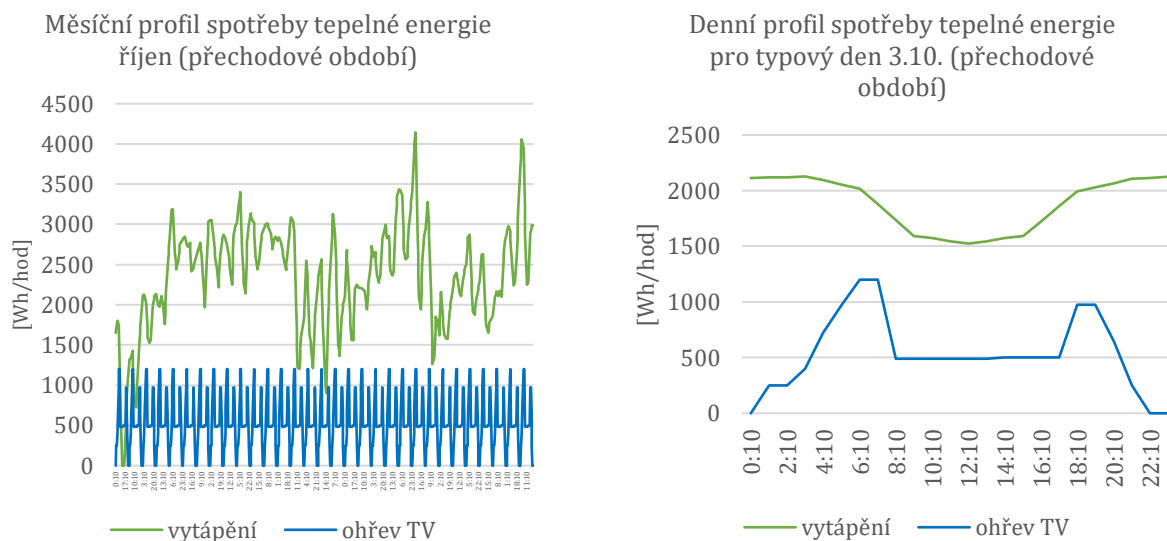
Obrázek 23 Spotřeba tepelné energie na vytápění naměřená pro objekt se sálavým topným systémem (leden 2017) [40]

Pro modelový objekt, na který aplikuji právě FVT kolektory, jsem sestrojil průběhy potřeb energie v jednotlivých typových dnech v průběhu roku. Zvolil jsem čtyři typové dny, na kterých dále v mé diplomové práci budu provádět bilancování FVT kolektorů za účelem zjištění výsledné produkce tepelné a elektrické energie. Typové dny proto volím 7. červenec pro letní období, 21. leden, pro zimní období 3. říjen a 3. duben pro přechodové období. Denní diagramy jsou důležité z hlediska zajištění tepelného komfortu při dodávce teplé vody. Solární systém musí být správně dimenzován a přizpůsoben uživatelům objektu, a proto je důležité znát profil spotřeby tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody. Pokud je systém správně nadimenzován, je schopen například v jižních zemích pokrýt celou rodinou spotřebu teplé vody. Systém a jeho účinnost je však závislý například na hodnotě slunečního záření, a pokud tato hodnota v průběhu dne kolísá, tak teplota vody nedosáhne požadované teploty a systém vyžaduje doplňkový zdroj (ohřívač).

Přechodové období je modelováno pro typový den v říjnu a dubnu. Lze vidět průběh spotřeby tepelné energie na ohřev teplé vody a vytápění. Interval průběhu spotřeby tepla je 24 hodin.

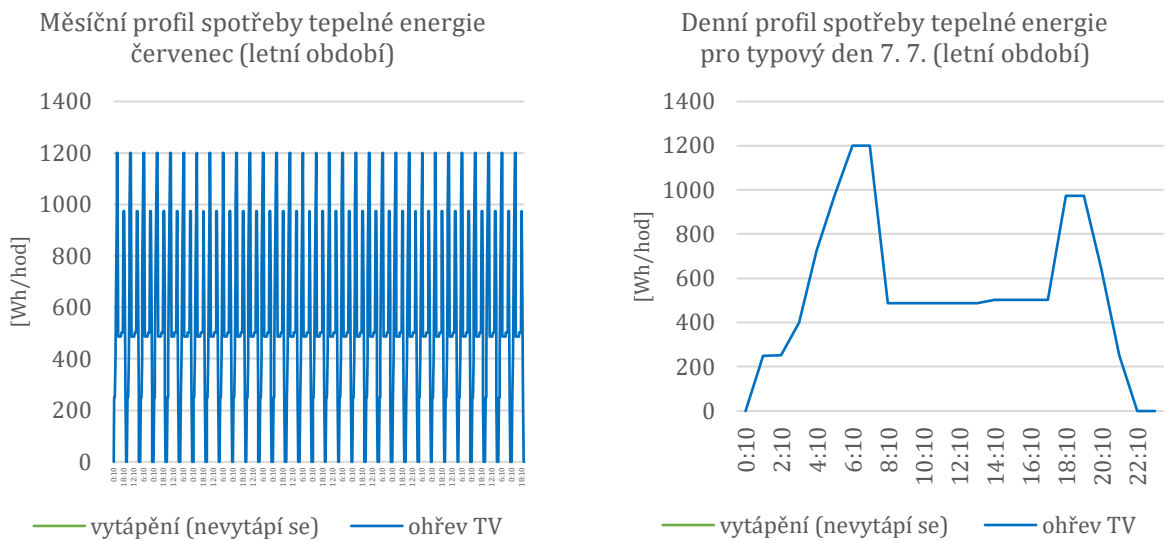


Obrázek 24 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro přechodové období (duben) a typový den 3. 4. [kWh/hod]



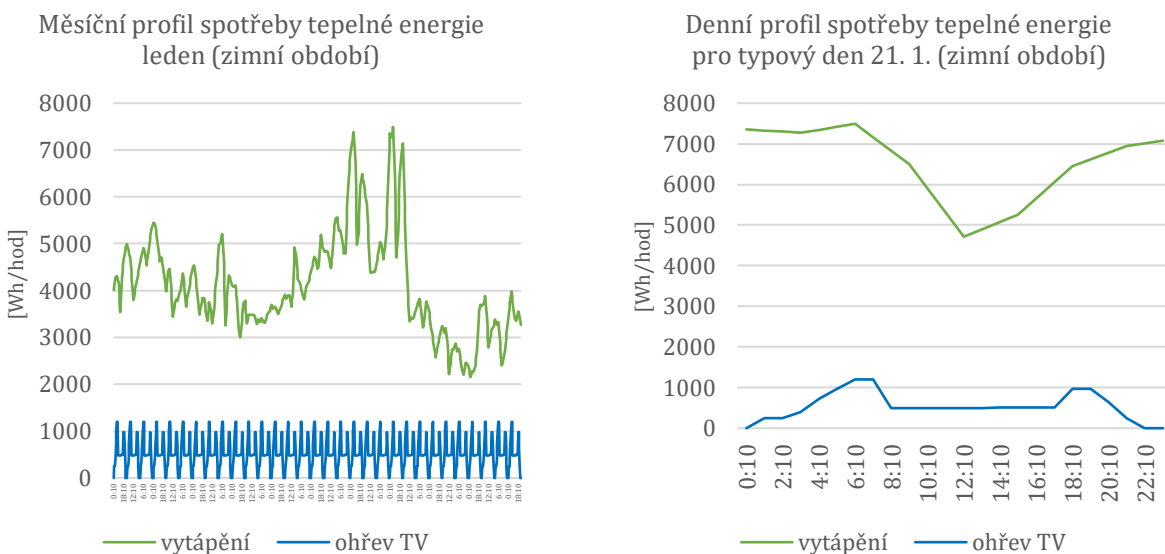
Obrázek 25 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro přechodové období (říjen) a typový den 3. 10. [kWh/hod]

Letní období je znázorněno pro měsíc červenec, kdy spotřeba tepelné energie na vytápění je nulová a celková je tedy rovna spotřebě tepla na ohřev teplé vody. Interval průběhu spotřeby tepla je 24 hodin.



Obrázek 26 Denní diagram průběhu potřeby tepelné energie pro ohřev teplé vody v modelovém domě letní období (červenec) typový den 7. 7. [kWh/hod]

Zimní období je modelováno na typový den v prosinci. V tomto období bývá spotřeba tepla na nejvyšších hodnotách. Interval průběhu potřeby tepla je 24 hodin.



Obrázek 27 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro zimní období (leden) typový den 21. 1. [Wh/hod]

5.4.4 Sluneční pasivní zisky

Úvaha, se kterou se zde setkávám, je závislá na typu výplně okenních prostor. Pro výpočet solárních pasivních zisků lze využít například již neplatnou normu ČSN EN 832, nebo platnou normu ČSN 730542 [66], která je pro výpočet tepelných zisků ze zasklení pro jednotlivé měsíce nejjednodušší. Postup je znázorněn pro modelový objekt ve vztahu (5.18).

$$\Phi_{gain,i} = H_{T,r} \cdot A_{ok,p} \cdot T \cdot c_m \cdot c_n \quad (5.18)$$

$\Phi_{gain,i}$	průměrný tepelný zisk zasklení ze slun. záření za měsíc pro otopné období září–květen.	[kWh]
$H_{T,r}$	průměrná hodnota slunečního svitu	[kWh /m ² .m]
$A_{ok,p}$	plocha průsvitné části okna $A_{ok,p} = A_o - A_n$ (10 m ²)	[m ²]
A_o	plocha okna	[m ²]
A_n	plocha neprůsvitné části okna	[m ²]
T	celková propustnost slunečního záření okna $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3$	[-]
T_1	propustnost čirého skla $T_1 \sim 0,9$	[-]
T_2	dvojsklo $T_3 \sim 0,9$ ($U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$)	[-]
T_3	hodnota stínícího součinitele $T_3 \sim 0,9$	[-]
c_m	činitel využití slunečního záření, dle typu azimutu a období	[-]
c_n	činitel korigující skutečnost, že dopad slunečního záření paprsků není kolmý (0,9)	[-]

otopné období	H_T [kWh/m ²]	$A_{ok,p}$ [m ²]	c_m [-]	c_n [-]	T [-]	$\Phi_{gain,i}$ [kWh/měsíc]
leden	18	9,84	0,67	0,9	0,729	77,9
únor	42,92	9,84	0,81	0,9	0,729	224,4
březen	64,63	9,84	0,95	0,9	0,729	396,4
duben	122,44	9,84	0,96	0,9	0,729	758,9
říjen	41,59	9,84	0,81	0,9	0,729	217,5
listopad	28,68	9,84	0,67	0,9	0,729	124,1
prosinec	23,57	9,84	0,8	0,9	0,729	121,7

$$\Phi_{gain,i} = (H_{T,leden} + H_{T,únor} + H_{T,březen} + \dots) \cdot A_{ok,p} \cdot T \cdot c_m \cdot c_n$$

$$\Phi_{gain,i} \sim 1\,920 \text{ kWh/rok} \sim 1,920 \text{ MWh/rok}$$

Hodnota slunečních pasivních zisků ve výsledné bilanci tepelné energie na vytápění započtu jako proměnnou složku, jelikož neznám přesnou skladbu oken a jejich typ, který bude v objektu instalován. Pro výpočet uvažuji typické hodnoty pro dvojsklo se součinitelem

prostupu tepla $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pro typické dvojsklo lze uvažovat s orientační hodnotou slunečních pasivních zisků $1,920 \text{ MWh/rok}$. Tuto hodnotu však zanesu až do výsledné bilance tepelné energie na vytápění.

5.5 Spotřeba běžné elektrické energie a osvětlení

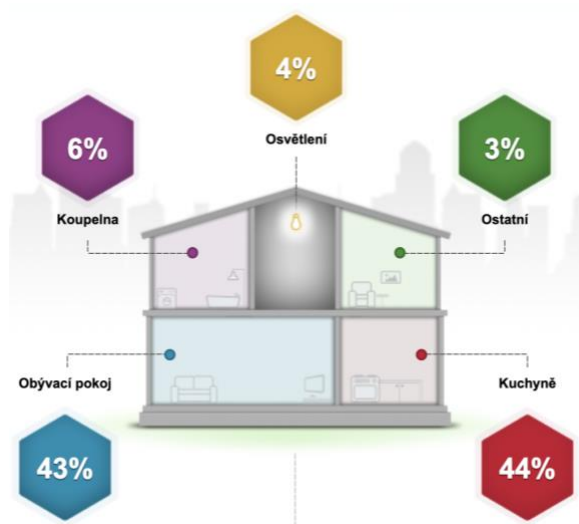
V této kapitole se věnuji přiblížení problematiky o průměrné spotřebě elektřiny. U rodinných domů se průměrná spotřeba elektřiny, kde se elektřinou pouze svítí a napájí běžné spotřebiče, uvažuje mezi $2000 - 4000 \text{ kWh/rok}$. V případě že se na elektřině i vaří, může být běžná spotřeba elektrické energie o něco vyšší. Průměrná spotřeba elektřiny závisí na několika parametrech jako je počet osob a jejich životní styl.

5.5.1 Osvětlení a běžná spotřeba elektrické energie pro spotřebiče

Pro náš modelový dům uvažujeme roční spotřebu elektrické energie $3\,745,1 \text{ kWh/rok}$ [32]. Uvažujeme zde tedy pouze spotřebu běžných spotřebičů (pračka, myčka, televize aj.) a případné osvětlení. V průběhu roku se spotřeba elektrické energie liší a v zimním období je nutné očekávat nárůst spotřeby elektrické energie, zvláště v případě elektrického vytápění (elektrokotel, přímotopy), ale i v případě vytápění pomocí tepelného čerpadla (vzduch-voda) musíme uvažovat další spotřebu elektrické energie na pohon kompresoru v systému. Níže je uvedena běžná spotřeba elektrické energie na osvětlení v domácnosti pro náš modelový objekt (viz Tabulka 3).

Tabulka 3 Spotřeba běžné elektrické energie a osvětlení v domácnosti pro modelový dům

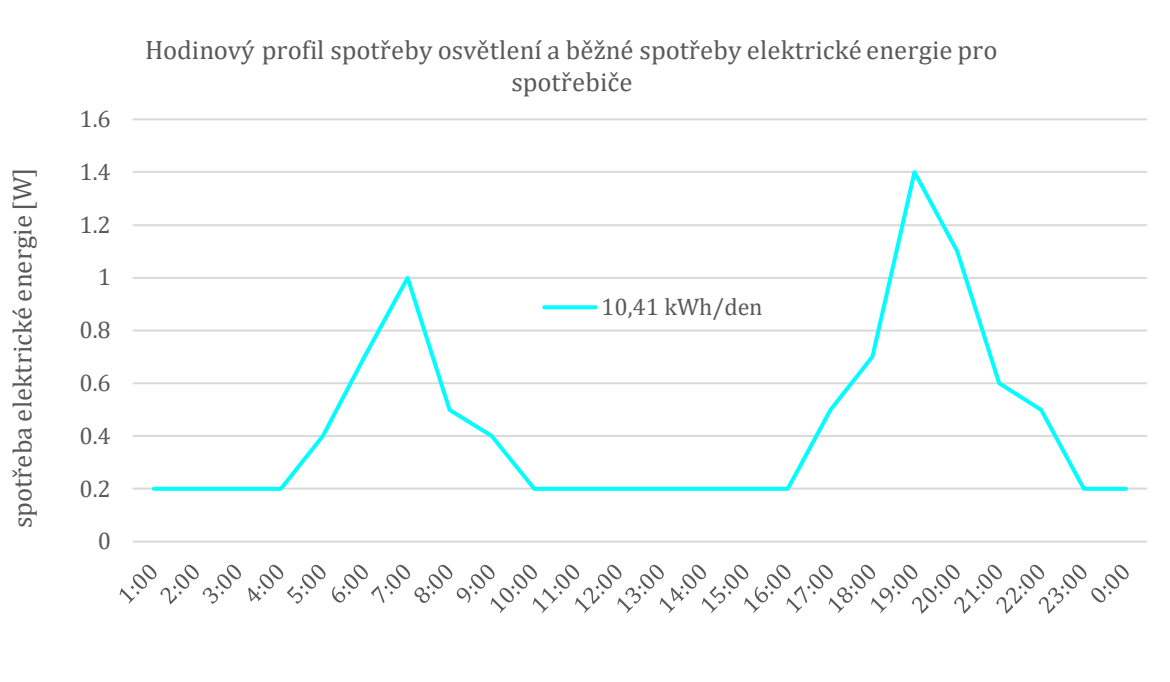
Ústí nad Labem (4 os., $160,1 \text{ m}^2$)	Spotřeba běžné el. energie a osvětlení v domácnosti [kWh]
leden	484,1
únor	359,4
březen	331,1
duben	262,0
květen	222,8
červen	200,3
červenec	206,9
srpen	222,8
září	268,1
říjen	328,1
listopad	381,9
prosinec	477,5
<i>Suma</i>	<i>3 745,1 kWh</i>



Obrázek 28 Procentuální rozložení spotřeby běžné elektrické energie v domácnosti [32]

5.5.2 Denní profil průměrné spotřeby elektřiny modelového domu

Jako další byl vytvořen profilu denní spotřeby běžné elektrické energie (viz Obrázek 29). Interval spotřeby běžné elektrické energie je 24 hodin. Je důležité zmínit, že denní profil spotřeby elektrické energie se v reálných podmínkách může lišit a může docházet k odchýlkám.



Obrázek 29 Denní profil průměrné spotřeby elektřiny modelového domu [autor]

5.6 Postup při návrhu fotovoltaicko-tepelných FVT kolektorů

Zvolená metodika při návrhu fotovoltaicko-tepelného kolektoru je inspirována několika metodami a výzkumy, mezi které patří například projekt Newcastle University [41], který využíval aplikaci 12 ks FVT kolektorů na rodinný dům za využití norem jako ČSN ISO 9806 [27] a ČSN EN 14316-4-3 pro bilanci fotovoltaické části [47] a normy TNI 73 0302 [42]. Tyto metody byly aplikují při výpočtu a vlastní bilanci FVT kolektoru za pomoci vytvořeného výpočtového modelu.

5.6.1 Účinnost FVT kolektoru

5.6.1.1 Účinnost termické části FVT kolektoru

V této podkapitole se věnuji bližšímu určení křivky tepelné účinnosti, pro kterou je nutné znát regresivní parametry křivky, jako optická účinnost η_o [%], která udává, jaký podíl slunečního záření se v absorbéru přemění na tepelnou energii. Dva koeficienty ztrát a_1, a_2 [W/m^2K] udávají, jaké tepelné ztráty vznikají v kolektoru. Tyto parametry lze dohledat ve většině technických listech FVT kolektorů. Pokud jsou koeficienty a_1, a_2 [W/m^2K] vysoké, znamená to velké ztráty tepla. Vzorec výpočtu účinnosti vždy popisuje vztah uvedený v rovnici (5.7).

$$\eta_K = \eta_o - a_1 \cdot \left(\frac{t_m - t_e}{G} \right) - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (5.7)$$

kde je:

η_K	termická účinnost FVT kolektoru	[%]
η_o	optická účinnost kolektoru (účinnost FVT kolektoru při nulových tepelných ztrátách)	[%]
a_1	lineární součinitel tepelné ztráty FVT kolektoru	[W/m ² K]
a_2	kvadratický součinitel tepelné ztráty FVT kolektoru	[W/m ² K]
G	sluneční ozáření na plochu FVT kolektoru	[W/m ²]
	Průměrná teplota média cirkulujícího v FVT kolektoru (40 °C)	
t_m	pokrytí 35–70 % TV, 50 °C pro pokrytí <70 % TV, 35 % pro přehřev TV)	[°C]
t_e	teplota okolního vzduchu	[°C]

5.6.1.2 Účinnost elektrické části FVT kolektoru

Zasklený hybridní kolektor má vůči solárnímu panelu nižší elektrickou účinnost. Elektrická účinnost je snížena především kvůli odrazu dopadajícího slunečního záření od krycího skla, které může i při použití kvalitního skla s nízkým obsahem železa vyústit v pokles optické účinnosti až o 8 %. Použitím skla vysoce propustného pro záření, lze ztráty snížit až na 4 %. Účinnost fotovoltaiické přeměny je ovlivňována pracovní teplotou článků. Vliv pracovní teploty v závislosti na aktuálních pracovních podmínkách kolektoru popisuje vztah (5.8) [45].

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot [1 + \beta \cdot (t_{FV} - 25)] \cdot \left[1 + k \cdot \ln \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) \right] \quad (5.8)$$

v němž je t_{FV} [°C] teplota článků, η_{ref} je referenční účinnost článku při standardních testovacích podmínkách (STC) a β teplotní koeficient výkonu (nabývá záporných hodnot). Koeficient β má typické hodnoty -0,0045 [1/K] pro monokrystalický křemík a 0,002 [1/K] pro křemík amorfnní. Obecný vztah pro určení účinnosti FV panelů je ve vztahu (5.9).

$$n_e = \frac{(U \cdot I)_{MPP}}{G \cdot A} \quad (5.9)$$

Členy U_{MPP} [V] a I_{MPP} [A] představují MPP (bod maximálního výkonu) napětí, respektive proud z článků, A [m²] je plocha panelu a G [W/m²] je referenční hodnota slunečního záření [46]. Odvod tepla z FV článků s využitím kapaliny má několik příznivých vlivů, a mezi ně patří snížení teplot článků, které cirkulující kapalina chrání před tepelnou zátěží a prodlužuje tak životnost FV článků.

5.6.2 Teoretický využitelný zisk

5.6.2.1 Produkce tepelné energie

Produkce tepelné energie z FVT kolektoru je zde určena za pomoci normy TNI 73 0302 [42] a blíže ji popisuje následující rovnice (5.10, 5.11 a 5.12).

$$P = A_k \cdot (\eta_o \cdot G - a_1 \cdot (t_m - t_e)) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2 \quad (5.10)$$

kde je:

η_o	účinnost FVT kolektoru při uvažování nulových tepelných ztrát	[%]
P	teoretický využitelný zisk (produkce tep. energie)	[kWh/měsíc]
H_T	měsíční úhrn slunečního záření	[kWh/m ²]
ρ	korekční součinitel $\rho = 0,1- 0,3$ (příprava TV dle [42])	[W/m ² K]
A_K	plocha apertury FVT kolektoru	[m ²]
G	sluneční ozáření	[W/m ²]

$$f = \frac{Q_{k,u}}{Q_{TV}} \quad (5.11)$$

kde je:

f	roční solární pokrytí	[-]
$Q_{k,u}$	využité solární zisky, úspora tepla pro ohřev TV	[kWh/měsíc]
Q_{TV}	měsíční úhrn slunečního záření	[kWh/měsíc]

$$\eta_{ss} = \frac{Q_{k,u}}{H_T \cdot A_k} \quad (5.12)$$

kde je:

η_{ss}	účinnost solární soustavy	[-]
$Q_{k,u}$	využité solární zisky, úspora tepla pro ohřev TV	[kWh/měsíc]
A_k	plocha FVT kolektoru	[kWh/měsíc]
H_T	měsíční úhrn slunečního záření	[kWh/m ²]

5.6.2.2 Produkce elektrické energie

Norma ČSN EN 15316-4-3 [47] stanovuje roční produkci elektrické energie fotovoltaického systému pouze na základě jeho špičkového výkonu bez ohledu na reálné provozní vlivy pro konkrétní prvky systémů. Hodnota referenčního slunečního ozáření je zde hodnota maximální a za podmínek jasného počasí. Výpočet produkce elektrické energie dodané fotovoltaickou částí FVT kolektoru E_{PV} [kWh/rok] je uveden níže pomocí vztahu (5.13). Pro detailní výpočet produkce elektrické energie je počítáno s hodnotami slunečního záření dle softwaru PVGIS [15], díky kterému známe přesné hodnoty v průběhu typového dne.

$$E_S = G \cdot A_{FVT} \quad (5.13)$$

$$E_{PV} = E_S \cdot \eta_r \cdot (1 + \beta \cdot (t_{FV} - 25)) \left(1 + 0,03 \cdot \ln \cdot \frac{G}{1000}\right)$$

E_{PV}	teoretický využitelný zisk (produkce el. energie)	[kWh/rok]
E_S	sluneční příkon	[kWh/rok]

G	hodnota slunečního ozáření	$[W/m^2]$
β	teplotní koeficient výkonu	$[1/K]$
t_{FV}	teplota fotovoltaického článku	$[C]$
A_{FVT}	plocha FVT kolektoru	$[m^2]$
η_r	účinnost fotovoltaického panelu	$[\%]$

5.6.3 Velikost FVT kolektoru

Velikost kolektoru A_{FVT} $[m^2]$ stanovím za pomoci několika vstupních hodnot, mezi které patří roční hodnota sluneční radiace H_T $[kWh/m^2]$, která je pro zvolené klimatické podmínky 1 578,8 kWh/m², celoroční spotřeba teplé vody Q_{TV} $[kWh/rok]$ a zisk při f_{perf} $[-]$ je v našem případě zvolena hodnota $f_{perf} = 1,1$.

Jak uvádí Quaschnig [48], tak velikost potřebné plochy kolektoru lze vypočítat dle následujícího vztahu při celoročním pokrytí sluneční energií od 60 % a při průměrné účinnosti FVT systému, která činí 30 %.

$$A_{FVT} \approx \frac{60\%}{30\%} \cdot \frac{Q_{TV}}{H_T \cdot f_{perf}} \quad (5.14)$$

kde Q_{TV} – roční potřeba teplé vody $[kWh/rok]$
 A_{FVT} – celková činná plocha všech FV panelů $[m^2]$
 f_{perf} – druh integrace; zisk při sklonu $[-]$ $\sim 1,1$
 H_T – hodnota sluneční radiace $[kWh/m^2]$

$$A_{FVT} \approx \frac{60\%}{30\%} \cdot \frac{3\,907,9}{1\,578,8 \cdot 1,1} = 4,502 \, m^2 \sim 2 \, ks \text{ (DUALSun Spring Shingle Black)}$$

Po dosazení příslušných dat získáme výslednou plochu kolektorového pole a tuto hodnotu budeme dále využívat pro získání orientačního počtu FVT kolektorů. Výsledek je závislý na kvalitě kolektorů a může se značně lišit. Pro nás modelový dům počítáme s 2 ks FVT kolektorů.

