

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ**

V PRAZE

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sysel** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **459625**
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:

Použití hybridního fotovoltaického/teplovzdušného kolektoru na rodinném domku

Název diplomové práce anglicky:

Combined photovoltaic and air collector

Pokyny pro vypracování:

Použití hybridního fotovoltaického/teplovzdušného kolektoru na vylepšení energetické bilance rodinného domu (RD). Cílem práce je vyhodnotit technické a ekonomické parametry dostupných kolektorů a navrhnout optimální použití pro pokrytí energetických potřeb nízkoenergetických dřevostaveb (výroba elektrické energie a teplého vzduchu pro větrání). V rámci diplomové práce vypracujte:

1. rešerši výrobců hybridních fotovoltaických kolektorů v Evropě,
2. rešerši provozovaných systémů s hybridními fotovoltaickými kolektory na budovách RD či občanské vybavenosti,
3. optimální zapojení soustavy větrání RD do tepelného okruhu hybridního FV kolektoru,
4. optimální zapojení generované elektrické energie do soustavy ohřevu TV RD,
5. optimální zapojení elektrické soustavy RD do elektrického okruhu hybridního FV kolektoru,
6. vyberte vhodnou metodiku/numerický model pro posouzení dopadající sluneční radiace během celého roku v hodinovém intervalu pro podmínky ČR,
7. proveďte validaci dané metodiky pro podmínky ČR,
8. pro konkrétní objekt RD (pasivní standard) navrhnete vhodný počet hybridních kolektorů na základě technicko-ekonomické optimalizace formou předběžné studie (Feasibility study),
9. pro konkrétní objekt RD navrhnete (pasivní standard) optimální otopnou soustavu a optimální soustavu větrání s rekuperací,
10. na daném objektu RD stanovte úspory tepelné a elektrické energie při běžném provozu RD za rok na základě použití dané metodiky,
11. proveďte výpočet základních ekonomických parametrů - prostá/diskontovaná doba návratnosti vložené investice, generovaný zisk za dobu životnosti zařízení, atd.
12. proveďte citlivostní analýzu pro základní ekonomické parametry,
13. závěr/doporučení, za jakých podmínek je vhodné použití hybridních fotovoltaických kolektorů v podmínkách ČR.

Seznam doporučené literatury:

Fotovoltaika, budovy jako zdroj proudu, Haselhuhn R., HEL Ostrava, 2010, ISBN 978-80-86167-33-6
Solární teplovzdušné vytápění, Filleux Ch., Guetermann A, HEL Ostrava, 2006, ISBN 978-80-86167-28-2

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: **21.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **03.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Použití hybridního teplovzdušného fotovoltaického kolektoru na rodinném domku vypracoval samostatně s použitím odborné literatury, pramenů a odborných konzultací, uvedených na seznamu, který je součástí této práce.

.....

Daniel Sysel

Anotační list

Jméno autora: Daniel Sysel

Název DP: Použití hybridního fotovoltaického teplovzdušného kolektoru na rodinném domku

Anglický název: Combined photovoltaic and air collector

Akademický rok: 2021/2022

Ústav: Ústav energetiky

Vedoucí DP: Ing. Martin Neužil, Ph.D.

Klíčová slova: Hybridní fotovoltaicko-teplovzdušný kolektor, Fotovoltaika, Vytápění, Vzduchotechnika

Key words: Hybrid photovoltaic air collectors, Photovoltaics, Heat recovery

Anotace: Tato diplomová práce se zabývá návrhem systému hybridních fotovoltaicko-teplovzdušných kolektorů pro aplikaci na rodinném domě. V práci je obecné pojednání o fotovoltaice, fotovoltaických systémech, přehled aplikací, trhu výrobců hybridních panelů a vzduchotechnických systémech v rodinných domech. Dále je uveden samotný návrh. Je provedena analýza objektu, na který je návrh aplikován. Je navrhnut otopný a vzduchotechnický systém. Dále pak systém hybridních panelů. Jsou provedeny energetické bilance pro varianty pro systém bez vzduchotechniky a bez hybridních panelů, systém se vzduchotechnickou rekuperací bez hybridních panelů a systém s rekuperací a hybridními panely. Nakonec je provedeno energetické a finanční porovnání uvedených variant

Abstract:

This thesis deals with design of hybrid photovoltaic air collector that is to be used on a family house. Part of thesis includes general research on photovoltaics, photovoltaic systems, overview of applications, designers of hybrid collectors on market and air conditioning systems on family houses. Next part includes the design itself. An analysis of the family house is made. Heating system, air conditioning system and hybrid collector's system is designed. Energetic balances of variations for system without air conditioning and hybrid collectors, for system with air conditioning and air recuperation but without hybrid collectors and system with both air conditioning and hybrid collectors were made. Lastly, these variations were compared from energetic and financial points of view.

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Martinu Nežilovi, Ph.D. za jeho čas, cenné rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu a pomoc během studia.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
1 Úvod	15
2 Princip výroby elektrické energie z hybridních fotovoltaických panelů	16
2.1 Standardizované podmínky	17
2.2 Účinnost fotovoltaického panelu	17
2.3 Faktory ovlivňující zisky z fotovoltaických panelů	19
2.3.1 Vliv spektra záření	19
2.3.2 Sklon a orientace fotovoltaického panelu	20
2.3.3 Vliv povrchu fotovoltaického panelu	22
2.3.4 Vliv zastínění části panelu	22
2.3.5 Vliv nečistot na povrchu panelu	23
2.3.6 Vliv teploty	24
2.3.7 Vliv Intenzity ozáření	25
3 Fotovoltaický systém	26
3.1 Připojovací skříň	26
3.2 Bezpečnostní prvky	26
3.3 Měnič napětí	26
3.4 Střídač	26
3.5 Akumulace	29
3.5.1 Lithiové akumulátory	29
3.5.2 Olověné akumulátory	30
3.5.3 Nikl-Kadmiové akumulátory	30
3.5.4 Virtuální baterie	30
4 Hybridní fotovoltaicko – tepelné panely	31
5 Současný stav na trhu s fotovoltaicko-tepelnými panely	33

5.1	Přehled výrobků na trhu.....	33
5.1.1	Conserval Engineering	33
5.1.2	Base	34
5.1.3	Systovi	34
5.1.4	SolarVenti.....	34
5.2	Aplikace hybridních panelů	35
5.2.1	Cogen'air	35
5.2.2	Využití PVT vzduchotechnických panelů k sušení	36
6	Analýza objektu ve stávajícím stavu.....	37
6.1	Skladby konstrukcí	37