5.6.4 Parametry kapalinového FVT kolektoru

Na základě vypočtených dat produkce tepelné energie pro ohřev teplé vody a produkce elektrické energie se přikláním k variantě systému s využitím nezaskleného FVT kolektoru, a to z důvodu vyšší produkce elektrické energie. V níže uvedené jsou sepsány technické parametry zvoleného FVT kolektoru DUALSun Spring Shingle Black.

Tabulka 4 Příklad parametrů nezaskleného DUALSun Spring 375 FVT kolektoru

DUALSun Spring 375 Shingle Black (nezasklený typ)		
Physical characteristics		
A	1,876	[m ²]
m	32,1	[kg]
h	35	[mm]
Photovoltaics characteristics		
\dot{Q}_e	375	[W _p]
η_{el}	20,0	[%]
I_{mp}	9,36	[A]
I_{sc}	10,02	[V]
Thermal characteristics		
\dot{Q}_t	660,0	[W _t /m ²]
η_o	58,2	[%]
a_1	7,4	[W/m ² K]
a_2	0,0	[W/m ² K]
\dot{m}	60 (0,01)	[l/h] ([kg/s])
<i>medium</i>	40% glykol-water	[-]
c_p	3 800	[kJ/kg.K]

5.6.5 Bilanční analýza FVT kolektoru pro modelový dům

Se stále snižujícími cenami FV panelů je aplikace FVT kolektorů na rodinný dům stále investičně náročná, avšak z budoucího hlediska ekologičtější při zaměření se na přípravu TV. Při přípravě TV v rodinném domě, jak uvádí Pokorný [24] lze dosáhnout vyšších úspor CO₂ na m² plochy střechy. FVT kolektory mohou mít v budoucnu možnost z pohledu celkových investičních, tak provozních nákladů značný ekonomický přínos.

5.6.5.1 Vzorová simulační analýza dle Pokorného [24]

Příklad simulační analýzy, která byla provedena pomocí zaskleného FVT kolektoru a následujících kritériích jako byl objem zásobníku 340 l, plocha FVT kolektorů 6,8 m² (4 ks FVT 1,7 m²), orientace na jih, sklon kolektorů 45°, průtok teplotonosné látky 0,01 kg/s, spotřeba studené vody 200 l/den, požadovaná teplota výstupní teplé vody 55 °C a klimatické podmínky pro Prahu [24]. Výsledky simulace solární soustavy s FVT kolektory pro přípravu teplé vody v rodinném domě lze vidět níže (viz Tabulka 5).

Tabulka 5 Simulace soustavy s FVT kolektory pro přípravu TV v rodinném domě

Analýza [24] 1ks FVT	Tepelný zisk FVT kolektoru [kWh/rok]	Elektrický zisk FVT kolektoru [kWh/rok]
FVT typ 1 (neselektivní)	412,75	157,75
FVT typ 2 (selektivní)	450,75	161,5

5.6.5.2 Vlastní bilanční analýza

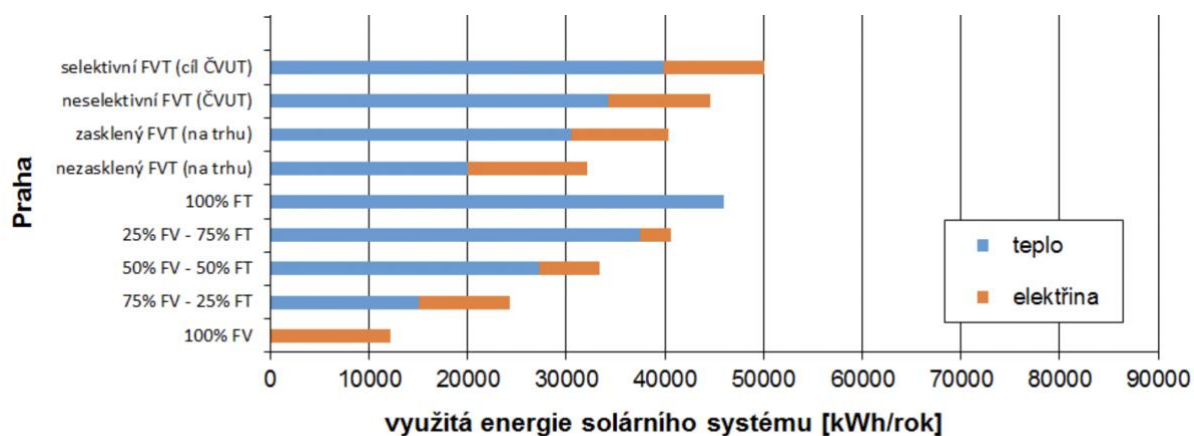
Solární tepelná energie spočívá v transformaci energie slunečního záření na tepelnou energii. Čím vyšších teplot se má dosáhnout, tím vyšší jsou i technické nároky. Jako další krok při výpočtu vlastní bilanční analýzy FVT kolektoru jsem za pomoci vytvořeného výpočtového modelu v Excelu pracujícího dle normy TNI 73 0302 a 15316-4-3 (060401) získal hodnoty produkce tepelné energie a energie elektrické [kWh/rok].

Norma TNI 73 0302 uvádí zjednodušený výpočtový postup pro energetické hodnocení solárních tepelných soustav v základních aplikacích (příprava teplé vody, vytápění, ohřev bazénové vody) za jednotných okrajových podmínek pro výpočet měsíční bilance a ČSN EN 15316-4-3 (060401) pro produkci elektrické energie dle TNI 73 0302 [42] a ČSN EN 15316-4-3 [47]. Prvním krokem bylo stanovit celkovou hodnotu produkce tepelné energie a energie elektrické. Jako další krok bylo následně provedení hodinové bilance.

Tabulka 6 Produkce (1 ks FVT kolektoru) tepelné energie pro přípravu TV a produkce elektrické energie

Roční bilance FVT kolektoru	Počet	Tepelný zisk FVT kolektoru [kWh/rok]	Elektrický zisk FVT kolektoru [kWh/rok]
DUALSun Spring 375 Shingle Black (nezasklený)	1 ks	353,89	251,44

Dle Matušky [61] a jeho prezentace, kde uvádí bilanci selektivního, neselektivního FVT kolektoru společně se zaskleným a nezaskleným FVT kolektorem o kolektorové ploše 100 m² je vidět, že nezasklený FVT kolektor disponuje vyšší produkcí elektrické energie, ale naopak menší produkcí energie tepelné. Tento poměr se potvrdil při výpočtu vlastní bilanční analýzy pro nezasklený typ FVT kolektoru značky DUALSun Spring Shingle Black. Celkové porovnání lze vidět níže (viz Obrázek 30).



Obrázek 30 Využitá energie solárního systému pro 100 m² kolektorové plochy [61]

5.6.5.2.1 Produkce tepelné energie na ohřev TV

Celková energie, kterou budeme muset odebrat ze sítě k pokrytí potřeby tepla na ohřev TV (elektrický dohřev), činí rozdíl potřeby tepelné energie na ohřev TV a produkce tepelné energie z FVT kolektoru. Výpočet denní a roční potřeby tepelné energie je znázorněn níže.

$$Q_{TV,d} = \frac{(1+z) \cdot \rho \cdot c_p \cdot V_{2p} \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} = \frac{(1+0,5) \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot 41 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} = 12,78 \text{ kWh/d}$$

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_{TV} - t_{SVL}}{t_{TV} - t_{SVZ}} (N - d)$$

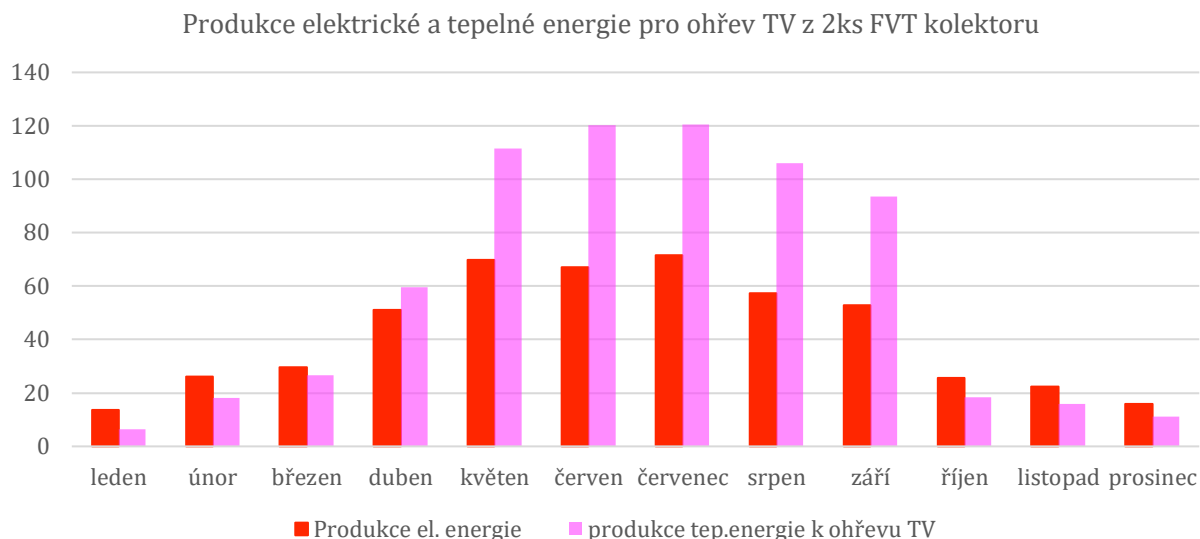
$$Q_{TV,r} = 12,78 \cdot 221 + 0,8 \cdot 12,78 \cdot \frac{55 - 10}{55 - 15} (350 - 221) = 3\,907,4 \text{ kWh/rok}$$

Výsledná spotřeba energie je rozdíl spotřeby tepelné energie na ohřev TV a produkce tepelné energie na ohřev TV, a to znamená, že v případě aplikace FVT kolektoru DUALSun Spring, bude nutné dodat do systému zbylých 3 199,6 kWh/rok. Solární pokrytí činí 18,1 %.

Tabulka 7 Roční bilance produkce tepelné energie z 2ks FVT kolektoru

	průměrná venkovní teplota t _e	produkce 2ks FVT [kWh]	
		elektrická energie	tepelná energie
leden	0,48	13,6	6,3
únor	3,51	26,0	18,1
březen	3,90	29,5	26,6
duben	11,45	51,2	59,6
květen	14,62	69,8	111,5
červen	17,94	67,0	120,3
červenec	20,17	71,5	120,5
srpen	18,68	57,4	105,9
září	17,69	52,9	93,5
říjen	8,76	25,7	18,4
listopad	3,38	22,3	15,9
prosinec	0,70	16,0	11,1
Suma 2ks FVT [kWh/rok]		502,90	707,80
Suma 1ks FVT [kWh/rok]		251,45	353,90

Celková tepelná energie, kterou dvojice (2 ks) FVT kolektorů je schopna vygenerovat je rovna 707,8 kWh/rok, ale pouze v případě, že veškeré přebytky této energie budou spotřebovány. Tato úvaha je zanesena v níže uvedených výpočtech. Celková produkce elektrické energie činí 502,9 kWh/rok. U obou případů se jedná o hodinový součet produkce elektrické a tepelné energie vycházející z vytvořeného výpočtového modelu. Výsledná celoroční hodinová bilance produkce tepelné energie na ohřev TV a produkce elektrické energie (viz Obrázek 31) v jednotlivých měsících je uvedena níže.



Obrázek 31 Roční bilance produkce elektrické a tepelné energie z FVT kolektorů

a) Úvaha: Přebytky tepelné a elektrické energie jsou spotřebovány

$$Q_{TV,r (2 ks FVT)} = Q_{TV,r} - P_{TV} = 3\,907,4 - 707,79 = 3\,199\, kWh \quad (5.16)$$

$$f = \frac{P_{TV}}{Q_{TV}} = \frac{707,8}{3\,907,4} = 18,1\, \%$$

$$Q_{EL (2 ks FVT)} = Q_{EL,r} - P_{EL} = 3\,745,1 - 502,9 = 3\,242,2\, kWh \quad (5.17)$$

$$f = \frac{P_{EL}}{Q_{EL}} = \frac{502,9}{3\,745,1} = 13,4\, \%$$

Pro porovnání bilance produkce tepelné energie pro ohřev TV jsem využil výpočtový program *BilanceSS_2015v3* na doporučení Ing. Romana Vavříčky, PhD. z Ústavu techniky prostředí ČVUT, který je v souladu s platnou normou TNI 73 0302:2014. Tato norma je využita i ve vytvořeném vlastním bilančním výpočtovém modelu. Výsledek výpočtu bilance dle ověřeného výpočtového programu od autorů, kterými jsou doc. Ing. Tomáš Matuška, PhD. a Ing. Bořivoj Šourek, PhD., je zobrazen níže (viz Obrázek 32).

Specifikace solárního kolektoru a solární soustavy

Druh: plochý Typ:

Optická účinnost η_0 0,621 -
 Koefficient ztráty a_1 7,4 W/m²K
 Koefficient ztráty a_2 0 W/m²K²
 Vztažná plocha kolektoru 1,87 m²
 Počet kolektorů 2 ks
 Plocha kolektorového pole 3,7 m²

Příprava teplé vody
 Střední denní teplota v solárních kolektorech 41 °C
 Srážka z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát 21 %
 Plocha apertury kolektoru 1,87 m²
 Sklon kolektorů 45°
 Azimut kolektorů 0°

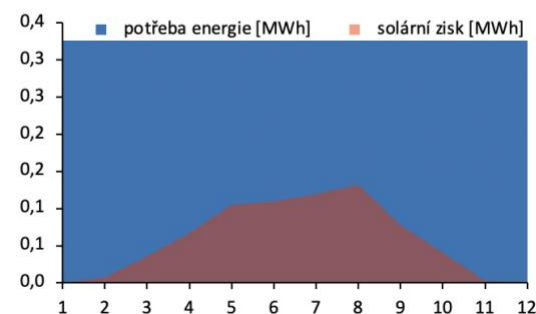
Výsledky výpočtu

PŘEPOČET HODNOT A KONTROLA

Souhrnné výsledky

Měsíc	t_{es} °C	G_m W/m ²	H_T kWh/m ²	η_k -	Q_p MWh	$Q_{k,u}$ MWh	Q_{ssu} MWh
Led	1,8	418	36	0,00	0,33	0,00	0,00
Úno	2,7	489	57	0,04	0,33	0,01	0,01
Bře	6,3	535	93	0,14	0,33	0,04	0,04
Dub	10,7	527	127	0,20	0,33	0,07	0,07
Kvě	16,0	521	147	0,27	0,33	0,10	0,10
Čer	18,6	517	136	0,30	0,33	0,11	0,11
Čvc	20,5	512	137	0,33	0,33	0,12	0,12
Srp	21,1	515	148	0,34	0,33	0,13	0,13
Zář	17,1	516	105	0,28	0,33	0,08	0,08
Říj	11,7	488	86	0,18	0,33	0,04	0,04
Lis	6,4	427	46	0,02	0,33	0,00	0,00
Pro	3,6	387	29	0,00	0,33	0,00	0,00
Celkem			1147		3,91	2,6048	0,70

Energetický zisk soustavy	0,70 MWh/rok
Měrný solární zisk	186 kWh/m ² .rok
Solární pokrytí	17,8 %



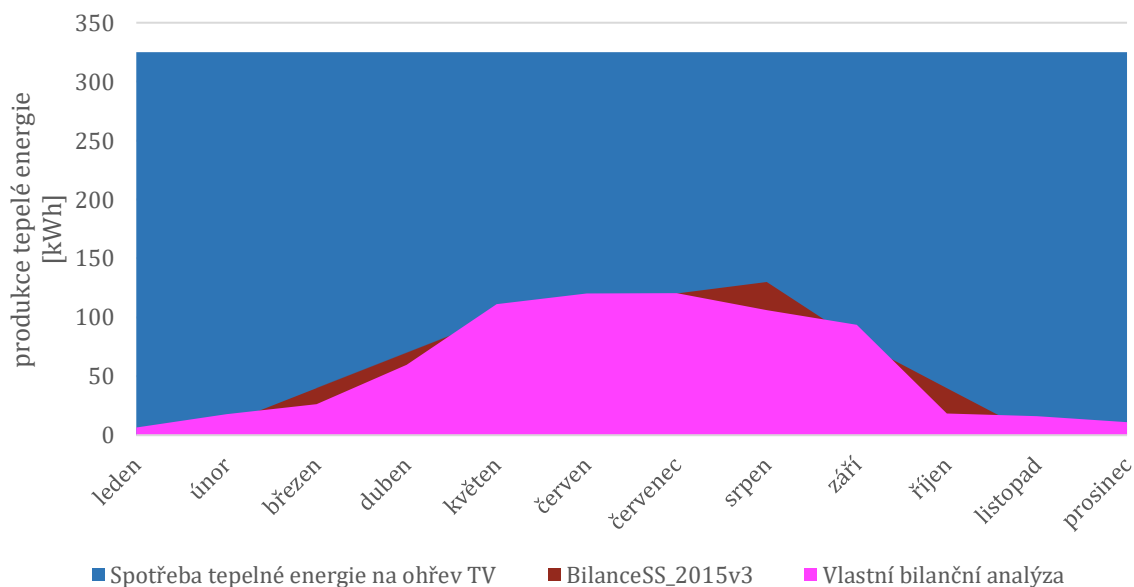
Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0302:2014

Autoři: T. Matuška, B. Šourek, 2015

Obrázek 32 Výpočetní program BalanceSSv3 v souladu s TNI 73 0302:2014

Ze srovnání bilance dle T. Matušky a B. Šourka z nástroje Balance_Ssv3 a vlastní bilanční analýzy došlo k potvrzení správnosti výpočtu při vlastním bilancování. Odchytky jsou způsobeny jinými klimatickými podmínkami, hodnotami slunečního ozáření a hodnotami slunečního svitu dle zvolené lokality.

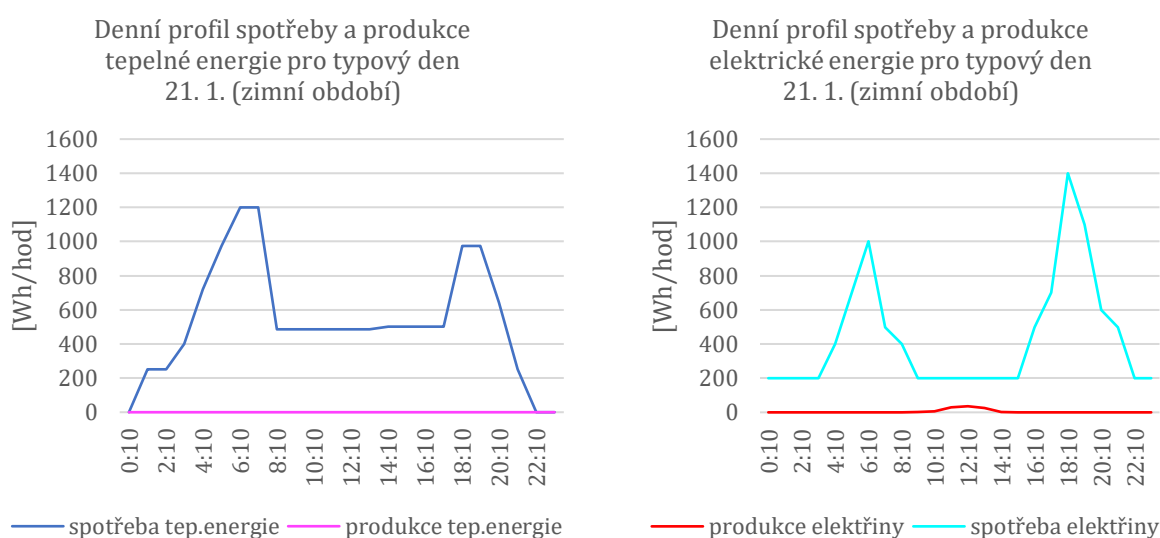
Porovnání bilančních výpočtů produkce tepelné energie pro přípravu TV dle jednotlivých výpočtových nástrojů



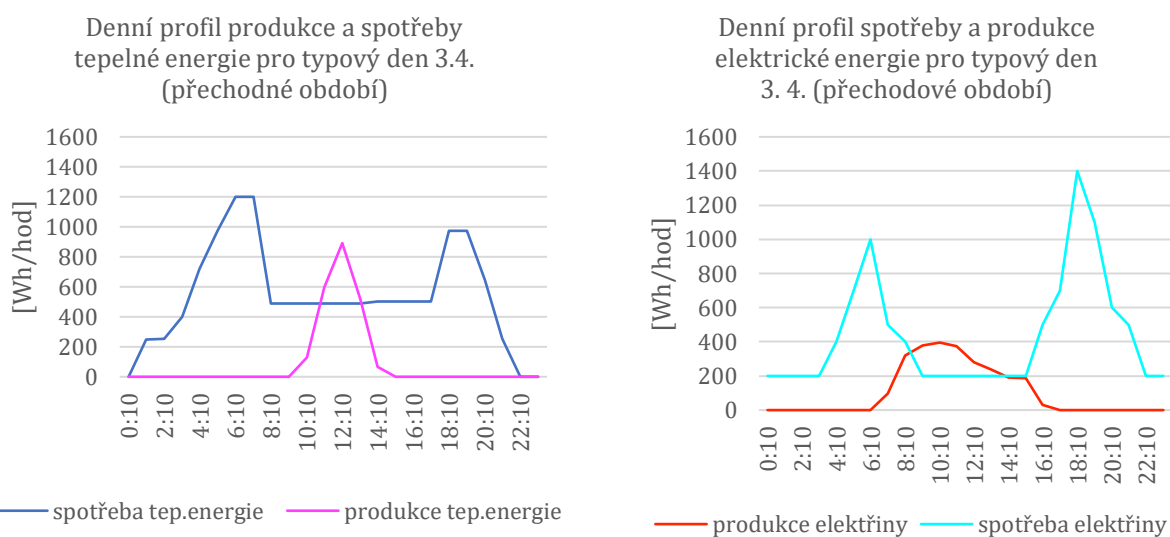
Obrázek 33 Porovnání bilančních výpočtů produkce tepelné energie pro přípravu TV dle jednotlivých výpočtových nástrojů

5.6.6 Denní (hodinová) bilance produkce tepelné energie na ohřev TV a elektrické energie

Denní bilanční analýzu jsem provedl pro čtyři typové dny ve čtyřech obdobích v průběhu roku. Letní období pro měsíc červenec, dále měsíc duben a říjen pro přechodové období a pro zimní období jsem zvolil typový den pro měsíc prosinec. Za pomoci dat získaných z PVGIS [9] a ČHMÚ [15] pracujících na principu výše uvedených výpočtových principů dle norem ČSN ISO 9806 [27], TNI 73 0302 [42] pro termickou část FVT kolektoru a ČSN EN 14316-4-3 pro bilanci fotovoltaické části FVT kolektoru [47] jsem vytvořil výpočtový model pro denní bilanci produkce tepelné energie FVT kolektoru. Výsledek exportu denní bilance produkce tepelné energie typových dnů je znázorněna (viz Obrázek 34–37). Na první pohled je důležité zmínit nutnost akumulace přebytků tepelné a elektrické energie v jednotlivých typových dnech.

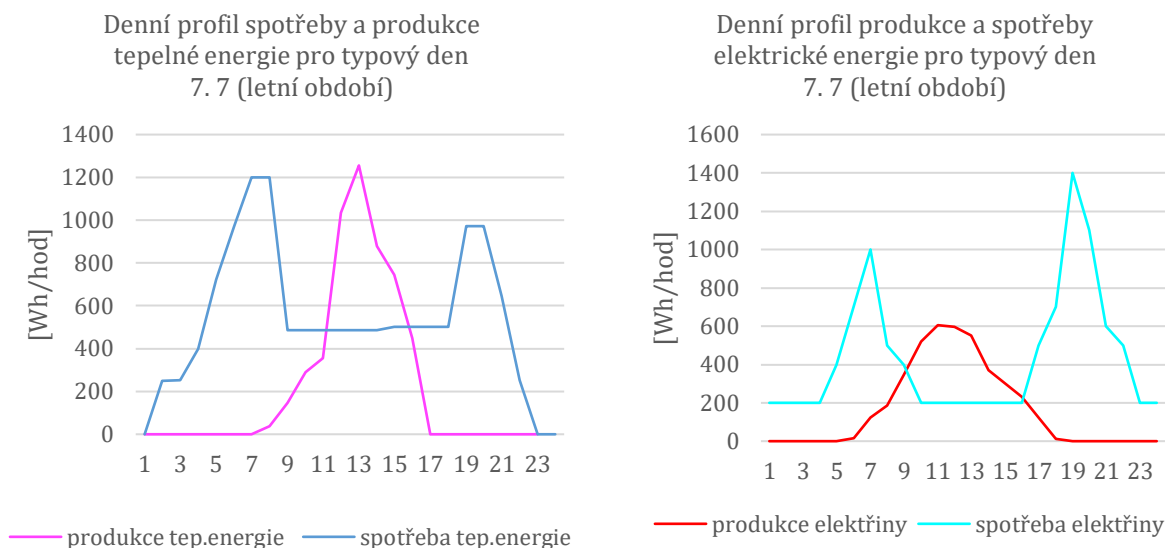


Obrázek 34 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (zimní období - leden) typový den 21. 1. 2016

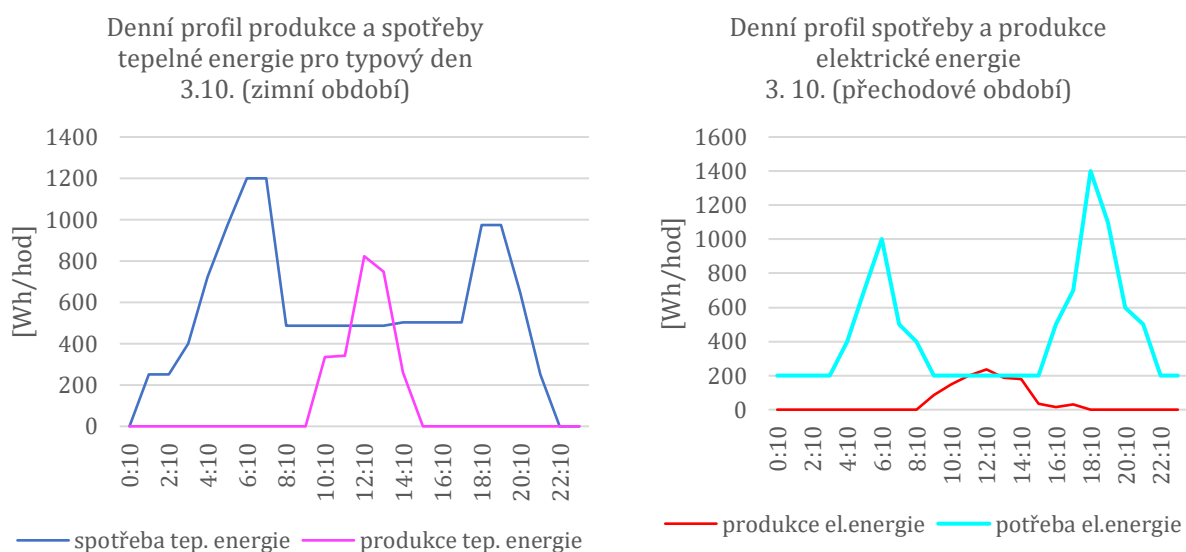


Obrázek 35 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (přechodové období - duben) typový den 03. 04. 2016

Pro bilanci v letním období jsem zvolil měsíc červenec z důvodu nejvyšší denní produkce tepelné energie.



Obrázek 36 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (letní období – červenec) typový den 07. 07. 2016



Obrázek 37 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (přechodové období – říjen) typový den 3. 10. 2016

5.6.7 Nakládání s přebytky tepelné a elektrické energie

Nárok na tepelnou pohodu v letním období způsobuje při aplikaci FVT kolektorů značné znevýhodnění, co se týče odběrových špiček, tzv. produkce elektrické a tepelné energie v odlišný čas aktuální spotřeby, než je produkce, viz kapitola 5.6.6., mohou tímto vznikat přebytky energie, kterou je nutno akumulovat. Možnosti akumulace elektrické energie a tepelné energie jsou následující:

- a) Možnosti nakládání s přebytky tepelné energie z FVT kolektorů

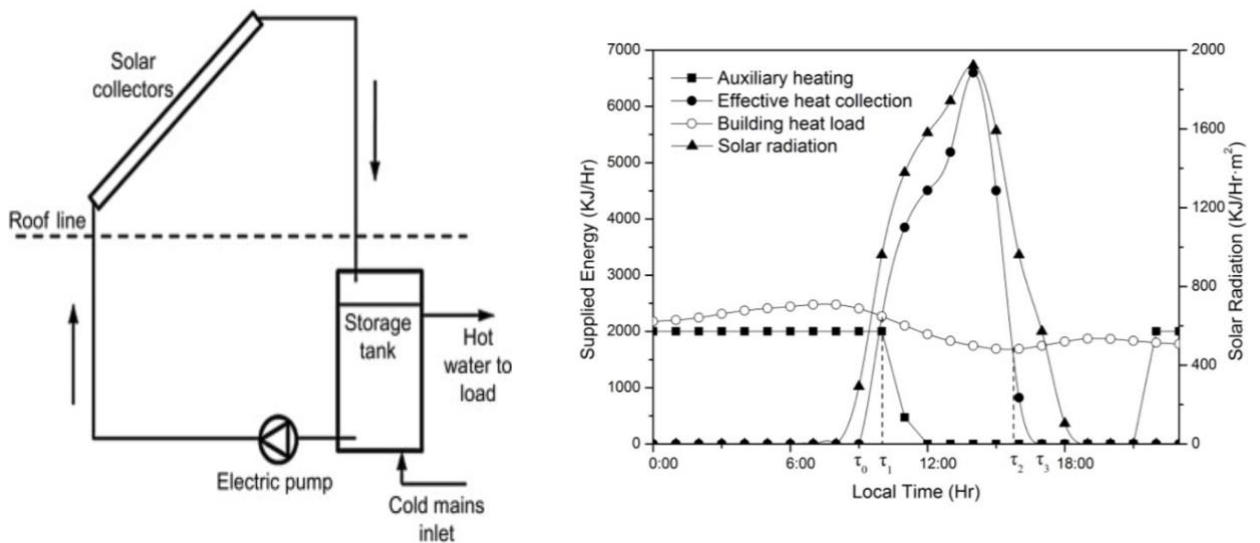
- Ohřev bazénové vody (*solární okruh je oddělen od bazénové vody výměníkem*), Solární chlazení, Akumulace, Zakrytí (zastínění) – systém Viessmann ThermoProtec

b) Možnosti nakládání s přebytky elektrické energie z FVT kolektorů

- Akumulace do vody, Akumulace do baterií, přetoky do sítě.

5.6.8 Výpočet velikosti akumulčního zásobníku

Celkový objem zásobníku by měl být dle [48] dvojnásobkem celkové spotřeby osob, které uvažují v modelovém domě. Jedná se o čtyři žijící osoby a spotřeba teplé vody činí 41 l/os. den.



Obrázek 38 Příklad aktivního solárního systému s akumulční nádrží a průběhu akumulace v průběhu typového dne [57], [58]

Typické velikosti zásobníku, jak uvádí Volker Quaschnig [48], je v rozmezí 300–400 litrů. V našem případě vyšla velikost zásobníku dle rovnice (5.18) 328 litrů. Volím tedy zásobník třístalitrový. Zvolený objem je naprosto dostatečný vzhledem k tomu, že nelze přesně odhadnout, jak se bude modelový dům a technologie v reálných podmínkách chovat. Výrobce FVT kolektoru DUALSun doporučuje dimenzovat objem zásobníku stejným způsobem jako Volker Quaschnig. Je možné, že bude docházet k určitým odchylkám, které nelze předpovídat. Celoroční spotřeba tepla na ohřev TV Q_{TV} [kWh/rok] činí 3 907,9 kWh/rok. Pokud je systém správně nadimenzován, je schopen například v jižních zemích pokrýt celou rodinnou spotřebu teplé vody.

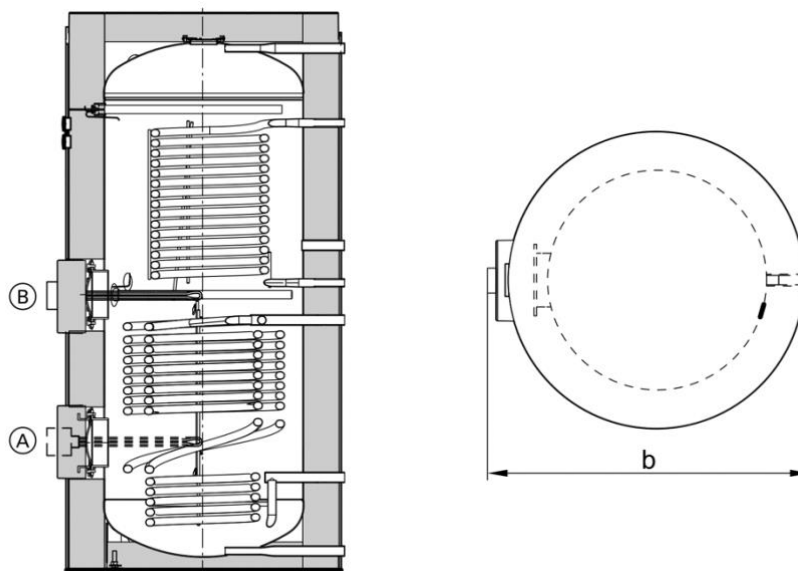
$$\begin{aligned}
 V_{storage\ tank} &= n \cdot P \cdot V_{osoby} \\
 V_{storage\ tank} &= 1,5 \cdot 4 \cdot 41 = 328\ l
 \end{aligned}
 \tag{5.18}$$

$V_{storage\ tank}$ – objem zásobníku [l]

P – počet osob žijících v modelovém domě [–]

n – koeficient 1,5

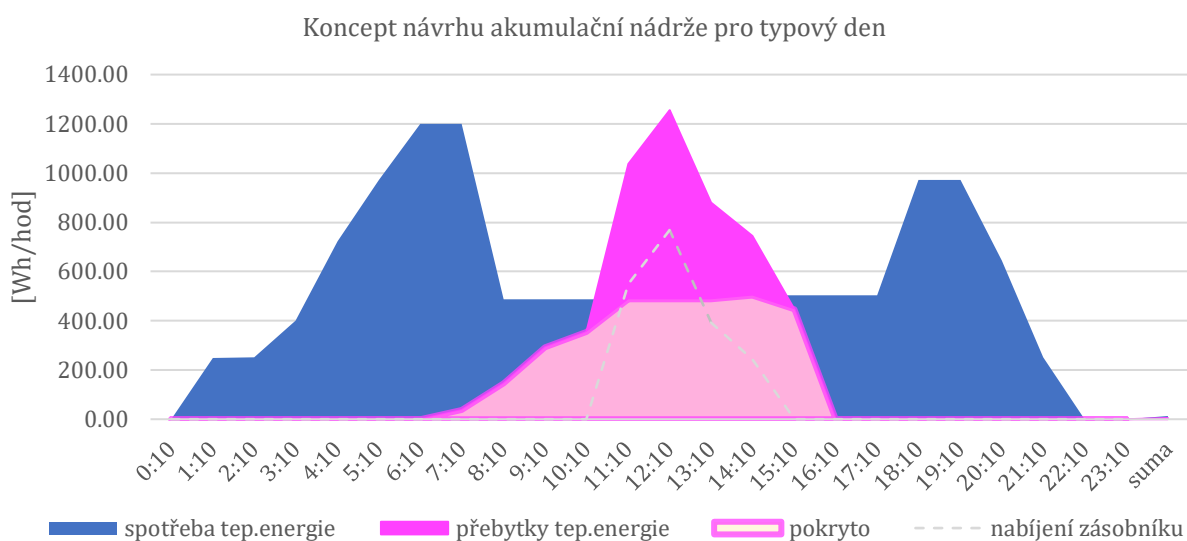
Velikost akumulční nádoby jsem navrhl v souladu s letním typovým dnem, kdy produkce tepelné energie bývá nejvyšší. V tomto případě je nutné zajistit, že veškeré přebytky energie lze akumulovat právě do akumulční nádrže. Solární soustava 2 ks FVT kolektorů je tedy dimenzována k pokrytí spotřeby v letním období, a to z pravidla za účelem vyloučení problematických stagnačních stavů při velké ploše solárních soustav. Přebytky tepelné



Obrázek 39 Akumulací zásobník Viessmann Vitocell 100-B včetně možnosti umístění elektrické topné vložky EHE [59]

energie lze přehledně akumulovat do 300litrového zásobníku značky Viessmann a typu Vitocell 100-B/ typ CVBB. Jedná se o nerezový zásobník, který se běžně používá v kombinaci se solárním ohřevem TV, který lze dodatečně vybavit zařízením s elektrickou topnou vložkou EHE, která slouží jako bivalentní zdroj a lze zkombinovat s vyrobenou elektřinou například z fotovoltaické části FVT kolektorů. Zapojení FVT kolektorů uvažuji sériové s napojením na hybridní střídač s akumulátory elektrické energie, aby docházelo ke kontinuální spotřebě elektrické energie, když je potřeba. V případě přebytků elektrické energie lze využít EHE topné vložky v zásobníku a usnadnit tak ohřev teplé vody, nebo právě vyrobenou a nespotřebovanou elektrickou energii uskladnit v akumulátoru. Technické parametry zásobníku Vitocell 100-B/ typ CVBB má rozměry $b = 850$ mm, kdy označení A. a B. značí možnost umístění elektrické topné vložky, která může být instalována volitelně do obou poloh. Jedná se o zásobníkový ohřívač vody z oceli se smaltováním Ceraprotect s dvěma navařenými jímkami pro teplotní čidlo nebo regulátor teploty.

Níže (viz Obrázek 40) je znázorněné porovnání profilu spotřeby (modrá plocha) a produkce tepelné energie (fialová plocha) včetně přebytků (fialová tmavá plocha). Tento profil lze zkonstruovat pouze s náležitými vstupními daty, jako denní spotřeba tepelné energie na ohřev TV, hodnota slunečního záření G [W/m^2], klimatická data pro danou lokalitu a průběhu odběru TV. Hodnota přebytků energie se rovná 1 954 kWh/hod, hodnota produkce v tomto dni je rovna 5 193,45 kWh/hod. Hodnota denní spotřeby tepelné energie je rovna 12 780 kWh. Profil spotřeby tepelné energie odpovídá čtyřem osobám v domácnosti, rodině s dětmi. Pokud je v domácnosti odběr tepelné energie, světle růžová plocha se ihned spotřebuje, jakmile dochází k přebytkům, tak šedá čárkovaná křivka znázorňuje nabíjení akumulčního zásobníku. Pokud by odběr tepelné energie přes den byl nulový, tak lze veškeré přebytky akumulovat právě do 300litrového zásobníku.



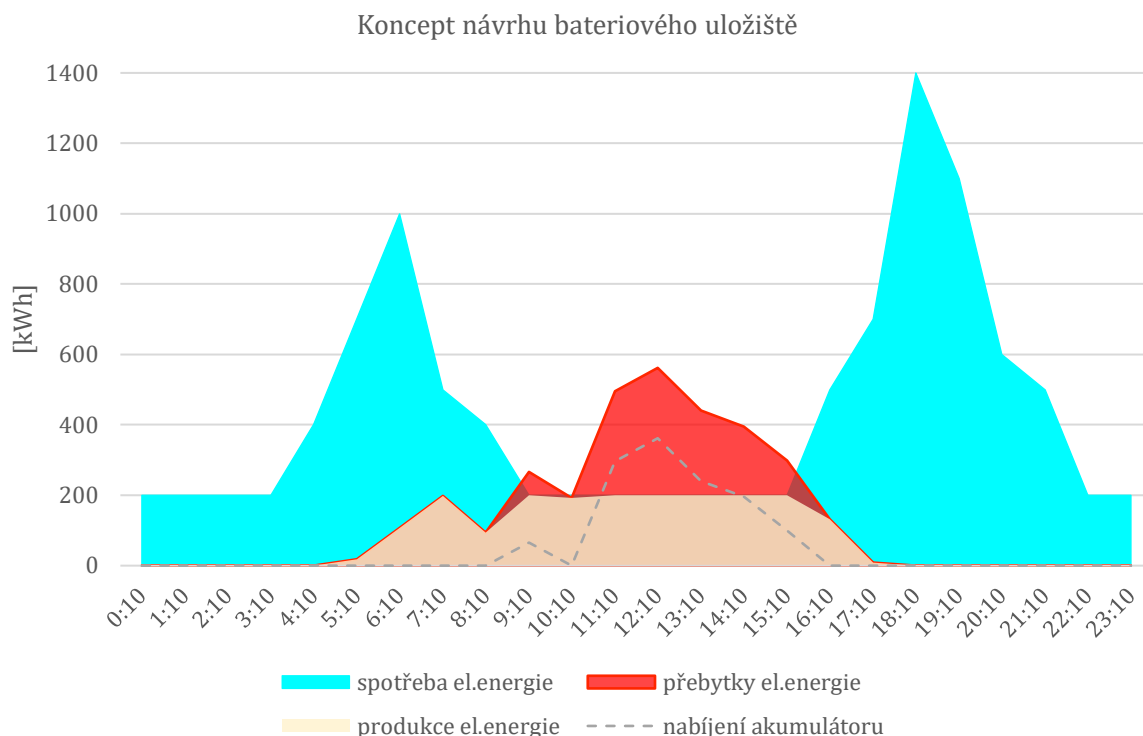
Obrázek 40 Koncept návrhu akumulční nádrže (7.7)

5.6.9 Volba velikosti bateriového uložení

Z důvodu předpokladu přebytků při produkci elektrické energie je důležité zajistit akumulaci této formy energie, a to nejlépe do baterií, z kterých lze dále napájet běžné spotřebiče v případě potřeby. Úvaha o správném výpočtu kapacity bateriového uložení velikost bateriového uložení dimenzují na trojnásobek hodnoty přebytků pro 3denní akumulaci v modelovém domě. Typový den pro návrh bateriového uložení je zvolen 7. července 2016, jehož průběh je znázorněn (viz Obrázek 39), kdy světle modrá plocha charakterizuje hodinový profil spotřeby elektrické energie. Červená plocha charakterizuje hodinový profil přebytků elektrické energie, které je nutno akumulovat. Pro tento charakteristický den je hodnota přebytků rovna 1,258 kWh/den. Kapacita bateriového uložení by tedy byla následující.

$$C = P \cdot n = 1,258 \cdot 3 = 3,774 \text{ kWh} \sim \text{volím } 3,5 \text{ kWh} \quad (5.19)$$

Bateriové uložení je zvoleno o nejbližší možné dostupné kapacitě, a to 3,5 kWh. Tato kapacita by tak měla pokrýt až třídní akumulaci hodnoty přebytků. Výrobce bateriového uložení je zvolen Pylontech US3000B - 3,5 kWh.



Obrázek 41 Koncept návrhu bateriového uložení

5.6.9.1 Pravděpodobnost odchylek

Provedené výpočty mají přirozeně určité nepřesnosti. Produkce tepelné energie a produkce elektrické energie z FVT kolektorů se může lišit v reálných podmínkách hned v několika parametrech. Například reálné chování osob v domácnosti, s čímž souvisí následná spotřeba a profil spotřeby tepelné a elektrické energie. Proto v mé diplomové práci řeším koncepci návrhu ústředního vytápění se spoluprací FVT kolektoru a tepelného čerpadla aplikované na modelový dům ve fázi projektu a výkresové dokumentace. Pravděpodobnost odchylek může být v reálné aplikaci způsobena i místními klimatickými podmínkami danými lokací stavby, tedy našeho modelového objektu.

5.6.9.2 Výpočet výkonu elektrické topné vložky

Systém FVT kolektorů je však závislý například na hodnotě slunečního záření, a pokud tato hodnota v průběhu dne kolísá, tak teplota vody nedosáhne požadovaných parametrů a systém vyžaduje doplňkový zdroj (bivalentní zdroj). Bivalentní zdroj, v našem případě elektrická topná vložka, která musí splňovat takové parametry, aby v době nulové a menší produkce, než je aktuální spotřeba teplé vody zajistil dohřátí vody v akumulacní nádrži na požadovanou teplotu. Tento výkon elektrické topné vložky, je určen dle rovnice (5.20).

$$Q_{BZ_min} = \frac{Q_{TV,d}}{\tau} = \frac{12,78 \text{ kWh}}{24 \text{ h}} \geq 0,536 \text{ W} \quad (5.20)$$

Q_{BZ} – minimální výkon elektrické topné vložky

$Q_{TV,d}$ – denní spotřeba teplé vody

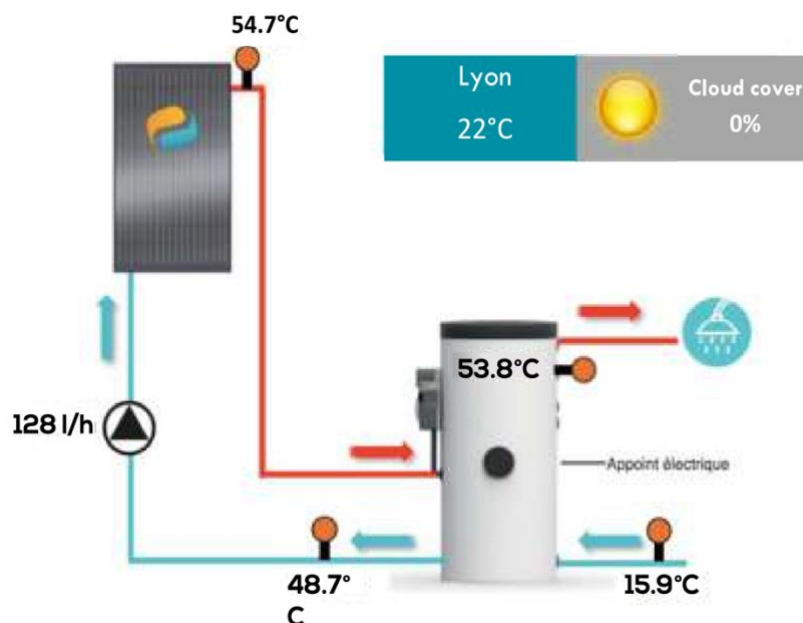
τ – časový interval

Elektrická topná vložka EHE má možnost použití jen u měkké a středně tvrdé vody do 14 °dH (stupěň tvrdosti 2, 2 mol/m³). Rozsah výkonu je dle výrobce 2, 4 a 6 kW. Doba ohřevu vody z 10 °C na 60 °C je dle výrobce pro objem nádrže 300 l následující.

Tabulka 8 Technické údaje elektrické topné vložky EHE ve spojení s Vitocell 100-B

Výkon EHE	[kW]	2	4	6	Umístění EHE v nádrži
Doba ohřevu z 10°C na 60 °C	[h]	7,2	3,6	2,4	spodní část (A)

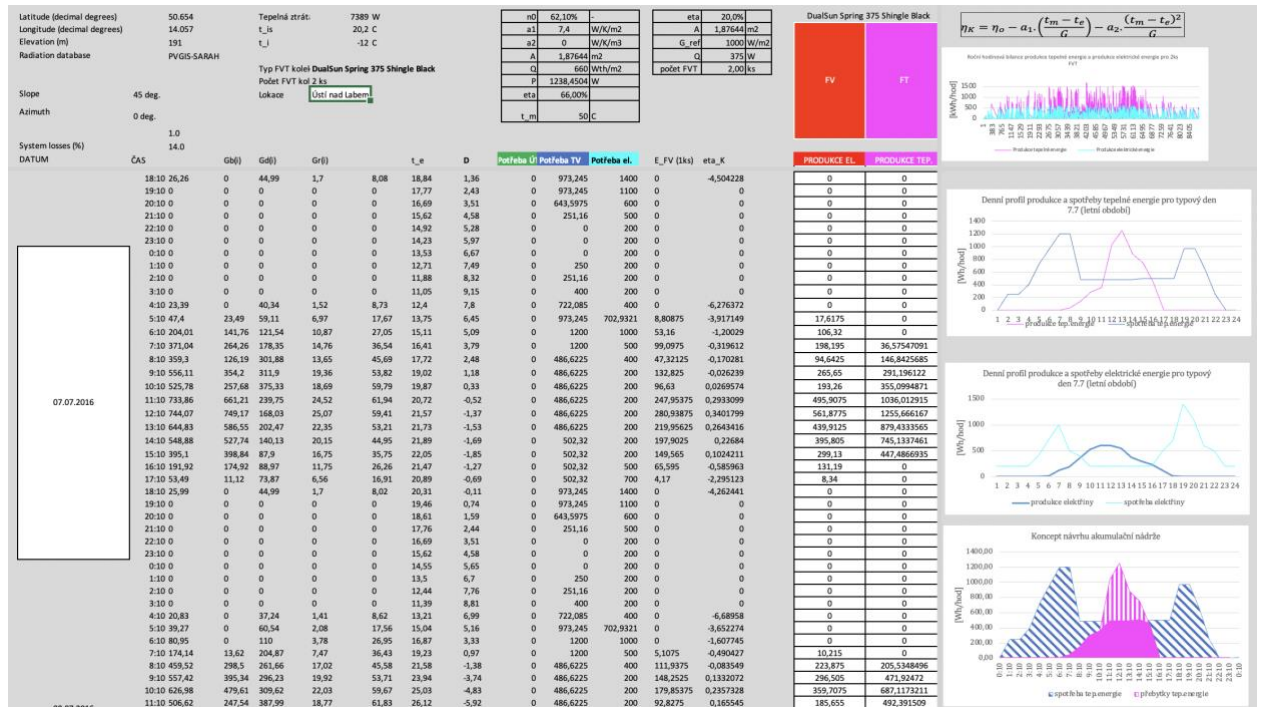
Pro zajištění tepelného komfortu a nám bude stačit výkon elektrické topné vložky o výkonu 4 000 W při době nahrátí 3,6 hod. Regulace EHE topné vložky funguje na principu ON-OFF a 0-100 %.



Obrázek 42 Příklad instalace FVT kolektoru s akumulací tepelné energie a elektrickou topnou vložkou pro zásobování domácnosti teplou vodou pro Lyon – Francie [60]

5.6.10 Rozhraní výpočtového modelu pro bilanci FVT kolektoru

Výpočtový model vychází, jak bylo zmíněno v kapitole 5.6.6, z hodinových dat z PVGIS [9] dle posledních nej dostupnějších dat pro rok 2016 [9] a dat z ČHMÚ [15]. Model pracuje na bázi výpočtových principů dle norem ČSN EN 15316-4-3[47], TNI 73 0302[42] a ČSN ISO 9806 [27]. Níže (viz Obrázek 43) je znázorněn příklad rozhraní výpočtového modelu v MS Excel.



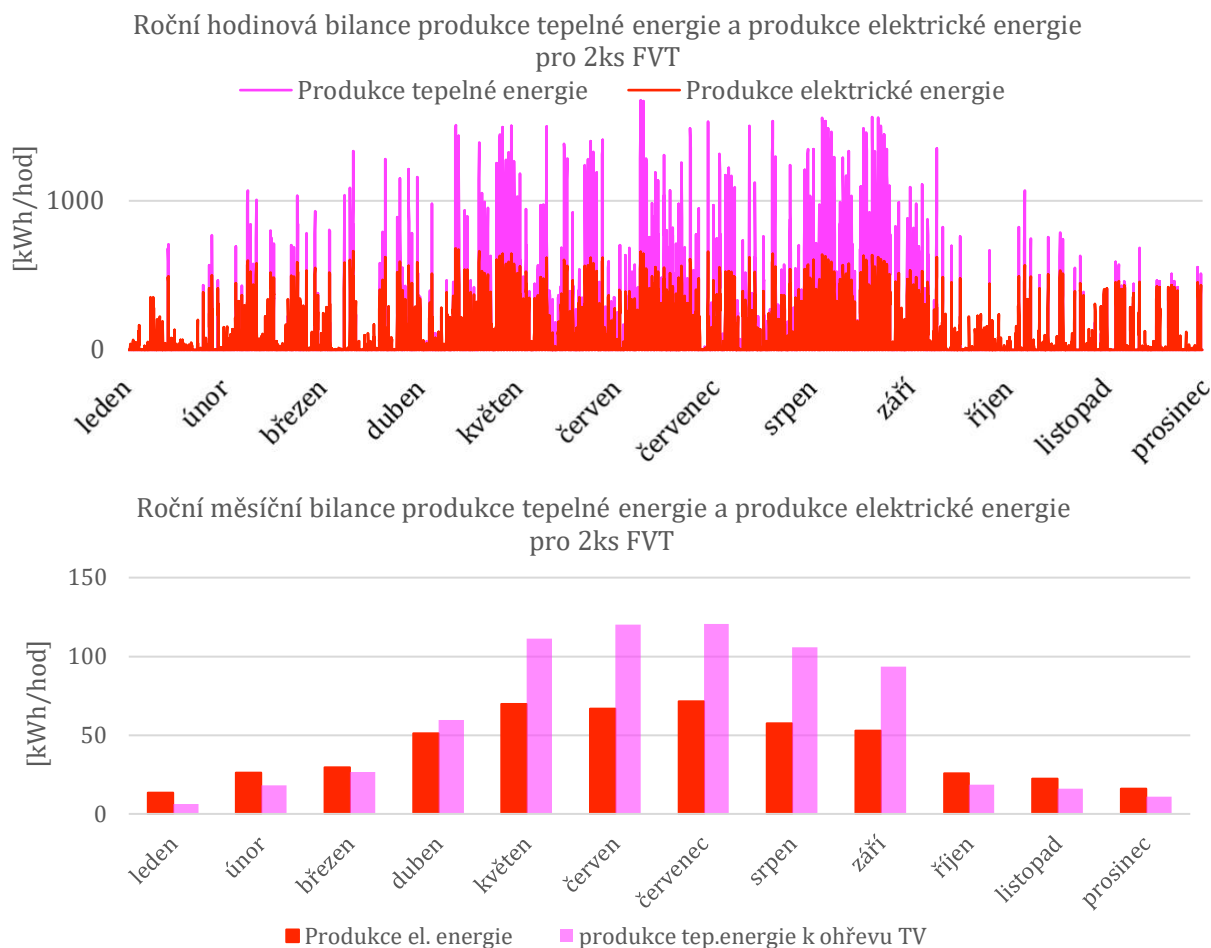
Obrázek 43 Příklad rozhraní vytvořeného výpočtového modelu pro bilanci FVT kolektoru pro typový den v letním období (červenec)

5.6.11 Vyhodnocení

Vlastní provedená bilance 2 ks FVT kolektorů značky DUALSun Spring 375 Shingle Black [49] byla provedena pro dvě aplikace použití. Produkce tepelné energie je dále využita k ohřevu TV s možností akumulace v případě přebyteků. Produkce elektrické energie je využívána k zásobování běžné spotřeby elektrické energie s možností akumulace do baterie o výkonu 0,9 kWh. Výsledkem bilance je zhodnocení bilance FVT kolektoru pro modelový objekt této diplomové práce. Po provedených výpočtech, provedené denní bilanci a získání hodinového průběhu produkce elektrické a tepelné energie byl vytvořen profil obou produkci (viz Obrázek 44).

Při úvaze, že veškeré přebyteky lze akumulovat buď do vody nebo do baterie je výsledné snížení předpokládané spotřeby tepelné energie o 18,11 % původní spotřeby. U elektrické energie lze předpokládat snížení o 13,43 %. Pro vyšší pokrytí spotřeby elektrické energie by bylo nutností zvýšit počet FVT kolektorů. Zvýšení kolektorů by však způsobilo i nadměrnou produkci tepelné energie, kterou by nebylo již kam ukládat a mohlo by tak docházet k degradaci FVT kolektoru. Veškerou spotřebu, kterou nelze pokrýt produkcí tepelné energie, je nutné pokrýt elektrickou energií ze sítě.

Celoroční bilance produkce elektrické a tepelné energie pro přípravu teplé vody je znázorněna níže.



Obrázek 44 Roční hodinová bilance produkce elektrické a tepelné energie na ohřev TV

Tabulka 9 Vyhodnocení předpokládané bilance 2 ks FVT kolektorů

Bilance aplikace FVT kolektoru (období pro rok 2016)	
Typ FVT kolektoru	DUALSun Spring 375 Shingle Black
Počet FVT kolektorů	2 ks
Před aplikací 2ks FVT kolektorů	
Spotřeba tepelné energie na ohřev TV	3 907,2 kWh/r
Spotřeba elektrické energie	3 745,0 kWh/r
Po aplikaci 2ks FVT kolektorů	
Produkce tepelné energie	707,8 kWh/r
Produkce elektrické energie	502,9 kWh/r
Výsledná bilance	
Výsledná spotřeba tepelné energie na TV	3 199,6 kWh/r
Výsledná spotřeba električiny	3 242,2 kWh/r
Celková spotřeba energie na ohřev TV a el.	6 441,8 kWh/r

5.7 Postup při návrhu tepelného čerpadla (vzduch-voda)

5.7.1 Podmínky provozu

Dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.5/2021, ze dne 28. 5. 2021, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice je známo, že tepelné čerpadlo jako zdroj takový náleží k sazbě D57d. „Tato sazba může být přiznána od 1. dubna 2016. Přiznáním sazby se rozumí uzavření první smlouvy o zajištění služby distribuční soustavy nebo smlouvy o sdružených službách dodávky elektřiny s touto sazbou“ [50]. Instalovaný příkon systému vytápění s tepelným čerpadlem musí činit alespoň 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem v odběrném místě. Sazbu lze přiznat v tom případě, jeli splněna výše zmíněná podmínka, nebo jeho tepelný výkon pokrývá tepelnou ztrátu objektu, anebo odpovídá až 80 % pokrytí dílčí potřeby tepla na vytápění uvedené v průkazu energetické náročnosti budovy [50].

U volby provozu tepelného čerpadla se objevují dva pojmy, a to na jedné straně provoz monovalentní, kdy jediným prvkem vytápění je tepelné čerpadlo pracující bez doplňujících zdrojů a je dimenzováno na pokrytí 100 % tepelné ztráty objektu [50]. Na straně druhé je paralelně–bivalentní provoz tepelného čerpadla, kdy předpokládáme že bod bivalence odpovídá venkovní teplotě, do které je tepelné čerpadlo schopné pokrýt potřebu tepla na vytápění bez nutnosti použití druhého zdroje tepla. Při překročení bodu bivalence se dále uvažuje doplňující zdroj (bivalentní).

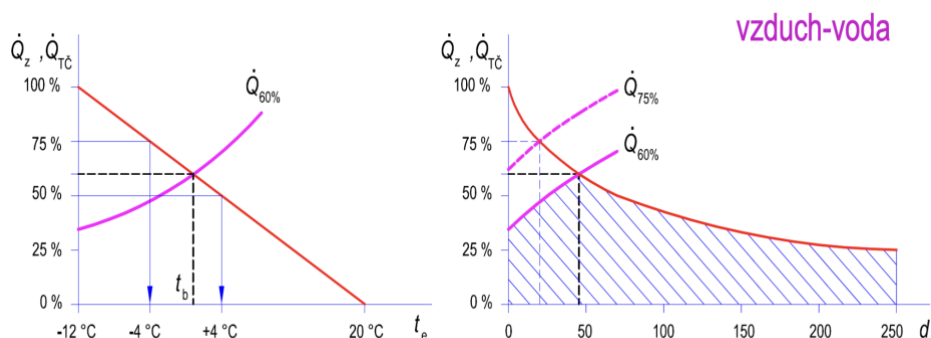
5.7.2 Dimenzování výkonu tepelného čerpadla

Tepelná ztráta objektu činí 7,389 kW, známe tedy potřebný tepelný výkon tepelného čerpadla. Pro tuto diplomovou práci jsem zvolil německého výrobce tepelných čerpadel Stiebel Eltron. Typ, který jsem zvolil je Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS (viz. Příloha 10., technický list tepelného čerpadla). Výkon tepelného čerpadla lze též naddimenzovat pro čtyřhodinové blokování provozu tepelného čerpadla systémem HDO. V České republice je většinou nízká sazba elektrické energie v délce trvání celkem 20 hodin denně (NT) a 4 hodiny denně trvá vysoká sazba (VT). V technickém listu tepelného čerpadla viz (příloha 10.) jsou parametry tepelného čerpadla, ze kterých jsem dále čerpal a využíval dále tato data k energetické bilanci tepelného čerpadla. Zvolené tepelné čerpadlo je v této příloze šedě vyznačeno. Jedná o tepelné čerpadlo vzduch-voda, které se vyznačuje nízkou hlučností a tím pádem je i vhodné pro využití v husté zástavbě. Celý systém je vhodný pro využití s podlahovým vytápěním. V technickém listu se tedy věnuji převážně hodnotám, u kterých je uvedeno „W35“.

5.7.3 Určení bodu bivalence

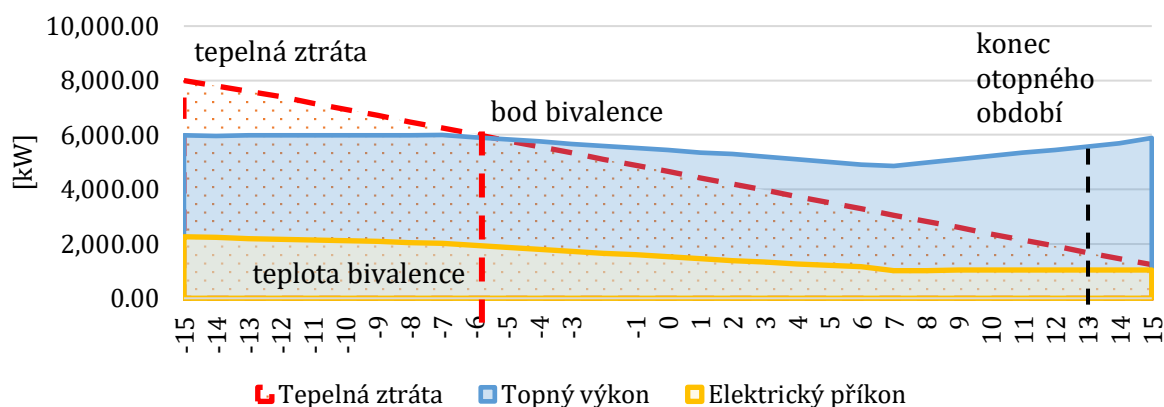
Pro vytápění vybraného objektu jsem zvolil tepelné čerpadlo Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS. Dle provedených výpočtů znázorněných (viz Tabulka 11) a (viz Obrázek 45). lze pozorovat, že tepelné čerpadlo a jeho topný faktor (COP) se mění aktuální venkovní teplotou. Tepelné čerpadlo jsem dimenzoval na paralelně–bivalentní provoz, to znamená že v při dosažení určité venkovní teploty sepíná bivalentní zdroj a společně s ním funguje i tepelné čerpadlo. Vhodnou dobu sepnutí bivalentního zdroje řídí regulace

tepelného čerpadla [51]. Průběh závislosti výkonu tepelného čerpadla na pokrytí roční potřeby tepelné energie je znázorněn níže.



Obrázek 45 Závislost výkonu tepelného čerpadla na pokrytí roční potřeby energie [52]

Bod bivalence (viz Obrázek 44), kde je znázorněna závislost tepelného výkonu čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 CS PLUS o výkonu 6 kW na tepelné ztrátě objektu. Důležité je si uvědomit, že při dosažení venkovní teploty nad +13 °C již končí otopné období, jak tvrdí Matuška [52].



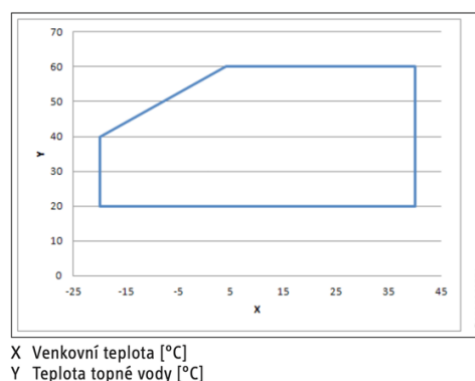
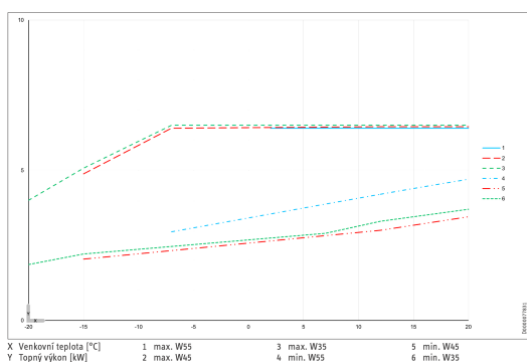
Obrázek 46 Závislost tepelné ztráty a výkonu tepelného čerpadla na venkovní teplotě Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus

Dále jsem odečetl přesnou hodnotu bodu bivalence tepelného čerpadla (viz Obrázek 46). Bod bivalence nastává při parametrech -5 °C (5 912,5 W). Pro dimenzování tepelného čerpadla je stanovení bivalentního bodu rozhodující. Venkovní teploty v České republice jsou závislé na místních klimatických podmínkách. Protože se však v průměru pohybuje venkovní teplota pod -5 °C jen asi 20 dnů v roce, je pouze po těchto několik málo dnů v roce zapotřebí paralelní či alternativní systém vytápění. Potřeba energie na vytápění je tedy od průsečíku kryta právě doplňkovým zdrojem. Tepelný výkon čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus pokrývá přesně 79,92 % tepelné ztráty při bivalentním bodu (A-5/W35). Jak uvádí Matuška [52], tak při volbě tepelného zdroje pokrývajícího tepelnou ztrátu ze 70 % a využití tepelného čerpadla závislého na venkovních podmínkách (vzduch-voda), bude roční potřeba energie kryta tepelným čerpadlem ze 92 %. Výsledná potřeba tepelné energie by tedy byla rovna 14,0338 MWh. Mnou zvolené tepelné čerpadlo pokrývá 79,92 % tepelné ztráty a pokrytá potřeba energie na vytápění je tedy vyšší. Tato hodnota však bude vyšší vzhledem k vyššímu pokrytí tepelné ztráty a to 95 %.

5.7.4 Technické údaje

Tabulka 10 Technické údaje tepelného čerpadla SE HPA-O 6 CS Plus

Technické údaje STIEBEL ELTRON HPA-O 6 CS PLUS (podlahové vytápění)						způsob provozu ~ paralelně – bivalentní
t _{out} [°C]	t _{in} [°C]	Tepelná ztráta [W]	Topný výkon [W]	Příkon [W]	COP [-]	
-15	35	8 000,00	5 980,00	2 256,60	2,65	
-14	35	7 800,00	5 981,00	2 231,72	2,68	
-13	35	7 600,00	5 982,00	2 199,26	2,72	
-12	35	7 398,00	5 984,00	2 168,12	2,76	
-11	35	7 169,00	5 985,00	2 137,50	2,8	
-10	35	6 941,00	5 989,00	2 108,80	2,84	
-9	35	6 712,00	5 993,00	2 080,90	2,88	
-8	35	6 484,00	5 997,00	2 046,76	2,93	
-7	35	6 255,00	6 000,00	2 013,42	2,98	
-6	35	6 027,00	5 920,00	1 940,98	3,05	
-5	35	5 798,00	5 840,00	1 871,79	3,12	
-4	35	5 570,00	5 760,00	1 800,00	3,2	
-3	35	5 341,00	5 680,00	1 731,71	3,28	
-2	35	5 113,00	5 600,00	1 661,72	3,37	
-1	35	4 884,00	5 520,00	1 590,78	3,47	
0	35	4 656,00	5 440,00	1 519,55	3,58	
1	35	4 427,00	5 360,00	1 448,65	3,7	
2	35	4 199,00	5 300,00	1 391,08	3,81	
3	35	3 970,00	5 200,00	1 329,92	3,91	
4	35	3 742,00	5 100,00	1 268,66	4,02	
5	35	3 513,00	5 000,00	1 210,65	4,13	
6	35	3 285,00	4 900,00	1 150,23	4,26	
7	35	3 056,00	4 860,00	1 021,01	4,76	
8	35	2 828,00	4 980,00	1 024,69	4,86	
9	35	2 599,00	5 100,00	1 028,23	4,96	
10	35	2 371,00	5 220,00	1 031,62	5,06	
11	35	2 142,00	5 340,00	1 036,89	5,15	
12	35	1 914,00	5 460,00	1 040,00	5,25	
13	35	1 686,00	5 580,00	1 044,94	5,34	
14	35	1 458,00	5 700,00	1 047,79	5,44	
15	35	1 230,00	5 900,00	1 049,82	5,62	



Obrázek 47 Výkonový diagram HPA-O 6 CS Plus (topný výkon) a hranice použití pro vytápění dle [53]

5.7.5 Dimenzování bivalentního zdroje

Výkon bivalentního zdroje je rozdílem mezi potřebou tepelného výkonu a výkonem tepelného čerpadla při návrhových teplotách (-12 °C), které jsem odečetl (viz Tabulka 11). Výpočet potřebného výkonu bivalentního zdroje je uveden v rovnici (5.21).

$$Q_{\text{Bivalentní zdroj}} = T_Z - Q_{T\check{C} (A-12/W35)} = 7,398 - 5,981 = 1,417 \text{ kW} \quad (5.21)$$

Vypočtený výkon bivalentního zdroje by měl tedy dosahovat hodnoty minimálně 1,417 kW. Topné patrony v akumulární nádrži však budou dimenzovány o výkonu 2 x 1 kW. Při venkovní teplotě pod -20 °C a od bivalentního bodu již tepelné čerpadlo negeneruje žádný výkon a zdrojem vytápění se stává pouze bivalentní zdroj.

5.7.6 Výpočet velikosti objemu akumulárního zásobníku

Důležitý funkční prvek systému tvoří právě akumulární zásobník, který rovněž slouží pro snížení četnosti spínání tepelného čerpadla. Proto se doporučuje ověřit dobu chodu kompresoru pro nejnižší vyskytnutou předpokládanou spotřebu energie. Zbylé přebytky energie je nutné akumulovat pro běžný časový úsek (běžně 15 minut). Nevhodné je, aby tepelné čerpadlo fungovalo během letního období, kdy spotřeba energie je minimální, nebo nulová na vytápění a výkon tepelného čerpadla je vysoký. Velikost akumulárního zásobníku pro tepelné čerpadlo a jeho objemu se dimenzuje pomocí následujícího vztahu:

$$\frac{V}{Q_{T\check{C}}} = \frac{1000 \cdot \Delta\tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \quad (5.22)$$

kde je:

V	objem akumulárního zásobníku	[l]
$Q_{T\check{C}}$	topný výkon tepelného čerpadla při (A-15/W35)	[kW]
ρ	hustota vody pro střední teplotu 40 °C	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/(kg·K)]
Δt	ohřev zásobníku o 10 K nad požadovanou teplotu	[K]
$\Delta\tau$	minimální doba chodu (15 min)	[min]

$$V = 5,980 \cdot \frac{1\,000 \cdot 15 \cdot 60}{992,22 \cdot 4,318 \cdot 10} = 122,2 \text{ litrů}$$

Mnou zvolená velikost akumulárního zásobníku je zvolena nižší, než je hodnota vypočtená. Dle technických podkladů od výrobce se doporučuje velikost zásobníku 100 litrů. Rozměry splňují podmínku, aby se akumulární nádrž vešla do technické místnosti, jejíž světlá výška je 2 000 mm. Rozdíl v objemu činní oproti vypočtenému 22,2 litrů a tento rozdíl je zanedbatelný v porovnání s nejistotou odběru a chování modelového domu. Předpokládám tedy, že rozdíl nebude bránit v provozu objektu a zhoršení komfortu bydlení. Akumulace tepla pro TČ je zásadní hlavně pro překlenutí doby blokace chodu (20 + 4 hod/den).

5.7.7 Doba potřebná pro nabití akumulární nádrže

$$\tau_A = \frac{V_{Z,N} \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_{vyt,T\check{C}}} \quad (5.23)$$

kde je:

$V_{Z,N}$	objem navrženého akumulárního zásobníku (100 l)	$[m^3]$
y	korekční faktor	$[-]$
ρ	hustota vody	$[kg/m^3]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[J/(kg \cdot K)]$
X_p	spínací diference	$[K]$
$Q_{vyt,T\check{C}}$	dostupný špičkový výkon pro bivalentní bod (A-5/W35)	$[W]$

$$\tau_A = \frac{0,1 \cdot 0,94 \cdot 4186 \cdot 1000 \cdot 5}{5840} = 336,886 \text{ s} = 5,6 \text{ min.}$$

5.7.8 Doba využití instalovaného tepelného výkonu

Dle níže uvedeného vztahu lze vypočítat dobu využití tepelného čerpadla τ [hod]. Vzhledem ke zvolenému provozu tepelného čerpadla (paralelně-bivalentní) jsem dle výkonového diagramu tepelného čerpadla zjistil maximální topný výkon při (A-20/W35), a to 4,35 kW, pro bivalentní bod (A-5/W35) je topný výkon 5,84 kW. Hodnota doby využití tepelného čerpadla je tedy následující:

$$\tau = \frac{Q_{vyt\acute{a}p\acute{e}n\acute{i}}}{Q_{T\check{C} (A-5/W35)}} = \frac{15254,2 [kWh]}{5,84 [kW]} \approx 2612 \text{ h} \quad (5.24)$$

Ve výše uvedeném výpočtu jsou určeny časy potřebné pro pokrytí potřeby tepelné energie na vytápění. Jedná se o hodnotu závislou na tepelném výkonu tepelného čerpadla, který odpovídá výstupní teplotě 35 °C pro využití s podlahovým topením a venkovní teplotě.

5.7.9 Hmotnostní průtok, teplotní spád

Teplotní spád pro vytápění tepelným čerpadlem a využití podlahového vytápění je teplotní spád 28/35 °C. Náznorným výpočtem lze zjistit požadovaný hmotnostní tok pro návrhový výkon tepelného čerpadla (A-12/W35). Výpočet vychází z rovnice (5.25)

$$Q = m_w \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (5.25)$$

Q	Topný výkon tepelného čerpadla při venkovní teplotě $t_{e-12} \text{ °C}$	$[W]$
m_w	Hmotnostní průtok otopné vody	$[kg/s]$
c	Měrná tepelná kapacita vody $\sim (c = 4187 \text{ J/kg}\cdot\text{K})$	$[J/kg \cdot K]$
t_{w1}	Teplota vody na výstupu z TČ	$[°C]$
t_{w2}	Teplota na vstupu do TČ	$[°C]$

$$m_{vyt\acute{a}p\acute{e}n\acute{i}} = \frac{Q_{(A-12/W35)}}{c \cdot (t_{w1} - t_{w2})} = \frac{5984}{4187 \cdot (35 - 28)} \cdot 3600 = 723 \text{ kg/h} = 0,2 \text{ kg/s}$$

Výpočet z bilancování tepelného čerpadla pro typový den zimního období (měsíc leden) je následující:

Tabulka 11 Ukázka výpočtu bilancování tepelného čerpadla Stiebel Eltron HPA-0 6 Plus

<i>Datum/čas (Výpočetní interval) typový den – leden (zimní období)</i>	<i>Venkovní teplota vzduchu</i>	<i>Potřeba energie na vytápění</i>	<i>Špičkový výkon tepelného čerpadla</i>	<i>COP (topný faktor)</i>	<i>Potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla</i>
<i>[h]</i>	<i>[°C]</i>	<i>[kWh/h]</i>	<i>[kW]</i>	<i>[-]</i>	<i>[kWh/h]</i>
1:00	-7	5,10	6,71	2,97	2,26
2:00	-6	4,75	6,48	3,05	2,12
3:00	-3	4,06	6,26	3,28	1,91
4:00	-3	3,91	6,03	3,28	1,84
5:00	0	3,27	5,80	3,58	1,62
6:00	2	2,83	5,57	3,81	1,46
7:00	3	2,57	5,34	3,91	1,37
8:00	4	2,32	5,11	4,02	1,27
9:00	4	2,21	4,88	4,02	1,22
10:00	5	1,98	4,66	4,13	1,13
11:00	5	1,88	4,43	4,13	1,07
12:00	8	1,43	4,20	4,86	0,86
13:00	10	1,13	3,97	5,06	0,78
14:00	10	1,07	3,74	5,06	0,74
15:00	12	0,81	3,51	5,25	0,67
16:00	15	0,48	3,29	5,62	0,58
17:00	12	0,70	3,06	5,25	0,58
18:00	7	1,04	2,83	4,76	0,59
19:00	3	1,25	2,60	3,91	0,66
20:00	3	1,14	2,37	3,91	0,61
21:00	-5	1,51	2,14	3,12	0,69
22:00	-6	1,40	1,91	3,05	0,63
23:00	-5	1,19	1,69	3,12	0,54
0:00	-10	5,86	6,94	2,84	2,45

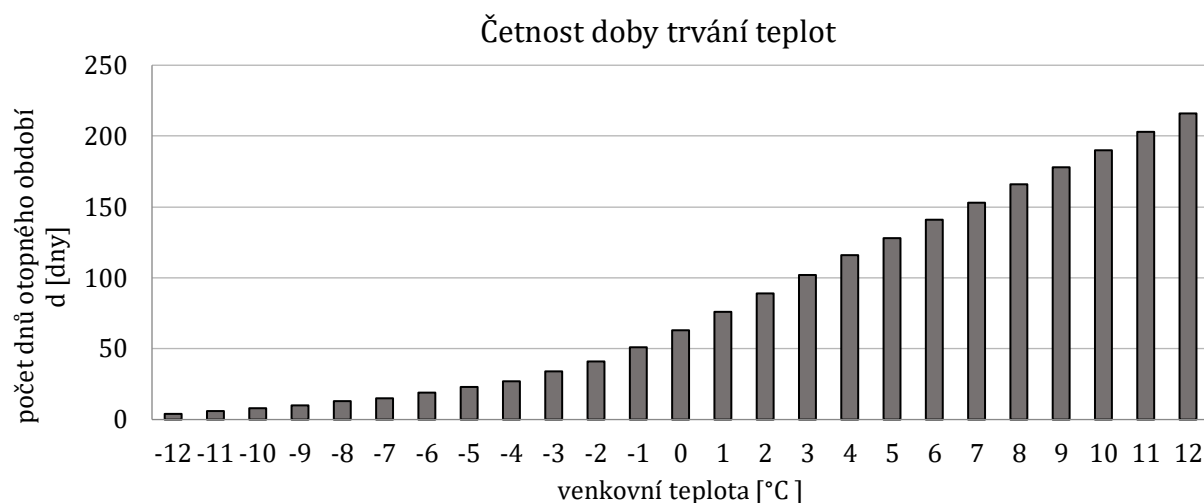
5.7.10 Bilance provozu tepelného čerpadla

Na základě dat z výpočtového modelu a parametrů zvoleného tepelného čerpadla byla vypočtena předpokládaná spotřeba tepla na vytápění. Bilancování jsem provedl pomocí hodinové intervalové metody, kdy potřebné výpočty jsou provedeny dle platné normy ČSN EN 12831-1-3 (060206). Níže (viz Obrázek 48) je znázorněna bilance pro 4 typové dny v průběhu roku, a to pro přechodové období, zimní období a období letní, kdy je nulový požadavek na vytápění. Tyto hodnoty tepelné čerpadlo Stiebel Eltron HPA O-6 Plus pokrývá. V přechodovém období dochází vzhledem k průběhu venkovní teplotě ke střídavému provozu tepelného čerpadla. Teplota dosahuje hodnoty vyšší, než je 13 °C, což pro tepelné čerpadlo signalizuje konec otopného období. Tato úvaha byla do celoroční bilance zapracována a s tímto pracuje. Tento stav nastal pro přechodové období pro typový den v měsících říjen a duben. Tepelné čerpadlo pro typový den v říjnu běží od 16:10 až ranních 8:00. Následně však vypíná vzhledem k vysoké venkovní průměrné teplotě. Jedná se pouze o úvahu, přičemž v reálných podmínkách jsme závislí právě na klimatických datech v místě výstavby a aplikace zdroje tepelné energie pro vytápění a tyto průběhy mohou být odlišné, princip je však stejný.



Obrázek 48 Bilance tepelného čerpadla (zimní období, přechodové období, letní období)

Dle úvahy (viz Obrázek 49) četnosti doby trvání teplot je zřejmé, že četnost teplot pod bodem bivalence tepelného čerpadla je značně malá. Lze tedy uvažovat, že bivalentní zdroj sepne pouze v určitou dobu v roce. Pro bod bivalence (A-5/W35) 5,798 kW je četnost trvání teplot pod bodem bivalence 23 dní za rok.



Obrázek 49 Četnost trvání teplot pro zvolené klimatické území – Ústí nad Labem

5.7.11 Vyhodnocení

Celoroční bilance tepelného čerpadla pro přípravu tepelné energie pro podlahové vytápění jsou následující. Tepelné čerpadlo pokrývá 79,92 % tepelné ztráty a dle T Matušky [52] celkově 95 % potřeby energie na vytápění. Doporučená a vypočtená velikost akumulární nádrže je 100 litrů a doba nabíjení činí 5,6 minut.

Tabulka 12 Roční bilance provozu tepelného čerpadla pro přípravu tepelné energie vytápění

<i>Doba hodnocení (2016)</i>	<i>Předpokládaná spotřeba tepelné energie na vytápění</i>	<i>Pokrytá spotřeba tepelné energie na vytápění (bez slunečních zisků)</i>	<i>Pasivní sluneční zisky v otopném období</i>	<i>Předpokládaná spotřeba energie pro pohon TČ</i>	<i>Předpokládaná provozní hodiny TČ (režim vytápění)</i>	<i>COP (pro bivalentní bod) A-5/W35</i>	<i>SCOP (sezonní topný faktor) pro otopné období</i>	<i>Doporučený výkon bivalentního zdroje</i>	<i>Předpokládaná spotřeba energie bivalentního zdroje</i>	<i>Velikost akumulární nádrže a doba potřebná k jejímu nabití (doporučeno výrobcem)</i>
[rok]	[kWh/r]	[kWh/r]	[kWh/r]	[kWh/r]	[hod]	[-]	[-]	[kW]	[kWh/r]	[l]; [min]
1	15 254,2	14 491,0	1,92	3 318,9	2 612	3,12	4,02	1,478 (2x1kW)	0,763	100 l 5,6 min

6 Praktická část

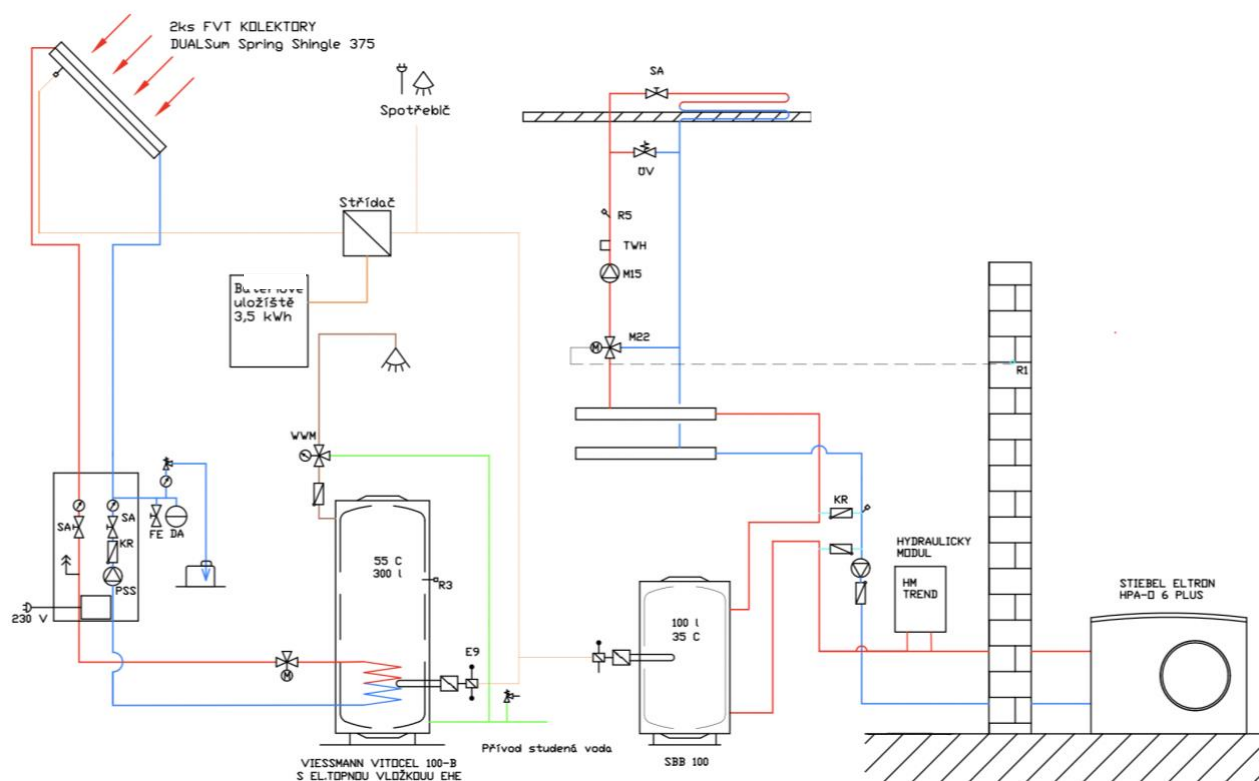
6.1 Schéma optimalizovaného systému

6.1.1 Volba programu pro vytvoření schématu

Pro vytvoření návrhu optimalizovaného schématu jsem použil program od firmy Autodesk, AUTOCAD 2021.

6.1.2 Schéma koncepce návrhu

Zvolil jsem oddělení systému vytápění a systému ohřevu teplé vody. Pro ohřev teplé vody vycházíme z bilance FVT kolektoru, kdy vzhledem k malému odběru teplé vody a absenci bazény, kam by se případně ukládaly v letním období přebytky, byl zvolen optimální počet FVT kolektorů, aby nedocházelo vysokým přebytkům v letním období, které není kam akumulovat. Dva kusy FVT kolektorů produkují 707 kWh/rok tepelné energie, které jsou akumulovány v třístalitrovém zásobníku Viessmann Vitocell 100-B, který disponuje elektrickou topnou vložkou o výkonu 4 kW, které v případě nedostatečné produkce a akumulované energie v zásobníku dodávají tepelnou energii ve formě teplé vody ke sprchování aj. Tepelné čerpadlo zajišťuje tepelný komfort v oblasti vytápění objektu. Pokud nastane případ, kdy se tepelné čerpadlo dostane do bodu bivalence (A-5/W35) a tepelné čerpadlo funguje v tzv. paralelně-bivalentním provozu, spíná k němu bivalentní zdroj (topné patrony o výkonu 2 kW) v akumulčním zásobníku o objemu 100 l a vyrovnává tak nedostatek výkonu. Celý koncept funkce systému je znázorněn (viz Obrázek 50).

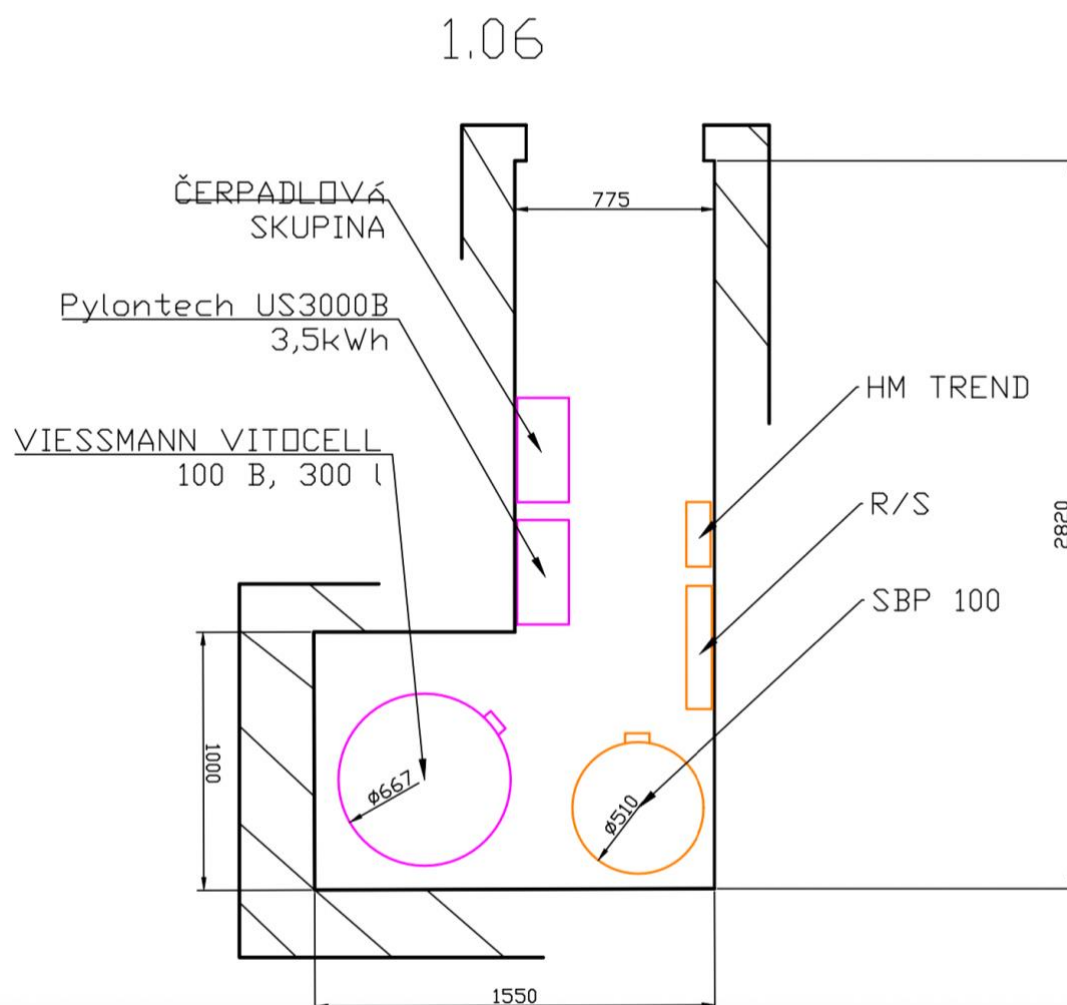


Obrázek 50 Schéma koncepce návrhu ústředního vytápění

6.2 Umístění zařízení v technické místnosti

6.2.1 Návrh umístění technologie v technické místnosti

Podlahová plocha technické místnosti označená ve výkresové dokumentaci jako místnost 1.05 má podlahovou plochu o 3,1 m². Zásobník sloužící k ohřevu TV, Viessmann Vitocel 100-B 300 s elektrickou topnou vložkou EHE má průměr 744 mm včetně izolace a výšku 1 834 mm. Zásobník SBP 100 sloužící k systému vytápění jako doplněk systému s tepelným čerpadlem má průměr 510 mm a výšku 877 mm. Světlá výška místnosti je 2,65 m.



Obrázek 51 Návrh umístění technologie v technické místnosti

V technické místnosti dále uvažují umístění komponent, mezi které patří hydraulický modul tepelného čerpadla HM Trend, který je hydraulicky propojen s tepelným čerpadlem včetně sestavy rozdělovač/sběrač a podlahového vytápění. Pro systém FVT kolektorů je v technické místnosti uvažováno umístění bateriového uložení Pylontech US3000B s kapacitou 3,5 kWh včetně rozdělovače sběrače a včetně čerpadlové skupiny.

6.3 Návrh ústředního vytápění

Vytápění je zvoleno podlahové nízkoteplotní včetně nízkoteplotních radiátorů, které využíváme v prvním nadzemním podlaží z důvodu statiky. Jednotlivé výkony radiátorů dimenzuji podle tepelné ztráty místnosti. Vlivem v budoucnu zastavěných ploch nábytkem uvažuji koeficient f [-].

6.3.1 Tabulka přepočtu výkonů dle typu místnosti

První krok při návrhu ústředního vytápění je určit výkon topných těles, či podlahového vytápění. Zvolil jsem podlahové vytápění REHAU Raufix Rautherm S17 o rozsahu výkonu 70–100 W/m². Teplotní spád pro nízkoteplotní podlahové vytápění je 28/35 °C.

Tabulka 13 Tabulka přepočtu výkonů

podl.	č.m	t_i	Q_{cm}	A	V	Způsob vytápění místnosti	$f_{koeficient}$	A_{min}	$P_{vytápění}$	Podmínka ($P_{vytápění} > Q_{cm}$)
		[°C]	[W]	[m ²]	[m ³]	[-]	[-]	[m ²]	[W]	[-]
1	101	20	159	4	11,9	Teplovodní p.	0,8	1,6	160	splněna
1	102	24	101	2,2	6,5	Teplovodní p.	0,8	1,2	120	splněna
1	103	20	265	7,6	22,7	Teplovodní p.	0,8	3,0	300	splněna
1	104	20	1293	32,3	97	Teplovodní p.	0,8	15,0	1500	splněna
1	105	20	28	2,9	8,7	Teplovodní p.	0,8	1,0	100	splněna
1	106	20	127	4,3	13	Teplovodní p.	0,8	2,0	200	splněna
1	108	20	304	4,6	13,5	Teplovodní p.	0,8	3,5	350	splněna
1	109	20	265	7,6	22,7	Teplovodní p.	0,8	3,0	300	splněna
1	110	20	640	19,9	59,7	Teplovodní p.	0,8	8,0	800	splněna
2	201	20	385	8,1	24,3	Teplovodní p.	0,8	4,0	400	splněna
2	202	24	188	3,4	10,1	Teplovodní p.	0,8	2,0	200	splněna
2	203	20	131	3,4	10,1	Teplovodní p.	0,8	2,0	200	splněna
2	204	20	468	11,3	33,9	Teplovodní p.	0,8	3,0	300	splněna
2	205	20	422	13,6	40,9	Teplovodní p.	0,8	7,0	700	splněna
2	206	20	512	13,6	40,9	Teplovodní p.	0,8	7,0	700	splněna
2	207	20	137	2,9	7,4	Teplovodní p.	0,8	2,0	200	splněna

7 Ekonomické a provozní zhodnocení

Ekonomické hodnocení koncepce návrhu ústředního vytápění pro použití FVT kolektorů v kombinaci s tepelným čerpadlem vzduch-voda obsahuje v prvním kroku definici okrajových podmínek pro jednotlivé hodnocení. Mezi první okrajové podmínky patří doba hodnocení, diskontní úroková míra, stávající ceny energie a případně požadavek na hodnocení příležitostí se zahrnutím možnosti financování z programů podpory ze státních evropských finančních prostředků. Cílem ekonomického a provozního zhodnocení je vyčíslit investiční náklady výše uvedených technických řešení a technologií. Prvním bodem ekonomického zhodnocení je stanovení ceny za elektrickou energii spotřebovanou jednotlivými technologiemi v systému. V závěru je řešeno stanovení prosté a diskontované návratnosti projektu.

Ekonomické hodnocení je provedeno bez uvažování dotací či úvěru, tedy s vlastními investičními prostředky. Doba životnosti je stanovena dle vyhlášky č. 480/2012 Sb. na 20 let. Ekonomická analýza se zabývá vyhodnocením energetických a organizačních opatření na úsporu energie v objektu. Cílem ekonomické analýzy je zjistit vhodnost realizace opatření aplikace zvolené technologie FVT kolektorů v kombinaci s tepelným čerpadlem v porovnání s jinými opatřeními dodávky tepelné energie jímž je plynový kondenzační kotel nebo elektrokotel. Ekonomická analýza byla provedena na základě několika kritérií, z nichž je nejdůležitější současná hodnota v podobě diskontovaného toku hotovosti za dobu životnosti. Při zpracovávání ekonomické analýzy jsou obvykle základní vstupní údaje na jedné straně příjmové položky (obvykle v podobě úspory za energie) a na druhé straně výdajové položky (v podobě nákladů vynaložených na realizaci).

Vstupní údaje pro ekonomickou analýzu jsou získány z výše nákladů na úsporná opatření na základě výsledků diplomové práce a na základě odborného odhadu či doporučení. Dále dle cenové informace výrobců, montážních firem a dodavatelských firem či informací z publikací na internetu. Úspory jsou chápány jako rozdíl výdajů za energie v případě, že k realizaci navrhovaných opatření dojde. Při zpracovávání ekonomické analýzy je důležité stanovit další doplňkové vstupní údaje – dobu porovnání, diskontní míru, cenový vývoj.

a) Diskontní míra

Pro ocenění hodnoty prostředků vydaných nebo přijatých v budoucnu se často pracuje s převodem na současnou hodnotu. Diskontní míra je prostředek, který tento převod umožňuje. Jde o určitou formu vyjádření meziroční hodnotové změny úrokové míry a dalších faktorů.

b) Doba porovnání

Doba porovnání se obvykle stanovuje na základě životnosti zařízení. U stavebních opatření je obvyklá doba životnosti 35 let. Nicméně doba porovnání je dle vyhlášky č. 480/2012 Sb. uvažována 20 let.

7.1 Investiční náklady na jednotlivá opatření

V níže uvedené tabulce (viz Tabulka 14), je znázorněna finanční náročnost a celková investice do jednotlivých technologií pro návrh koncepce ústřední vytápění modelového domu Celková investice do technologií činí 548 976,00 Kč bez DPH (631 322,00 Kč s DPH 15 %). Tato cenová nabídka je pouze indikativní a orientační vytvořená podle veřejně dohledatelných ceníků.

Tabulka 14 Investiční náklady na návrh ústředního vytápění (Varianta 0)

VO – TČ & FVT	Mn.	C.J.	C.C.
Tepelné čerpadlo			
HPA-O 6 C Premium	1	205 650	205 650
WPM International regulace TČ nástěnná	1	22 430	22 430
SD 32-1 - Pružné tlakové hadice	2	1 960	3 920
SBP 100 akumulční zásobník topné vody	1	21 369	21 369
Oběhové čerpadlo UP 25/7,5 E	1	6 780	6 780
Montáž tepelného čerpadla	1	26 500	26 500
Instalační materiál	1	14 500	14 500
Elektromateriál a zapojení	1	7 500	7 500
Uvedení do provozu	1	5 000	5 000
FVT kolektory			
DualSUN Spring Shingle 375	2	7 664	15 328
Viessmann Vitocell 100-B/ typ CVBB	1	37 690	37 690
Baterie Pylontech US3000B - 3,5 kWh	1	38 900	38 900
FVT jednotka, SINUS Phoenix VE.Direct 800VA 48 V	1	54 539	54 539
Uvedení do provozu, instalační a materiál, zapojení	1	25 000	25 000
Podlahové vytápění (nízkoteplotní podlahové)			
Rehau Raufix (Rautherm S 17) (598 Kč/m ²)	65	598	38 870
Instalace včetně příslušenství a uvedení do provozu	1	25 000	25 000
Celkem bez DPH			548 976,0 Kč
Celkem s DPH (15 %)			631 322,4 Kč

Vyčíslil jsem celkovou investici do technologií porovnání, mezi které patří ústřední vytápění včetně tepelného zdroje, mezi které jsem zařadil elektrokotel (varianta 1) a plynový kondenzační kotel (varianta 2.). U varianty 1. je investice rovna 113 871,00 Kč bez DPH (130 951,60 s DPH a u varianty 2. je investice 163 871,00 Kč bez DPH (188 451,6 Kč s DPH).

7.2 Výpočet ceny za elektřinu

7.2.1 Vstupní parametry pro výpočet ceny za elektřinu

Vstupní parametry jsou definovány hodnotou spotřeby elektrické energie u každé varianty porovnání. Jedná se o spotřebovanou energii ve formě elektřiny dodané do systému vytápění, ohřevu teplé vody či pouze běžné spotřeby elektřiny v domácnosti.

Tabulka 15 Spotřeba elektrické energie dle typu vytápění a ohřevu TV

	V0	V1	V2	jednotka
<i>Popis varianty</i>	FVT & TČ	Elektrokotel	Plynový kondenzační kotel	
<i>Distribuční sazba</i>	D57d	D57d	D01d	-
<i>Celková spotřeba el. energie</i>	8,60	22,90	3,745	MWh/r
<i>Vysoký tarif (ÚT + TV)</i>	6,88	18,32	3,745	MWh/r
<i>Nízký tarif (ÚT + TV)</i>	1,72	4,58	0	MWh/r

7.2.2 Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Neregulovaná složka ceny

Stanovení ceny za dodávku se řídí dle ceníku dodavatele, přičemž nejdůležitějším parametrem, který sledují, je neregulovaná složka (cena za dodávku elektřiny). Výpočty jsou uvedeny bez DPH. Výpočet je znázorněn pro variantu V0 (TČ & FVT).

$$C_{VT/NT} = \frac{S_{VT/NT}}{1000} \cdot C_{DE_{neregulovaná}} \quad (7.1)$$

C_{VT}	cena za dodávku elektřiny VT	[Kč/r]
C_{NT}	cena za dodávku elektřiny NT	[Kč/r]
S_{VT}	spotřeba elektrické energie VT	[kWh/r]
S_{NT}	spotřeba elektrické energie NT	[kWh/r]
$C_{DE_{nr}}$	cena za dodávku elektřiny VT – dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]
$C_{DE_{nr}}$	cena za dodávku elektřiny NT – dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]

$$C_{SP} = C_{SP_{dodavatel}} \cdot N \quad (7.2)$$

C_{SP}	cena za dodávku elektřiny VT	[Kč/r]
$C_{SP_{dodavatel}}$	cena za dodávku elektřiny NT	[Kč/r]
N	počet měsíců v kalendářním roce (12)	[-]

$$C_{SP} = C_{SP_{dodavatel}} \cdot N \quad (7.3)$$

C_{SP}	cena za dodávku elektřiny VT	[Kč/r]
$C_{SP_{dodavatel}}$	cena za dodávku elektřiny NT	[Kč/r]

N počet měsíců v kalendářním roce (12) [-]

$$C_{VT} = \frac{S_{VT}}{1000} \cdot C_{DE} = \frac{6\,881,76}{1000} \cdot 2\,279,00 = 15\,681,47,00 \text{ Kč/r}$$

$$C_{NT} = \frac{1\,720,44}{1000} \cdot 1\,887,00 = 3\,247,55 \text{ Kč/r}; C_{SP} = C_{SP_{\text{dodavatel}}} \cdot N = 74 \cdot 12 = 888,00 \text{ Kč/r}$$

$$C_{SP} = C_{SP_d} \cdot N = 74 \cdot 12 = 888,00 \text{ Kč/r}; C_{NEREG.} = C_{VT} + C_{NT} + C_{SP} = 15\,681,47,00 \text{ Kč/r}$$

7.2.3 Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Regulovaná složka ceny

$$C_{SPRK} = C_{SPRK_{\text{měsíc}}} \cdot N \quad (7.4)$$

C_{SPRK}	stálá platba za rezervovanou kapacitu	[Kč/r]
N	počet měsíců v kalendářním roce (12)	[-]
$C_{SPRK_{\text{měsíc}}}$	Stálá platba za rezervovanou kapacitu	[Kč/měsíc]

$$C_{RS} = \frac{S_{VT/NT}}{1000} \cdot C_{DE_{\text{regulovaná}}} \quad (7.5)$$

$C_{RS_{VT}}$	cena za regulovanou složku ceny VT	[Kč/r]
$C_{RS_{NT}}$	cena za regulovanou složku ceny NT	[Kč/r]
S_{VT}	spotřeba elektrické energie VT	[kWh/r]
S_{NT}	spotřeba elektrické energie NT	[kWh/r]
C_{DE_r}	cena za dodávku elektřiny VT– dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]
C_{DE_r}	cena za dodávku elektřiny NT – dle ceníku dodavatele	[Kč/MWh]

$$C_{REGULOVANÁ} = C_{RS_{VT}} + C_{RS_{NT}} + C_{SPRK} = 1\,528,27 \text{ Kč/r}$$

$$C_{SPRK} = C_{SPRK_{\text{měsíc}}} \cdot N \quad (7.6)$$

C_{SPRK}	stálá platba za rezervovanou kapacitu	[Kč/r]
N	počet měsíců v kalendářním roce (12)	[-]
$C_{SPRK_{\text{měsíc}}}$	stálá platba za rezervovanou kapacitu	[Kč/měsíc]

7.2.4 Stanovení ceny za dodávku elektřiny – Ostatní poplatky

V ostatních poplatcích je zahrnuta daň z elektřiny, platba za systémové služby, činnost operátora trhu (OTE), podpora výkupu elektřiny o obnovitelných zdrojů (POZE) a ostatní poplatky dle hodnoty hlavního jističe, či spotřeby.

$$C_{DAŇ} = C_{DAŇ_{\text{složka}}} \cdot S_{\text{spotřeba (VT+NT)}} \quad (7.7)$$

$C_{DAŇ}$	stálá platba daň z elektřiny	[Kč/r]
-----------	------------------------------	--------

$C_{daň_{složka}}$	složka daň z elektřiny	$[Kč/MWh]$
$S_{spotřeba}$	celková spotřeba elektrické energie	$[kWh/r]$
	$C_{ČEPS} = C_{ČEPS_{složka}} \cdot S_{spotřeba (VT+NT)}$	(7.8)

$C_{ČEPS}$	systémové služby (ČEPS)	$[Kč/r]$
$S_{spotřeba}$	celková spotřeba elektrické energie	$[kWh/r]$
$C_{ČEPS_{složka}}$	složka systémové služby	$[Kč/MWh]$

$$C_{OTE} = C_{OTE_{složka}} \cdot N \quad (7.9)$$

C_{OTE}	činnost OTE	$[Kč/r]$
N	počet měsíců za kalendářní rok	$[-]$
$C_{OTE_{složka}}$	složka činnost OTE	$[Kč/měsíc]$

$$C_{JISTIČ} = C_{JISTIČ_{složka}} \cdot f \cdot A \cdot N \quad (7.10)$$

$C_{JISTIČ}$	podle jističe (3x25a)	$[Kč/A \cdot f]$
N	počet měsíců za kalendářní rok	$[-]$
$C_{JISTIČ_{složka}}$	složka činnost OTE	$[Kč/měsíc]$

$$C_{SPOTŘEBA} = \frac{S_{spotřeba}}{1000} \cdot C_{DE_{regulovaná}} \quad (7.11)$$

$C_{SPOTŘEBA}$	cena podle spotřeby	$[Kč/r]$
$S_{spotřeba}$	celková spotřeba elektrické energie	$[kWh/r]$
$C_{spotřeba_{složka}}$	složka ceny podle spotřeby	$[Kč/MWh]$

Celková platba za elektřinu se vypočítá jako součet za dodávku elektrické energie neregulované složky $C_{NEREGULOVANÁ}$ $[Kč/r]$, regulované složky $C_{REGULOVANÁ}$ $[Kč/r]$, daně z elektřiny $C_{DAŇ}$ $[Kč/r]$, platby za systémové služby $C_{ČEPS}$ $[Kč/r]$, platba za činnost OTE C_{OTE} $[Kč/r]$, a platby podle spotřeby $C_{SPOTŘEBA}$ $[Kč/r]$.

$$C_{CELKOVÁ} = C_{NEREGULOVANÁ} + C_{REGULOVANÁ} + C_{DAŇ} + C_{ČEPS} + C_{OTE} + C_{SPOTŘEBA}$$

$$C_{CELKOVÁ} = 22\,722 \text{ Kč bez DPH} = 27\,494,11 \text{ Kč s DPH}$$

Pro získání celkové ceny za elektřinu vztaženou na celkovou spotřebu elektrické energie stačí tyto dvě hodnoty podělit. Výsledné ceny za jednotlivé složky jsou vidět (viz Tabulka 16).

$$C_{CELKOVÁ_{MWh}} = \frac{C_{CELKOVÁ}}{S_{CELKOVÁ}} = \frac{22\,722 \text{ Kč bez DPH}}{8,602 \text{ MWh/r}} = 2\,641,5 \text{ Kč/MWh bez DPH}$$

Roční platba za energii odebranou ze sítě pro chod domácnosti v modelovém objektu činí po předběžném výpočtu pro variantu V0: 22 722,40 Kč/rok bez DPH. Pro ostatní varianty a bilanci ročních nákladů na elektřinu uvádím srovnání níže:

V0	FVT s TČ <i>(ÚT + TV + běžná spotřeba el. v objektu)</i>	Cena za elektřinu (D57d)	22 722,40	Kč/rok
V1	Elektrokotel <i>(ÚT + TV + běžná spotřeba el. v objektu)</i>	Cena za elektřinu (D57d)	63 045,73	Kč/rok
V2	Plynový kondenzační kotel <i>(pouze běžná spotřeba el. v objektu)</i>	Cena za elektřinu (D01d)	14 700,00	Kč/rok

Tabulka 16 Postup výpočtu ceny za elektřinu pro variantu V0

VSTUPNÍ ÚDAJE (Varianta 0 - FVT s tepelným čerpadlem)		
Dodavatel	PREproud Standard z 1.7.2021	
Sazba	D57d	
Celková spotřeba	8 602,20	kWh/r
Celková spotřeba (vysoký tarif)	6 881,76	kWh/r
Celková spotřeba (nízký tarif)	1 720,44	kWh/r
REGULOVANÁ SLOŽKA		
Stálá platba za rez. Kapacitu	339	Kč/měsíc
Vysoký tarif	194,54	Kč/MWh
Nízký tarif	110,14	Kč/MWh
Daň z elektřiny	28,3	Kč/MWh
Systémové služby (ČEPS)	93,3	Kč/MWh
Činnost OTE	3,91	Kč/měsíc
Podle jističe	15,07	Kč/A/f
Podle spotřeby	495	Kč/MWh
Stálá platba za rez. Kapacitu	4 068,00	Kč/r
Vysoký tarif	1 338,78	Kč/r
Nízký tarif	189,49	Kč/r
CELKEM distribuce	1 528,27	Kč/r
NEREGULOVANÁ SLOŽKA		
Vysoký tarif	12 311,47	Kč/r
Nízký tarif	2 630,55	Kč/r
Stálá platba	948,00	Kč/r
OSTATNÍ SLUŽBY		
Daň z elektřiny	243,44	Kč/r
Systémové služby	802,59	Kč/r
Činnost OTE	0,00	Kč/r
Podle jističe	0,00	Kč/r
Podle spotřeby	4 258,09	Kč/r
CELKEM		
Celkem bez DPH	22 722,40	Kč bez DPH
Celkem s DPH (21 %)	27 494,11	Kč s DPH

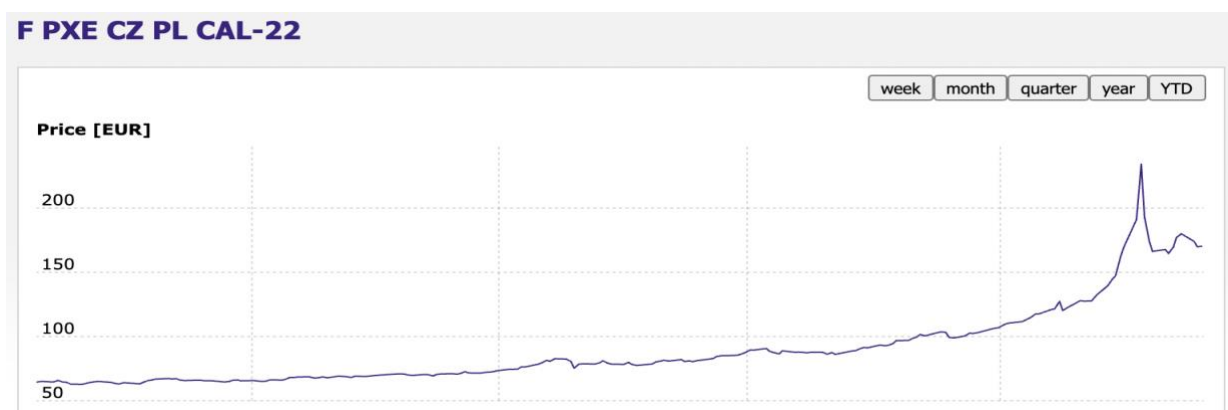
7.3 Energetická bilance jednotlivých variant

7.3.1 Provozní náklady

Tato kapitola shrnuje provozní náklady na dodávku energie ve formě elektřiny či plynu pro jednotlivé varianty. Varianta 0 (TČ & FVT) obsahuje pouze dodávku elektřiny včetně provozních nákladů spojených chodem domácnosti, stejně tak Varianta 1 (Elektrokotel). Varianta 2 (Plynový kondenzační kotel) obsahuje výpočet ceny dodávky plynu včetně provozních nákladů na chod domácnosti (osvětlení, běžná spotřeba elektrické energie).

7.3.1.1 Elektřina

Cenový vývoj, obchodování s elektřinou na burze a samotné ekonomické hodnocení závisí především na vývoji cen energie, paliv a údržby. Trend růstu cen za energie lze pozorovat na PXE (Power Exchange Central Europe) [62], burze, kde se nabízí produkty jako plyn a elektřina pro český, slovenský, polský a maďarský trh. Jen za období 01. 01. 2021 – 10. 05. 2021 vzrostla cena elektřiny z 65 EUR/MWh na 234 EUR/MWh. Jednalo se zvýšení komoditní složky elektřiny o 72 %. Trend nárůstu je znázorněn (viz Obrázek 52). Pro náš výpočet ceny elektřiny budeme uvažovat průměrnou cenu komoditní složky za rok 2021. Průměrná cena činí 119 EUR/MWh (3 019,29,- Kč/MWh) pro rok 2021.



Obrázek 52 Vývoj neregulované složky ceny elektřiny na burze PXE pro rok 2021 [62]

Tabulka 17 Roční celkové náklady na provoz

Elektřina	V0. TČ s FVT	V1. Elektrokotel	
Spotřeba elektrické energie pro vytápění a ohřev TV	5,36	19,16	MWh/rok
Spotřeba běžné el. energie (domácnost, osvětlení aj.)	3,242	3,745	MWh/rok
Cena elektrické energie (D57d)	2 641,46	2 752,34	Kč/MWh
Platba za elektřinu	27 494,10	76 285,33	Kč/rok
<i>Běžné a stálé platby spojené s provozem zařízení a chodu domácnosti</i>			
Revize vč. servisní prohlídky	2 000	2 000	Kč/rok
Roční celkové náklady na provoz	31 494	78 285	Kč/r

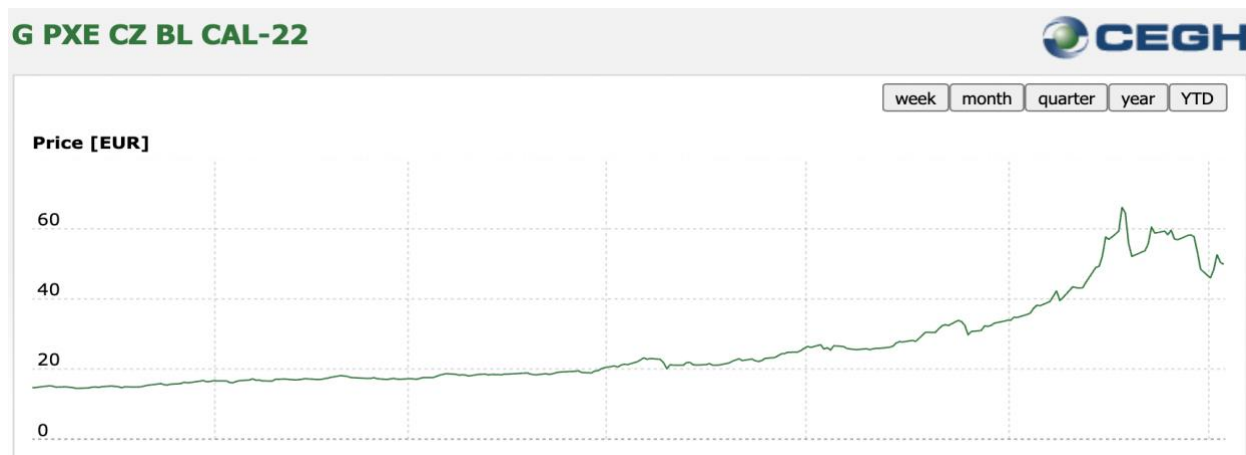
*ceny včetně DPH (21 %)

7.3.1.2 Plyn

Využití plynového kondenzačního kotle k ohřevu TV a vytápění je další možnost, která se může vyplatit. Uvažuje se, že plynová přípojka je na místě výstavby již zajištěna a není třeba do ní investovat. Výpočet ceny za dodávku tepelné energie ve formě plynu se vypočte z předpokládané spotřeby tepelné energie a účinnosti zařízení (kondenzačního plynového kotle). Jelikož nakupujeme zemní plyn ve spalném teple, je nutné tyto parametry přepočítat k výhřevnosti. Strukturu ceny zemního plynu dělíme na regulovanou a neregulovanou složku jako u elektřiny.

Regulovaná složka obsahuje pevnou cenu za zúčtování, pevnou cenu za distribuci plynu, pevnou roční cenu za kapacitu, a to pouze v případě velkoobjemu nad 63 MWh/rok. Pokud bychom tedy chtěli zajistit dodávku vytápění a ohřevu TV plynem na území plánované výstavby (území GasNet).

Neregulovaná složka zde představuje tu nejdůležitější část ovlivňující výslednou cenu tepelné energie. Jedná se o komoditní složku ceny [Kč/MWh]. Vývoj ceny této složky je znázorněn (viz Obrázek 53), dle burzy PXE. Za období 01. 2021–11. 2021 vzrostla cena komoditní složky z 16,65 EUR/MWh na 58,31 EUR/MWh. Nárůst nereg. složky tedy činil 71,4 % (41,46 EUR).



Obrázek 53 Vývoj neregulované složky ceny plynu na burze PXE pro rok 2021 [62]

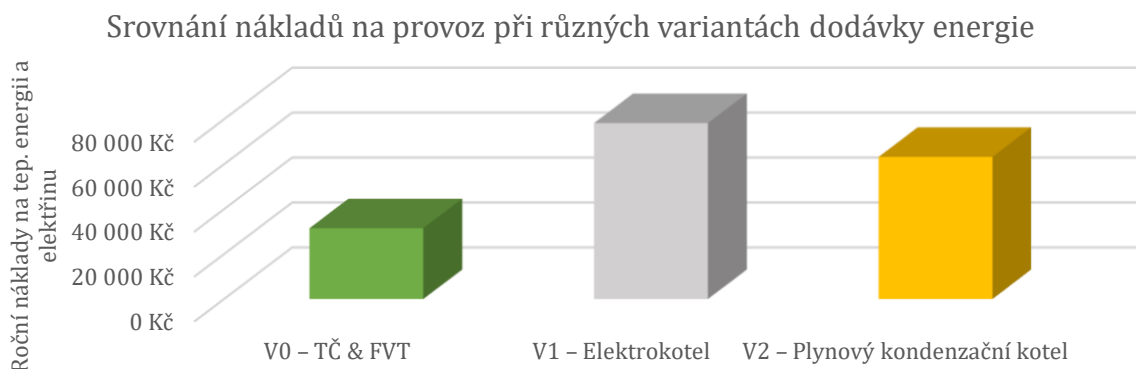
Tabulka 18 Roční celkové náklady na provoz

Plyn	V2. Plynový kondenzační kotel	
Spotřeba energie pro vytápění a ohřev TV	19,16	MWh/rok
Cena zemního plynu	1 443,75	Kč/MWh
Platba za zemní plyn	33 474,29	Kč/rok
<i>Běžné a stálé platby spojené s provozem zařízení a chodu domácnosti</i>		
Běžná spotřeba el. energie	3,745	MWh/rok
Cena za elektřinu (D01d)	17 787	Kč/rok
Revize spalinové cesty	2 500	Kč/rok
Revize tlakových nádob	2 000	Kč/rok
Revize komína	2 500	Kč/rok
Servisní prohlídka	5 000	Kč/rok
Roční celkové náklady na provoz	63 261,29	Kč/r

*ceny jsou včetně DPH

7.3.2 Vyhodnocení provozních nákladů

Využité technologie a jejich výsledné roční provozní náklady jsou znázorněny na níže uvedeném 54. Varianta s použitím tepelného čerpadla je i přes vysoký nárůst komoditní složky neregulované složky elektřiny stále nejvýhodnější.



Obrázek 54 Srovnání náklady na provoz při různých variantách dodávky energie

Tabulka 19 Srovnání náklady na provoz při různých variantách dodávky energie

Varianta	Celkové provozní náklady [Kč/r]
V0 - TČ & FVT	31 494,00
V1 - Elektrokotel	78 285,00
V2 - Plynový kondenzační kotel	63 261,29

7.4 Prostá doba návratnosti T_s

Pro stanovení prosté doby návratnosti je důležité také stanovit roční výnosy z pořizovaného zařízení. Tato hodnota je však závislá na případném porovnání s technologií jinou nebo v případě, kdy nahrazujeme stávající zdroj technologií jiného druhu, například čistý odběr elektřiny. Pro náš modelový dům například elektrokotel za tepelné čerpadlo. Prostá návratnost je nejjednodušší možné kritérium pro výpočet hodnoty návratnosti. Musíme však brát v potaz, že toto kritérium zanedbává efekty po době návratnosti a fakt, že peníze můžeme vložit do jiných investičních příležitostí. Prostá doba návratnosti se vypočítá dle rovnice (7.12).

$$T_s = IN/CF \quad (7.12)$$

kde: T_s – prostá doba návratnosti
 IN – investiční náklady
 CF – cash flow

Investiční náklady na technologii a ústřední vytápění u varianty s aplikací tepelného čerpadla a FVT kolektorů činí 548 996 Kč bez DPH. Varianta V1 s elektrokotlem 113 871 Kč bez DPH a varianta V2 s plynovým kondenzačním kotlem činí 163 871 Kč bez DPH. Dobu návratnosti počítám včetně DPH (15 %). V níže uvedené tabulce (viz Tabulka 20). je

znázorněna prostá doba návratnosti vzhledem k jednotlivým opatřením. V0/V1 symbolizuje porovnání Varianty 0 a Varianty 1 vzhledem k celkové investici a provozním nákladům.

Tabulka 20 Vyhodnocení prosté doby návratnosti investice

Varianta	Ts	
V0/ V1 – TČ & FVT / Elektrokotel	10,7	let
V0/ V2 – TČ & FVT / Plynový kondenzační kotel	13,9	let

7.5 Diskontovaná doba návratnosti Tsd

Při uvažování současné hodnoty toků lze určit, ve kterém roce v daném projektu nastane rovnováha mezi příjmy a výdaji. Tato doba se označuje jako diskontovaná doba návratnosti prostředků a lze ji považovat za kritérium se srovnatelnou vypovídající schopností jako NPV. Obecně lze diskontovanou dobu návratnosti stanovit z podmínek NPV=0. V této reálné návratnosti je započten i růst ceny energie.

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = 0 \quad (7.13)$$

kde: C_{FT} – cash flow
 IN – investiční náklady
 r – diskont
 $(1+r)^{-t}$ – odúročitel

Tabulka 21 Diskontovaná doba návratnosti jednotlivých variant

Varianta	Tsd	
V0/ V1 – TČ & FVT / Elektrokotel	13,5	let
V0/ V2 – TČ & FVT / Plynový kondenzační kotel	19,5	let

7.6 Čistá současná hodnota NPV

Základem pro určení čisté současné hodnoty je určení hodnoty toku hotovosti. Toky hotovosti (Cash-Flow) jsou rozdílem příjmů a výdajů spojených s projektem v jednotlivých letech. Pro hodnocení toku hotovosti se tyto upravují převodem z budoucích hodnot do současnosti. Hodnoty jsou zpravidla provedeny do období, kdy dochází k vynaložení největších investic. Takto převedená hodnota se nazývá současná hodnota. Průběžné pokrytí investic. Průběžné pokrytí investic a dalších výdajů a příjmů vyjadřuje kumulovaný tok hotovosti, kdy se jednotlivé roční hodnoty průběžně sčítají a představují skutečný stav u realizovaného opatření v příslušném roce. Pokud je hodnota kumulovaného toku v daném roce záporná, nedošlo k tomuto období k pokrytí výdajů projektu jeho příjmy. Hodnota diskontovaného kumulovaného toku hotovosti v posledním roce se označuje NPV. Čím vyšší je hodnota NPV, tím je opatření ekonomicky výhodnější. Pokud je hodnota NPV záporná, opatření nelze za daných podmínek realizovat.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \quad (7.14)$$

kde: C_{FT} – cash flow
 IN – investiční náklady
 r – diskont
 $(1 + r)^{-t}$ – odúročitel

Tabulka 22 Vyhodnocení výhodnosti investice NPV

Varianta	NPV	Vyhodnocení
V0/ V1 – TČ & FVT / Elektrokotel	182 328,5 Kč	vyplatí se
V0/ V2 – TČ & FVT / Plynový kondenzační kotel	20 622,8 Kč	vyplatí se

Výsledkem obou případů je kladná hodnota, to znamená, že obě opatření jsou ekonomicky výhodná a vyplatí se realizovat.

7.7 Citlivostní analýza

7.7.1 Vliv dotační podpory

Při aplikaci tepelného čerpadla lze využít dotační program Nová zelená úsporám, tedy dotační program Ministerstva životního prostředí České republiky. Cílem tohoto programu je podpořit úspory energie a aplikaci OZE (Obnovitelných zdrojů energie) v rodinných či bytových domech. O možnost požádat o tuto podporu lze od roku 2015. Ve své diplomové práci pracuji s úvahou aplikace FVT kolektorů v kombinaci s tepelným čerpadlem. U tepelného čerpadla je výše čerpané dotační podpory závislá na typu instalovaného tepelného čerpadla. Pro tepelné čerpadlo vzduch–voda je finanční výše dotační podpory rovna 60 000 Kč. [67] Dotaci pro solární systém v našem případě (FVT kolektory) čerpat nelze. Využitelný roční zisk totiž nesplňuje požadované podmínky na jeho hodnotu. Požadovaná hodnota solárních zisků musí být větší nebo rovno 1 400 kWh.rok⁻¹. V případě fotovoltaických systémů je podmínka instalovaného výkonu minimálně 2 kWp. Tuto podmínku FVT kolektory též nesplňují, a tak nelze s touto podporou počítat. Vliv dotační podpory na dobu návratnosti je vidět na níže přiložených výpočtech při porovnávání instalace tepelného čerpadla s FVT kolektory s instalací elektrokotle či plynového kondenzačního kotle.

Tabulka 23 Vyhodnocení vlivu dotační podpory na ekonomickou analýzu

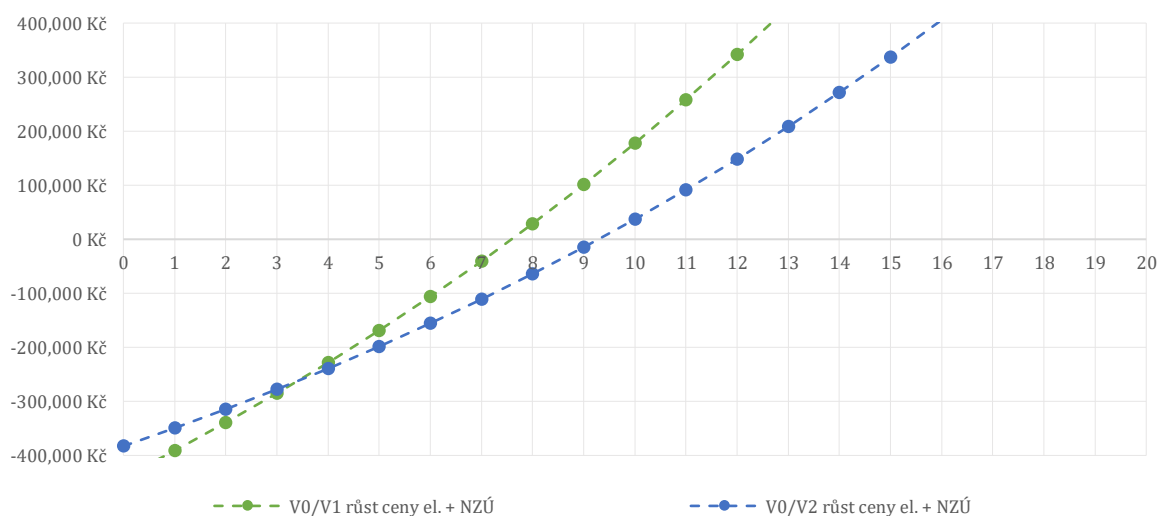
Prostá doba návratnosti Ts		
V0/ V1	9,4	let
V0/ V2	12,1	let
Diskontovaná doba návratnosti Tsd		
V0/ V1	11,5	let
V0/ V2	15,2	let
Čistá současná hodnota NPV		
V0/ V1	242 328,56 Kč	vyplatí se
V0/ V2	80 622,8 Kč	vyplatí se

7.7.2 Vliv růstu ceny elektrické energie

V této variantě uvažuji růst ceny elektrické energie o 5 % rok a včetně uvažované dotační podpory Nová zelená úsporám 60 000,- Kč. Finanční výše je popsána v předchozí podkapitole 7.1.1.

Tabulka 24 Vyhodnocení prosté doby návratnosti investice s uvažováním NZÚ a růstu ceny energie

Prostá doba návratnosti T_s		
V0/ V1	7,6	let
V0/ V2	9,2	let

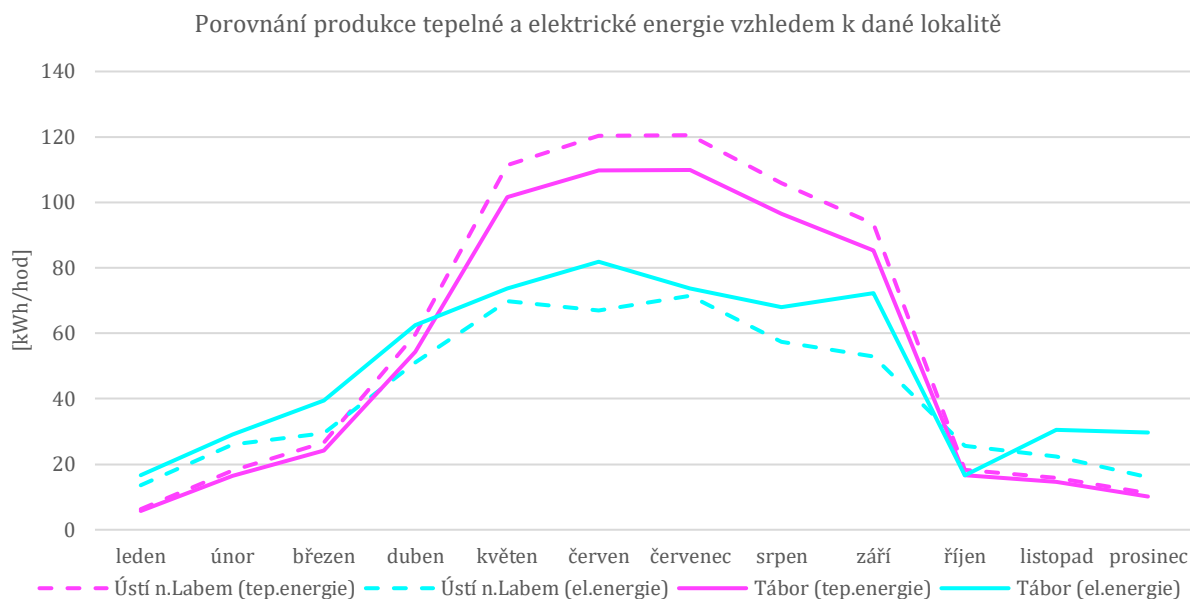


Obrázek 55 Srovnání prostých dob návratnosti vzhledem ke zvolené variantě porovnávání

7.7.3 Vliv klimatických podmínek na produkci tepelné a elektrické energie z FVT kolektoru

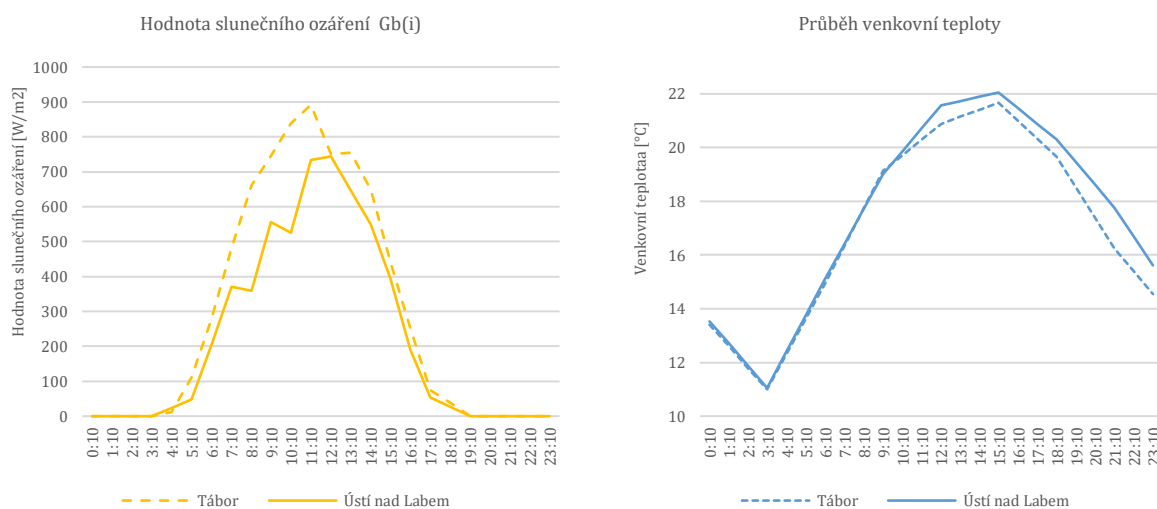
Bilanci FVT kolektoru jsem provedl také pro jinou lokalitu abych zjistil možnosti vlivu změny klimatických podmínek, které ovlivňují produkce tepelné energie a energie ve formě generované elektřiny. Za pomoci vytvořeného výpočtového modelu jsem provedl hodinovou bilanci pro město Tábor. Jedná o lokalitu v jižních Čechách a předpokladem bylo, že hodnoty produkované elektrické energie budou vyšší než pro Ústí nad Labem. Roční produkce elektrické energie je závislá na intenzitě slunečního záření a je závislá tedy na zmíněné lokalitě. Jako další faktor ovlivňující produkci je sklon, venkovní teplota a orientace FVT kolektoru, která je pro modelový objekt zvolena na jih se sklonem 45°.

Výsledky bilance jsou uvedeny (viz Obrázek 56) a změna hodnot produkce tepelné energie a elektrické energie se vlivem změny lokality a klimatických podmínek potvrdila. Došlo k nárůstu produkce elektrické v průměru o 15 %, naopak u produkce tepelné energie došlo k poklesu v průměru o 8 % a to z důvodu nižší hodnoty průměrné venkovní teploty v této lokaci.



Obrázek 56 Porovnání produkce tepelné a elektrické energie vzhledem ke změně lokality

Zvolil jsem 7. červenec 2016 pro porovnání změny parametrů klimatických podmínek. Tento typový den byl vhodný pro názorný rozdíl hodinového průběhu ovlivňujících parametrů produkce tepelné a elektrické. Porovnávám zde průběh venkovní teploty a hodnotu intenzity slunečního záření pro Ústí nad Labem a Tábor.



Obrázek 57 Průběh venkovní teploty a slunečního záření pro Tábor a Ústí nad Labem

8 Závěr

V předložené diplomové práci byl vytvořen návrh koncepce ústředního vytápění pro uvažování kombinace tepelného čerpadla s FVT kolektory. Pro modelový dům byla stanovena tepelná ztráta a předpokládané spotřeby tepelné energie na ohřev teplé vody a vytápění. Jako další byl vytvořen výpočtový model v tabulkovém procesoru Microsoft Excel sloužící k optimalizaci FVT kolektorů a tepelného čerpadla v hodinové bilanci. Zvolená lokace objektu je Ústí nad Labem a hodinová data byla čerpána pomocí programu PVGIS.

Hlavním výstupem práce je hodinová bilance produkce tepelné energie a energie elektrické z aplikovaných hybridních fotovoltaicko-tepelných kolektorů, které slouží k ohřevu teplé vody a produkci elektřiny. Výsledné znázornění bylo uvedeno pro čtyři typové dny, pro letní, zimní a přechodové období. Aplikace tepelného čerpadla vzduch-voda slouží naopak k pokrytí spotřeby tepelné energie na vytápění v zimním období. Výsledná hodinová bilance tepelného čerpadla ukazuje průběh jeho funkce v průběhu roku. Návrh optimalizovaného schématu obsahuje návrh zapojení technologie a umístění technologie v technické místnosti. Pro vytvoření návrhu optimalizovaného schématu jsem použil program firmy Autodesk, AUTOCAD 2021.

Dalším výstupem práce je ekonomická analýza obsahující stanovení provozních nákladů a ceny energie pro aplikovanou technologii včetně následného porovnání s technologiemi alternativní dodávky tepelné energie. Z hlediska provozních nákladů vychází jako ekonomicky nejpříznivější právě varianta s tepelným čerpadlem a FVT kolektory. Provedl jsem též citlivostní analýzu zkoumající vliv předpokládaného růstu ceny energie a vlivu klimatických podmínek na produkci tepelné a elektrické energie z FVT kolektorů. Hlavními ovlivňujícími parametry byla venkovní teplota t_e [°C] a hodnota intenzity slunečního záření G [W/m²], která se mění právě s danou lokalitou plánované výstavby.

Hlavním přínosem práce je dle mého názoru vytvoření excelového výpočtového modelu, který pracuje s časovým krokem 1 h a který lze použít k modelování/optimalizaci energetických toků a spotřeb rodinného domu pro vybrané charakteristické dny ročního období. Daný model lze použít pro jakýkoliv den v roce.

Navržený systém s tepelným čerpadlem a FVT kolektory doporučuji doplnit o několik fotovoltaických panelů. Vyšší produkci elektrické energie lze jednoduše ukládat do bateriového uložení nehledě na její aktuální spotřebu domácnosti. Kapacitu baterií je možné v budoucnu navýšit přikoupením dalších modulů, čímž zajistím spolehlivou dodávku elektrické energie.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Průměrné teploty dle ČHMÚ (2020) a PVGIS pro Ústí n. Labem (rok 2016) [9]	24
Tabulka 2 Spotřeba tepelné energie na vytápění a ohřev TV.....	31
Tabulka 3 Spotřeba běžné elektrické energie a osvětlení v domácnosti pro modelový dům	36
Tabulka 4 Příklad parametrů nezaskleného DUALSun Spring 375 FVT kolektoru.....	41
Tabulka 5 Simulace soustavy s FVT kolektory pro přípravu TV v rodinném domě.....	41
Tabulka 6 Produkce (1 ks FVT kolektoru) tepelné energie pro přípravu TV a produkce elektrické energie.....	42
Tabulka 7 Roční bilance produkce tepelné energie z 2ks FVT kolektoru	43
Tabulka 8 Technické údaje elektrické topné vložky EHE ve spojení s Vitocell 100-B	52
Tabulka 9 Vyhodnocení předpokládané bilance 2 ks FVT kolektorů.....	54
Tabulka 10 Technické údaje tepelného čerpadla SE HPA-O 6 CS Plus.....	57
Tabulka 11 Ukázka výpočtu bilancování tepelného čerpadla Stiebel Eltron HPA-O 6 Plus..	60
Tabulka 12 Roční bilance provozu tepelného čerpadla pro přípravu tepelné energie vytápění.....	62
Tabulka 13 Tabulka přepočtu výkonů.....	65
Tabulka 14 Investiční náklady na návrh ústředního vytápění (Varianta 0)	67
Tabulka 15 Spotřeba elektrické energie dle typu vytápění a ohřevu TV	68
Tabulka 16 Postup výpočtu ceny za elektřinu pro variantu V0	71
Tabulka 17 Roční celkové náklady na provoz	72
Tabulka 18 Roční celkové náklady na provoz	73
Tabulka 19 Srovnání náklady na provoz při různých variantách dodávky energie.....	74
Tabulka 20 Vyhodnocení prosté doby návratnosti investice	75
Tabulka 21 Diskontovaná doba návratnosti jednotlivých variant	75
Tabulka 22 Vyhodnocení výhodnosti investice NPV	76
Tabulka 23 Vyhodnocení vlivu dotační podpory na ekonomickou analýzu.....	76
Tabulka 24 Vyhodnocení prosté doby návratnosti investice s uvažováním NZÚ a růstu ceny energie	77

Seznam obrázků

Obrázek 1 Obecné rozdělení fotovoltaicko-tepelných kolektorů [24]	11
Obrázek 2 zasklený kolektor [7]	12
Obrázek 3 FVT nezasklený kolektor [7].....	12
Obrázek 4 Porovnání systémů FV, FT, FVT [7].....	13
Obrázek 5 Příklad denní bilance FVT kolektoru [7].....	14
Obrázek 6 Podíl jednotlivých typů FVT kolektorů z celkové instalované plochy kolektorů na světě [24].....	14
Obrázek 7 Porovnání špičkového elektrického výkonu FVT kolektoru na současném trhu (modrá nezasklené FVT, červená zasklené FVT) [24]	15
Obrázek 8 Tepelná účinnost FVT kolektorů dle zasklení ve srovnání s klasickým termickým kolektorem [24].....	15
Obrázek 9 Levotočivý Carnotův oběh [37]	16
Obrázek 10 p-v a T-s diagram levotočivého RC oběhu (tepelné čerpadlo) [38].....	17
Obrázek 11 Princip tepelného čerpadla s chladivem [38].....	17

Obrázek 12 Schéma solární referenční soustavy s tepelným čerpadlem projekt MacSheep [2].....	19
Obrázek 13 Porovnání naměřených a vypočtených dat studie na Newcastle University po dobu 6 měsíců [41].....	21
Obrázek 14 Produkce elektrické energie z FVT kolektoru ze studie Newcastle University [41].....	21
Obrázek 15 Produkce tepelné energie z FVT kolektoru ze studie Newcastle University [41].....	22
Obrázek 16 Modelový dům (dřevostavba) jižní strana [autor].....	23
Obrázek 17 Modelový dům řez (dřevostavba) jižní strana [autor].....	23
Obrázek 18 Průměrné teploty dle PVGIS pro Ústí nad Labem (rok 2016) [15].....	24
Obrázek 19 Rozhraní softwaru PVGIS pro Ústí nad Labem [15].....	25
Obrázek 20 Hodinový průběh hodnot slunečního svitu pro Gr(i), Gb(i), Gd(i) (pro rok 2016) [19].....	26
Obrázek 21 Hodinový průběh hodnoty úhrnu slunečního svitu H_T (pro rok 2016) [19].....	26
Obrázek 22 Roční průběh spotřeby tepla na vytápění, ohřev TV a spotřeby běžné elektrické energie.....	30
Obrázek 23 Spotřeba tepelné energie na vytápění naměřená pro objekt se sálavým topným systémem (leden 2017) [40].....	32
Obrázek 24 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro přechodové období (duben) a typový den 3. 4. [kWh/hod].....	33
Obrázek 25 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro přechodové období (říjen) a typový den 3. 10. [kWh/hod].....	33
Obrázek 26 Denní diagram průběhu potřeby tepelné energie pro ohřev teplé vody v modelovém domě letní období (červenec) typový den 7. 7. [kWh/hod].....	34
Obrázek 27 Denní diagram průběhu potřeby tepla pro ohřev teplé vody v modelovém domě pro zimní období (leden) typový den 21. 1. [Wh/hod].....	34
Obrázek 28 Procentuální rozložení spotřeby běžné elektrické energie v domácnosti [32].	36
Obrázek 29 Denní profil průměrné spotřeby elektřiny modelového domu [autor].....	37
Obrázek 30 Využitá energie solárního systému pro 100 m ² kolektorové plochy [61].....	42
Obrázek 31 Roční bilance produkce elektrické a tepelné energie z FVT kolektorů.....	44
Obrázek 32 Výpočetní program BalanceSSv3 v souladu s TNI 73 0302:2014.....	45
Obrázek 33 Porovnání bilančních výpočtů produkce tepelné energie pro přípravu TV dle jednotlivých výpočtových nástrojů.....	45
Obrázek 34 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (zimní období – leden) typový den 21. 1. 2016.....	46
Obrázek 35 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (přechodové období – duben) typový den 03. 04. 2016.....	46
Obrázek 36 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (letní období – červenec) typový den 07. 07. 2016.....	47
Obrázek 37 Denní bilance produkce a spotřeby elektrické a tepelné energie na ohřev TV (přechodové období – říjen) typový den 3. 10. 2016.....	47
Obrázek 38 Příklad aktivního solárního systému s akumulací nádrží a průběhu akumulace v průběhu typového dne [57], [58].....	48
Obrázek 39 Akumulační zásobník Viessmann Vitocell 100-B včetně možnosti umístění elektrické topné vložky EHE [59].....	49
Obrázek 40 Koncept návrhu akumulací nádrže (7.7).....	50
Obrázek 41 Koncept návrhu bateriového uložení.....	51
Obrázek 42 Příklad instalace FVT kolektoru s akumulací tepelné energie a elektrickou topnou vložkou pro zásobování domácnosti teplou vodou pro Lyon – Francie [60].....	52

Obrázek 43 Příklad rozhraní vytvořeného výpočtového modelu pro bilanci FVT kolektoru pro typový den v letním období (červenec)	53
Obrázek 44 Roční hodinová bilance produkce elektrické a tepelné energie na ohřev TV	54
Obrázek 45 Závislost výkonu tepelného čerpadla na pokrytí roční potřeby energie [52]....	56
Obrázek 46 Závislost tepelné ztráty a výkonu tepelného čerpadla na venkovní teplotě Stiebel Eltron HPA-O 6 CS Plus	56
Obrázek 47 Výkonový diagram HPA-O 6 CS Plus (topný výkon) a hranice použití pro vytápění dle [53].....	57
Obrázek 48 Bilance tepelného čerpadla (zimní období, přechodové období, letní období)	61
Obrázek 49 Četnost trvání teplot pro zvolené klimatické území – Ústí nad Labem	62
Obrázek 50 Schéma koncepce návrhu ústředního vytápění.....	63
Obrázek 51 Návrh umístění technologie v technické místnosti.....	64
Obrázek 52 Vývoj neregulované složky ceny elektřiny na burze PXE pro rok 2021 [62]	72
Obrázek 53 Vývoj neregulované složky ceny plynu na burze PXE pro rok 2021 [62]	73
Obrázek 54 Srovnání náklady na provoz při různých variantách dodávky energie	74
Obrázek 55 Srovnání prostých dob návratnosti vzhledem ke zvolené variantě porovnávání	77
Obrázek 56 Porovnání produkce tepelné a elektrické energie vzhledem ke změně lokality	78
Obrázek 57 Průběh venkovní teploty a slunečního záření pro Tábor a Ústí nad Labem	78

Zdroje

- [1] Zondag, H.A. & van Helden, W.G.J., 2002. Stagnation temperature in PVT collectors. Uvedeno na konferenci PV in Europe – From PV Technology to Energy Solutions Conference and Exhibition, Rome, Italy.
- [2] MATUŠKA, Tomáš a Bořivoj ŠOUREK. KOMBINACE TEPELNÝCH ČERPADEL A FOTOVOLTAICKO – TEPELNÝCH KOLEKTORŮ [online]. 2013, , 6 [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: https://www.spf.ch/fileadmin/user_upload/macsheep/dokumente/Matuska_Heating_conf2013.pdf
- [3] MacSheep - New Materials and Control for a next generation of compact combined Solar and heat pump systems with boosted energetic and exergetic performance, European Union's Seventh Framework Programme project, 2012-2015, informace dostupné na <http://macsheep.spf.ch>
- [4] R. Dott, M. Haller, J. Ruschenburg, F. Ochs and J. Bony. IEA-SHC Task 44 Subtask C technical report: The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38: Part B: Buildings and Space Heat Load, IEA-SHC, Paris 2012, informace dostupné na <http://www.iea-shc.org/task44>
- [5] DUPEYRAT, P., MÉNÉZO, Ch., ROMMEL, M., HENNING, H. Efficient single glazed flat plate photovoltaic-thermal hybrid collector for domestic hot water system. In: Solar energy. Vol. 85, No. 5, pp. 1457–1468, 2011.
- [6] MATUŠKA, T., Multifunkční solární kolektory pro integraci do budov, In: TZB Haustechnik. roč. 1, č. 1, s. 38–41, 2008.
- [7] MATUŠKA, Tomáš. Hybridní FVT kolektory: AZE2-P7_FV_produkce_FVT_panely [online]. e, 2013, , 6 [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P7_Hybridni_FVT.pdf
- [8] VLACH, Josef. Zásobování teplem a teplárenství. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989
- [9] Portál ČHMÚ: Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. Český hydrometeorologický ústav[online]. [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>
- [10] ČSN EN ISO 13790 - Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2008.
- [11] ČSN 06 0210 - Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1994.
- [12] ČSN EN 12831-1-3 (060206) Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor, Modul M3-3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2018.
- [13] PROTECH Tepelný výkon (TV): ČSN EN 12831-1 a STN EN 12831-1 [online]. PROTECH spol. [cit. 2021-7-4]. Dostupné z:

- <https://www.protech.cz/produkty/hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov/tepelny-vykon>
- [14] ČSN 73 0540-2 (730540) - Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky. 2011.
- [15] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. The European Commission's science and knowledge service [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [16] HORÁKOVÁ, Alena a Karel MRÁZEK. Stavebně technický ústav – Energetika budov: KLIMATOLOGICKÉ ÚDAJE [online]. 2013 [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/EF13_3105_STU-E_Klimatologie.pdf
- [17] Výpočet roční potřeby tepla: Výpočet zásobníku TV, Výpočet tepelného výkonu pro vytápění, Výpočet roční potřeby tepla [online]. Katedra technických zařízení budov [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/91/6_vytapeni_ohrev_tv/6a_pripravatv_potreba_tepela
- [18] Průběh spotřeby teplé vody v bytových domech [online]. [cit. 2021-7-7]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapeni/prubeh-spotreby-teple-vody-v-bytovych-domech/attachment/68165-5b4340cda7b03>
- [19] 2050 Long Term Strategy [online]. An official website of the European Union [cit. 2021-7-8]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
- [20] 2030 climate & energy framework [online]. An official website of the European Union [cit. 2021-7-8]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
- [21] RANDALL, MITCHELL, EL-WAKIL: Natural convection heat transfer characteristics of flat-plate enclosures, Transactions of ASME, Journal of Heat Transfer, 1979, vol.101, s. 120-125.
- [22] WEISS, W., SPÖRK-DÜR M., Solar Heat Worldwide 2019, IEA-Solar Heating and Cooling Programme <https://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>
- [23] FLORSCHUETZ, W. L. Extension of the Hottel-Whilier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collector. Solar energy, 1979, vol. 22, s. 361- 366.
- [24] POKORNÝ, Nikola. ZASKLENÝ KAPALINOVÝ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÝ KOLEKTOR. 2020, 2020. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze - Fakulta Strojní. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Matuška, PhD.
- [25] HOTTEL, H. C, WHILIER, A., Evaluation of flat plate collector performance. Trans. the Conference on the Use of Solar Energy University of Arizona, s. 1-74, 1958.
- [26] IEA SHC Task 60 PVT Systems: Application of PVT Collectors and New Solutions in HVAC Systems. Dostupné z: <http://task60.iea-shc.org/>
- [27] ČSN EN ISO 9806. Solární energie - Solární tepelné kolektory – Zkušební metody, ČNI, 2014.

- [28] STEGMAN, M., BERTRAM, E., ROCKENDORF, G., Model of an unglazed photovoltaic thermal collector based on standard test procedures, In Proceedings of ISES Solar World Congress, Kassel, Germany, 2011.
- [29] ZENHAHAUSNER, D., BAMBERGER, E., BAGGENSTOS, A. PVT Wrap-Up; Energy systems with photovoltaic-thermal solar collectors, Rapperswil: SPF., 2017.
- [30] System Advisor Model (SAM) [online]. National Renewable Energy Laboratory (NREL) [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: <https://sam.nrel.gov/>
- [31] The RETScreen® Clean Energy Management Software [online]. canada.ca [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>
- [32] Elektrina.cz [online]. Ušetřeno.cz [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/za-co-utracite#/vysledek#top-steps>
- [33] ČSN 06 0320 - Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [34] MATUŠKA, Tomáš. Solární soustavy. AZE P3 solární soustavy [online]. ČVUT, , 68 [cit. 2021-7-10]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P3-solarni_soustavy.pdf
- [35] JEŠTĚ EKONOMIČTĚJŠÍ A EKOLOGIČTĚJŠÍ TEPELNÉ ČERPADLO [online]. AC Heating [cit. 2021-7-13]. Dostupné z: <https://www.ac-heating.cz/jeste-ekonomictejsi-a-ekologictejsi-tepelne-cerpadlo/>
- [36] PETRÁK, Jiří. Tepelná čerpadla. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03126-8.
- [37] KOLOVRATNÍK, Michal. Zdroje a přeměny energie [přednáška], 10. Levotočivé oběhy, chladicí a topný faktor. Vodní elektrárny, turbíny, využití v elektrizační soustavě. Praha: ČVUT FS v Praze.
- [38] Základy tepelných čerpadel [online]. MATUŠKA, Tomáš. ČVUT FS, s. 65 [cit. 2021-7-13]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [39] KLAZAR, Luděk. Nároky a náročnost, potřeba a spotřeba, teplo a energie. Topinfo s.r.o, 2003, , 1. ISSN 1801-4399.
- [40] NZEB jako aktivní prvek energetické soustavy [online]. , 50 [cit. 2021-7-14]. Dostupné z: <http://data.uceeb.cz/fenix/mereni.php?p=energie-okamzita&dateFrom10.01.2017&dateTO=10.01.2017>
- [41] ANU, Antony, Wang Y.D a Roskully A.P. A Detailed Optimisation of Solar Photovoltaic/Thermal Systems and its Application [online]. Newcastle University, SWAN Centre for Energy Research, Newcastle Upon Tyne, NE17RU, UK, 2019, , 8 [cit. 2021-7-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219303157?via%3Dihub>

- [42] TNI 73 0302: TNI 73 0302 - Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví z, 2014.
- [43] CHOW, T., A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 2010, vol. 87, no. 2, s. 365–379. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.037
- [44] ZONDAG, H. A., Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, vol. 12, s. 891–959.
- [45] DUFFIE, J., BECKMAN W., WOREK W. M.: *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd ed. [online]. 1994. ISBN 1118418123. Dostupné z: doi:10.1115/1.2930068
- [46] KAČÍREK, Pavel. HYBRIDNÍ SOLÁRNÍ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÉ KOLEKTORY [online]. 2015 [cit. 2020-10-11]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63436/F2-BP-2015-Kacirek-Pavel-BP_Kacirek-tisk.pdf?sequence=1&isAllowed=y. BP. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
- [47] ČSN EN 15316-4-3: Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav - Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy, Modul M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2019.
- [48] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 2010. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [49] Hybrid Solar. <https://deepresource.wordpress.com/> [online]. [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: <https://deepresource.wordpress.com/2015/07/25/hybrid-solar/>
- [50] Energetický regulační věstník. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: <https://www.ery.cz/cs/erv/2021>
- [51] BUKVA, Pavel. NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA PRO RODINNÝ DŮM [online]. 2014 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/105123/BUK0020_FS_B2341_3904R016_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. MOJMÍR VRTEK, Ph.D.
- [52] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie*. Praha: Evropský sociální fond, 2010. Skriptum. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.
- [53] HPA-O 6 CS Plus: AIR-WATER HEAT PUMPS [online]. [cit. 2021-8-22]. Dostupné z: https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/renewables/heat_pump/air-water_heat_pumps/hpa-o_3-8_cs_plus/hpa-o_6_cs_plus.html
- [54] LINHARTOVÁ, Vladimíra a Vladimír LINHARTOVÁ. Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech [online]. 2015, , 1 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>
- [55] Vyhláška č. 264/2020 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov. Odbor 41300. 2020.

- [56] ŠAFRÁNEK, JAROSLAV, ING, CSC., VYHLÁŠKA Č. 264/2020 SB. A OBSAH PRŮKAZU ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY: SEMINÁŘ AEA-ES – 2021. PRAHA, 2021.
- [57] Solar Thermal Storage. Www.sciencedirect.com: S. Kalaiselvam, R. Parameshwaran, in Thermal Energy Storage Technologies for Sustainability, 2014 [online]. [cit. 2021-10-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-thermal-storage>
- [58] Optimization Analysis on Storage Tank Volume in Solar Heating System. Www.sciencedirect.com: Tao Li et al. / Procedia Engineering 121 (2015) 1356 – 1364 [online]. [cit. 2021-10-17]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/81965568.pdf>
- [59] Vitocell 100-B CVB, CVBB. Viessmann.cz [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/zasobniky/bivalentni-zasobniky-teple-vody/vitocell-100b.html>
- [60] DUALSun Spring Shingle lack. Viessmann.cz [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://my.dualsun.com/en/resources/#spring>
- [61] MATUŠKA, Tomáš. Spolupráce hybridního FVT kolektoru a tepelného čerpadla [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: https://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/matuska_FVT.pdf
- [62] F PXE CZ PL CAL-22. PXE.CZ [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.pxe.cz/Produkty/Detail.aspx?isin=FCZPLY221230#KL>
- [63] BERANOVSKÝ, Jiří. Ekonomika užití energie: Téma 06_Ekonomické hodnocení energetických úspor Kvantitativní hodnocení energetických zdrojů a úspor (bilance a ekonomika) [online]. [cit. 2021-10-20]. Prezentace AEA. ČVUT, Praha, 2021.
- [64] DISKONTOVANÁ DOBA NÁVRATNOSTI [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.febmat.com/clanek-diskontovana-doba-navratnosti/>
- [65] 730334. ČSN EN ISO 52000-1: Energetická náročnost budov - Základní zásady pro soubor norem ENB - Část 1: Obecný rámec a postupy. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [66] ČSN 73 0542 (730542): Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 10/1995n. l.
- [67] Nová Zelená Úsporám [online]. Státní fond životního prostředí ČR, 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>

Přílohy

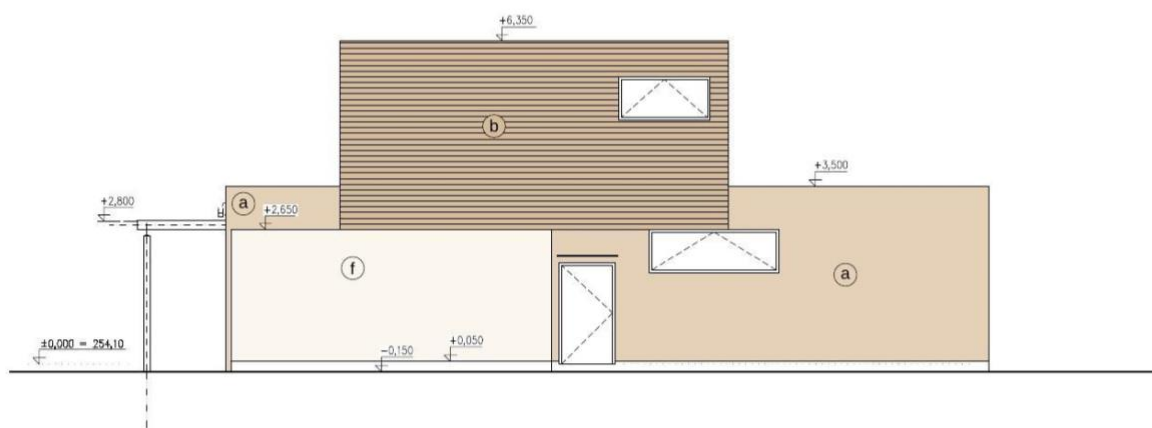
Příloha 1 Modelový dům (výkresová dokumentace) 1/7	89
Příloha 2 Modelový dům (výkresová dokumentace) 2/7	90
Příloha 3 Modelový dům (výkresová dokumentace) 3/7	91
Příloha 4 Modelový dům (výkresová dokumentace) 4/7	92
Příloha 5 Modelový dům (výkresová dokumentace) 5/7	93
Příloha 6 Modelový dům (výkresová dokumentace) 6/7	94
Příloha 7 Modelový dům (výkresová dokumentace) 7/7	95
Příloha 8 PROTECH TV – Výpočet tepelné ztráty dle úseků objektu 1/2	96
Příloha 9 PROTECH TV - Výpočet tepelné ztráty dle úseků objektu 2/2	97
Příloha 10 Katalog technických parametrů tepelného čerpadla Stiebel Eltron HPA-0 [53].	98
Příloha 11 Roční spotřeba tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody	99
Příloha 12 PROTECH TV - Rozdělení ztrát mezi jednotlivé konstrukce	100

Příloha 1 Modelový dům (výkresová dokumentace) 1/7



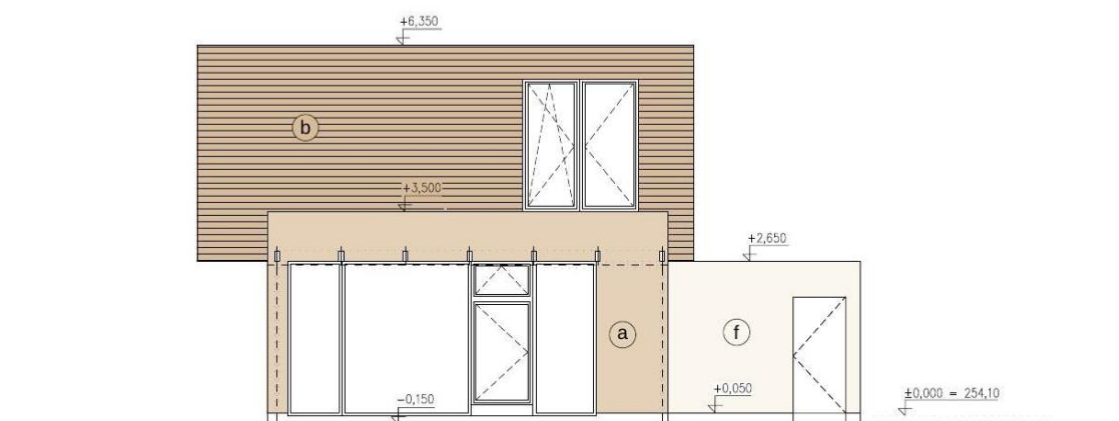
C4

POHLED SEVERNÍ C3 C4



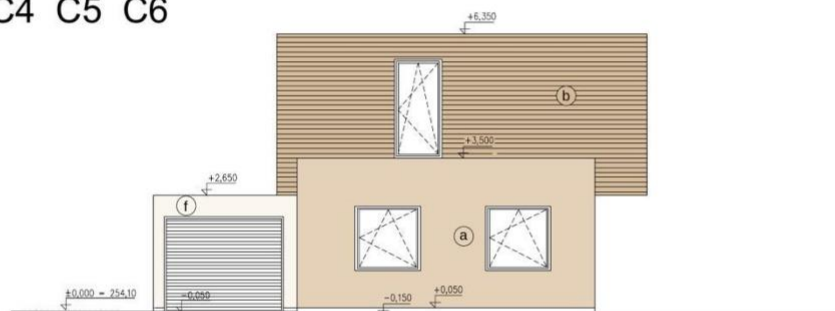
C4

Příloha 3 Modelový dům (výkresová dokumentace) 3/7



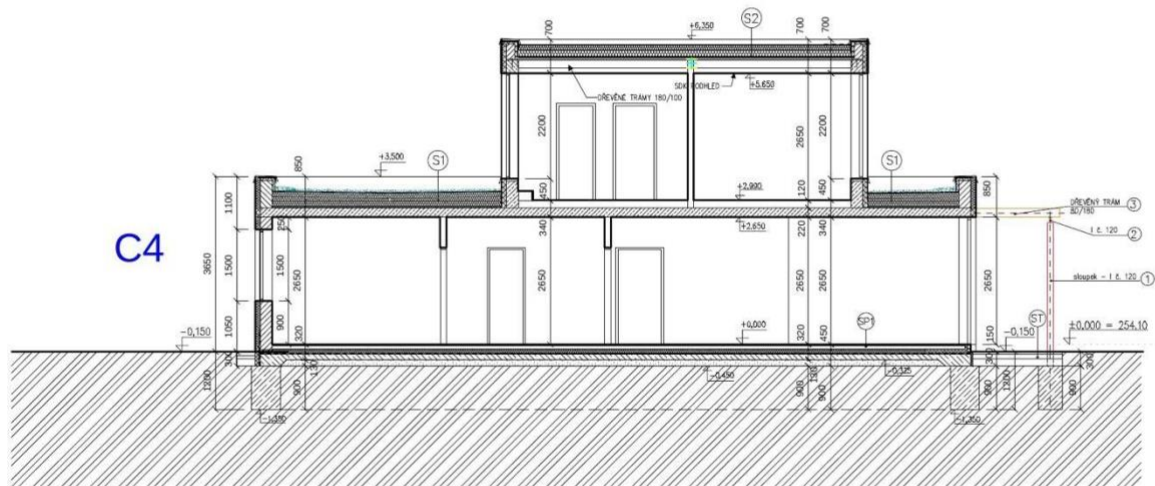
C4

POHLED ZÁPADNÍ C4 C5 C6

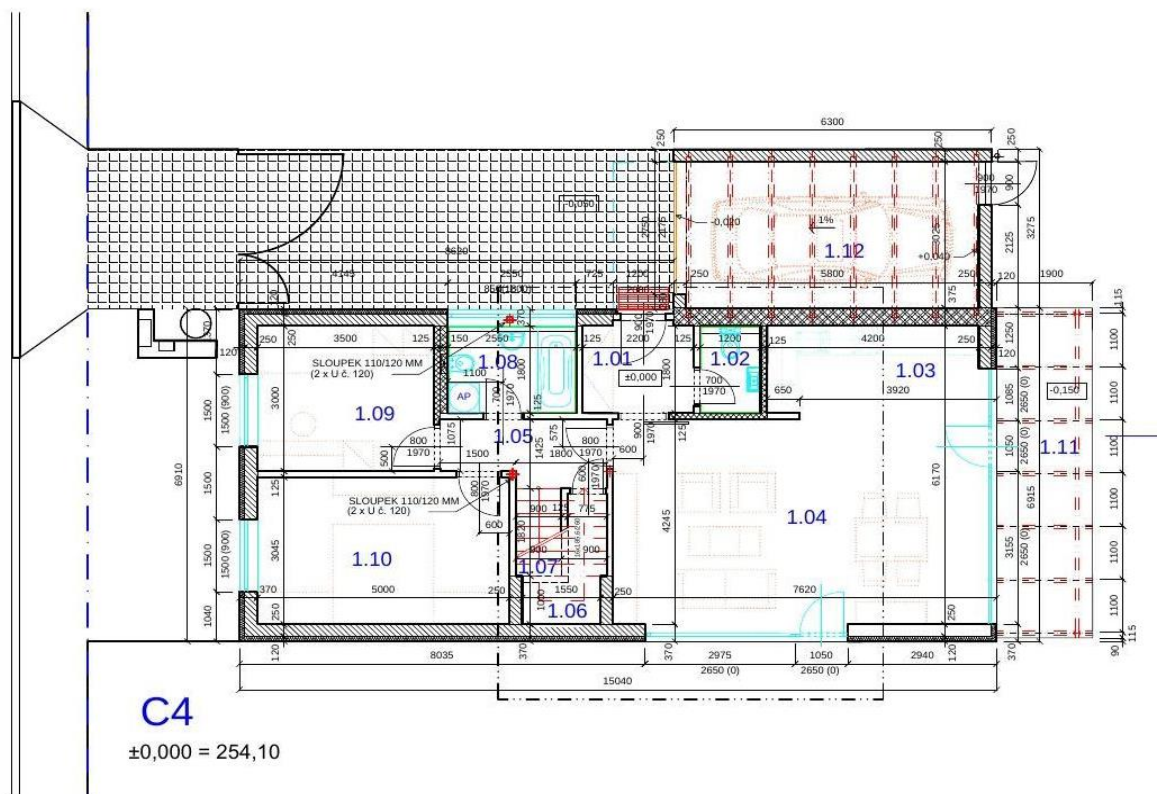


C4

Příloha 5 Modelový dům (výkresová dokumentace) 5/7



Příloha 6 Modelový dům (výkresová dokumentace) 6/7



Příloha 8 PROTECH TV - Výpočet tepelné ztráty dle úseků objektu 1/2

Výpočet budovy - varianta 1

Stavba:

Místo: Ústí nad Labem

Zadavatel:

Zpracovatel: Bc. Zdeněk Prokopec

Zakázka:

Archiv:

Projektant: Bc. Zdeněk Prokopec

Datum:

E-mail:

Telefon:

Tento dokument obsahuje všechny zadané úseky

$t_e = -12 \text{ °C}$ $t_{ib} = 20,2 \text{ °C}$ $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i	V_{me}	A_{pe}	V_{mi}	A_{pi}	Φ_{Vm}	Φ_{Tm}	Φ_{HLm}	Q_{cm}	q_{cm}
				°C	m ³	m ²	m ³	m ²	W	W	W	W	W.m ²
1 NP													
1	101	1.01	1	20	11,9	4,0	8,6	3,2	47	112	159	159	49,8
1	102	1.02	1	24	6,5	2,2	4,3	1,6	26	74	101	101	63,1
1	103	1.03	1	20	22,7	7,6	17,3	6,4	94	171	265	265	41,4
1	104	1.04	1	20	97,0	32,3	77,8	28,8	423	870	1 293	1 293	44,9
1	105	1.05	1	20	8,7	2,9	5,3	2,0	29	-1	28	28	14,2
1	106	1.06/07	1	20	13,0	4,3	8,4	3,1	46	81	127	127	40,6
1	108	1.08	1	24	13,8	4,6	9,9	3,7	61	243	304	304	82,5
1	109	1.09	1	20	31,5	10,5	21,9	8,1	119	288	407	407	50,2
1	110	1.10	1	20	59,7	19,9	30,6	12,7	166	474	640	640	50,3
1	112	1.12	1	20	47,8	15,9	37,1	13,8	202	1 530	1 732	1 732	126,0
Σ úsek 1 1 NP						312,7	104,2	221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	
2 NP													
2	201	2.01	2	20	24,3	8,1	17,3	6,4	94	291	385	385	60,2
2	202	2.02	2	24	10,1	3,4	7,2	2,7	44	244	288	288	108,2
2	203	2.03	2	20	10,1	3,4	7,4	2,8	40	91	131	131	47,7
2	204	2.04	2	20	33,9	11,3	25,9	9,6	141	327	468	468	48,7
2	205	2.05	2	20	40,9	13,6	32,4	12,0	176	246	422	422	35,2
2	206	2.06	2	20	40,9	13,6	32,4	12,0	176	336	512	512	42,7
2	207	2.07	2	20	7,4	2,5	5,1	1,9	28	109	137	137	72,0
Σ úsek 2 2 NP						167,6	55,9	127,8	47,3	700	1 643	2 343	2 343
Σ budovy						480,2	160,1	349,0	130,7	1 913	5 485	7 398	

Legenda

Φ_{Vm} - návrhová tepelná ztráta místnosti větráním

Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti

$Q_{cm} = \Phi_{HLm} + Q_z$

Φ_{Tm} = návrhová tepelná ztráta místnosti prostupem tepla

Tento dokument obsahuje všechny zadané úseky

$t_e = -12 \text{ °C}$ $t_{ib} = 20,2 \text{ °C}$ $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

Σ úseku	V_{me}	A_{pe}	V_{mi}	A_{pi}	Φ_{Vm}	Φ_{Tm}	Φ_{HLm}	Q_{cm}
	m ³	m ²	m ³	m ²	W	W	W	W
Σ úsek 1 1 NP	312,7	104,2	221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	5 055
Σ úsek 2 2 NP	167,6	55,9	127,8	47,3	700	1 643	2 343	2 343
Σ budovy	480,2	160,1	349,0	130,7	1 913	5 485	7 398	7 398

Legenda

Φ_{Vm} - návrhová tepelná ztráta místnosti větráním

Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti

$Q_{cm} = \Phi_{HLm} + Q_z$

Φ_{Tm} = návrhová tepelná ztráta místnosti prostupem tepla

Příloha9 PROTECH TV - Výpočet tepelné ztráty dle úseků objektu 2/2

Tento dokument obsahuje všechny zadané úseky

$t_e = -12 \text{ °C}$ $t_{ib} = 20,2 \text{ °C}$ $n_{50} = 2,5$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	úcel	úsek	t_i °C	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	Φ_{Vm} W	Φ_{Tm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	q_{cm} W.m ⁻²	
1 NP												
1	101	1.01	1	20	8,6	3,2	47	112	159	159	49,8	
1	102	1.02	1	24	4,3	1,6	26	74	101	101	63,1	
1	103	1.03	1	20	17,3	6,4	94	171	265	265	41,4	
1	104	1.04	1	20	77,8	28,8	423	870	1 293	1 293	44,9	
1	105	1.05	1	20	5,3	2,0	29	-1	28	28	14,2	
1	106	1.06/07	1	20	8,4	3,1	46	81	127	127	40,6	
1	108	1.08	1	24	9,9	3,7	61	243	304	304	82,5	
1	109	1.09	1	20	21,9	8,1	119	288	407	407	50,2	
1	110	1.10	1	20	30,6	12,7	166	474	640	640	50,3	
1	112	1.12	1	20	37,1	13,8	202	1 530	1 732	1 732	126,0	
Σ úsek 1 1 NP							221,2	83,3	1 213	3 842	5 055	
2 NP												
2	201	2.01	2	20	17,3	6,4	94	291	385	385	60,2	
2	202	2.02	2	24	7,2	2,7	44	244	288	288	108,2	
2	203	2.03	2	20	7,4	2,8	40	91	131	131	47,7	
2	204	2.04	2	20	25,9	9,6	141	327	468	468	48,7	
2	205	2.05	2	20	32,4	12,0	176	246	422	422	35,2	
2	206	2.06	2	20	32,4	12,0	176	336	512	512	42,7	
2	207	2.07	2	20	5,1	1,9	28	109	137	137	72,0	
Σ úsek 2 2 NP							127,8	47,3	700	1 643	2 343	
Σ budovy							349,0	130,7	1 913	5 485	7 398	

Legenda

Φ_{Vm} - návrhová tepelná ztráta místnosti větráním

Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti

$Q_{cm} = \Phi_{HLm} + Q_z$

Φ_{Tm} = návrhová tepelná ztráta místnosti prostupem tepla

$t_{em} = 12 \text{ °C}$ $d_{lok} = 216 \text{ dnů}$ $d_{CSN} = 225 \text{ dnů}$

$t_e = -12 \text{ °C}$ $t_{ibQ} = 20,37 \text{ °C}$

$Q = 7398 \text{ W}$

t_{ex} °C	Q W	q %	d dny	d %	d_{te} dny
-12	7 398	100,0	4	2,2	4
-11	7 169	96,9	6	3,1	2
-10	6 941	93,8	8	4,0	2
-9	6 712	90,7	10	4,9	2
-8	6 484	87,6	13	6,2	3
-7	6 255	84,6	15	7,1	2
-6	6 027	81,5	19	8,9	4
-5	5 798	78,4	23	10,7	4
-4	5 570	75,3	27	12,9	4
-3	5 341	72,2	34	16,0	7
-2	5 113	69,1	41	19,1	7
-1	4 884	66,0	51	24,0	10
0	4 656	62,9	63	29,3	12

t_{ex} °C	Q W	q %	d dny	d %	d_{te} dny
1	4 427	59,8	76	35,6	13
2	4 199	56,8	89	41,3	13
3	3 970	53,7	102	47,6	13
4	3 742	50,6	116	53,8	14
5	3 513	47,5	128	59,6	12
6	3 285	44,4	141	65,3	13
7	3 056	41,3	153	71,1	12
8	2 828	38,2	166	76,9	13
9	2 599	35,1	178	82,7	12
10	2 371	32,0	190	88,0	12
11	2 142	29,0	203	94,2	13
12	1 914	25,9	216	100,0	13

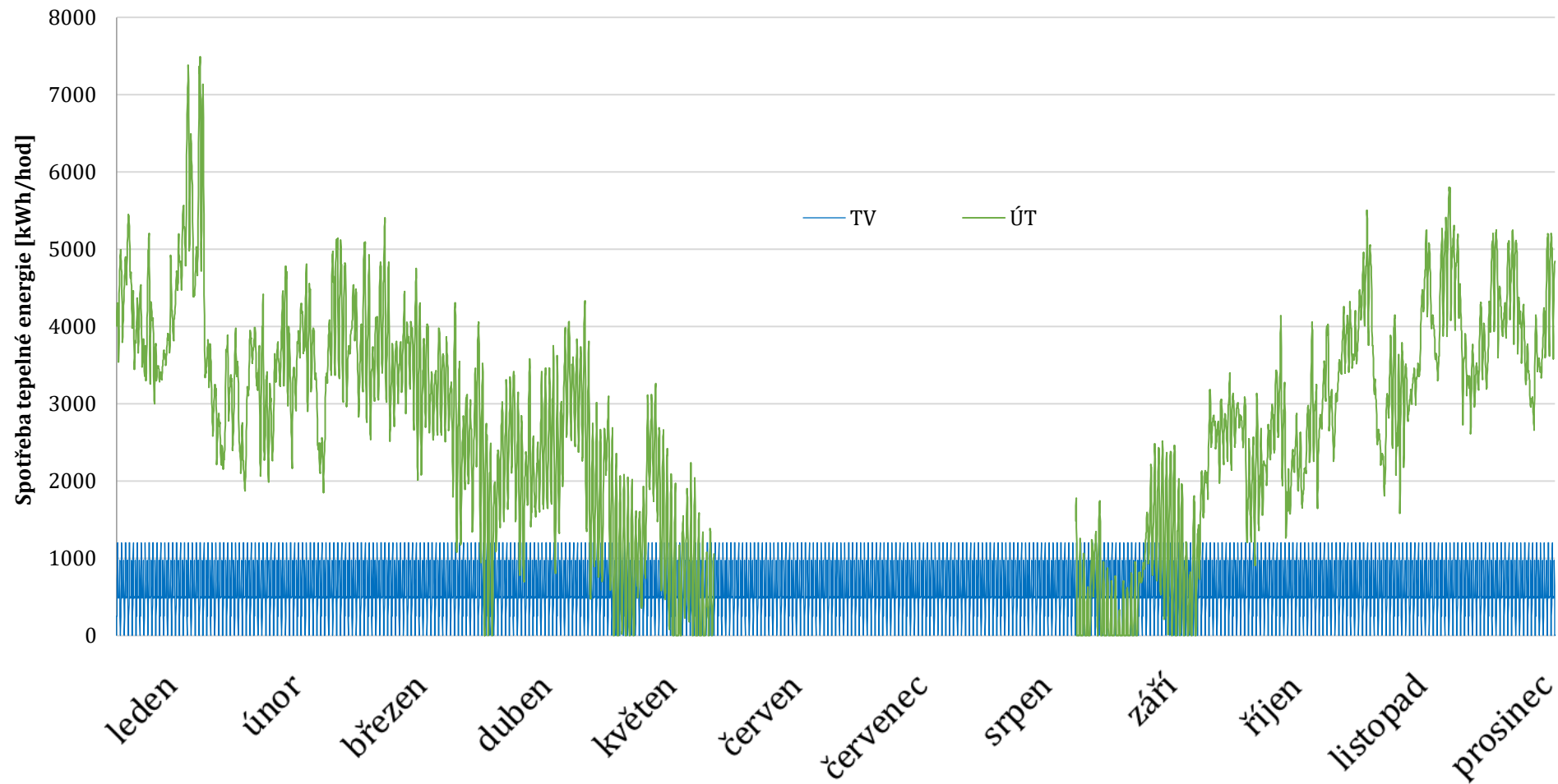
Příloha 10 Katalog technických parametrů tepelného čerpadla Stiebel Eltron HPA-0 [53]



Typ	HPA-0 4 CS Plus	HPA-0 6 CS Plus	HPA-0 8 CS Plus
Číslo obj.	238985	238986	238987
Technická data			
Třída energetické účinnosti tepelného čerpadla W35	A++	A+++	A+++
Třída energetické účinnosti tepelného čerpadla W55	A+	A++	A++
Třída energetické účinnosti soupravy (tepelné čerpadlo + regulátor) W35	A++	A+++	A+++
Třída energetické účinnosti soupravy (tepelné čerpadlo + regulátor) W55	A+	A++	A++
SCOP (EN 14825)	4,15	4,5	4,5
Topný výkon při A2/W35 (EN 14511)	2,58 kW	5,3 kW	5,3 kW
Topný faktor při A2/W35 (EN 14511)	3,64	3,8	3,8
Topný výkon pro A-7/W35 (EN 14511)	3,96 kW	6 kW	7,8 kW
Topný faktor při A-7/W35 (EN 14511)	2,73	2,98	2,91
Chladicí výkon pro A35/W7 max.	3 kW	5 kW	6 kW
Chladicí faktor pro A35/W7 max.	1,62	1,73	1,73
Chladicí výkon pro A35/W7 částečné zatížení	1,5 kW	2,5 kW	3 kW
Chladicí faktor pro A35/W7 částečné zatížení	2,38	2,4	2,4
Hladina akustického tlaku (EN 12102)	52 dB(A)	57 dB(A)	57 dB(A)
Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 5 m ve volném prostoru	30 dB(A)	35 dB(A)	35 dB(A)
Jmenovité napětí kompresoru	230 V	230 V	230 V
Mez použitelnosti na straně topení max.	60 °C	60 °C	60 °C
Výška	740 mm	812 mm	812 mm
Šířka	1022 mm	1152 mm	1152 mm
Hloubka	524 mm	524 mm	524 mm

Příloha 11 Roční spotřeba tepelné energie na vytápění a ohřev teplé vody

Předpokládaná spotřeba tepelné energie na ohřev TV a vytápění



Příloha 12 PROTECH TV - Rozdělení ztrát mezi jednotlivé konstrukce

System rozměrů: E - vnější

OK	popis	ZZ	Var	U, Ψ	kU	$i_{LV} \cdot 10^4$ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}$	A m^2	L(LV) m	H $W \cdot K^{-1}$	$\Phi_{(T)}$ W
SO1	Obvodová Konstrukce vnější	Z	V1	0,298	1,00		156,0		46,48	1 505,2
SO2	Obvodová stěna - garáž	0	V1	1,217	1,00		55,1		33,70	1 078,2
SN1	Stěna ke garáži	0	V1	0,441	1,00		26,4		1,97	64,6
SN2	Stěna vnitřní 125 mm	Z	V1	0,839	1,00		245,0		0,36	28,0
PDL1	Podlaha na terénu	0	V1	0,262	1,00		104,2		11,21	362,1
PDL2	Podlaha nad venkovním prostor	0	V1	0,262	1,00		55,9		0,10	3,5
STR1	Strop	0	V1	0,262	1,00		180,0		4,08	134,9
SCH1	Střešní konstrukce	0	V1	0,158	1,00		109,7		17,33	559,5
DO1	Vstupní dveře 120/208	0	V1	1,200	1,00	0,000	2,5		3,00	95,8
DO2	Garážová vrata 275/218	0	V1	1,400	1,00	0,000	6,2		8,70	278,3
DO3	Dveře 90/197	0	V1	1,200	1,00	0,000	0,0		0,00	0,0
DB1	Balkónové dveře 110/225	0	V1	0,900	1,00	0,000	0,0		0,00	0,0
OZ2	Okno 150/150	0	V1	0,900	1,00	0,000	4,5		4,05	129,6
OZ3	Okna 180/85	0	V1	0,900	1,00	0,000	1,5		1,38	49,6
OZ4	Okno 109/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	2,9		2,60	83,2
OZ5	Okno 105/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	11,1		10,02	320,5
OZ6	Okna 316/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	8,4		7,52	240,8
OZ7	Okna 298/265	0	V1	0,900	1,00	0,000	7,9		7,10	227,1
OZ8	Okno 220/200	0	V1	0,900	1,00	0,000	8,8		7,92	253,4
OZ9	Okno 255/85	0	V1	0,900	1,00	0,000	2,2		1,95	70,2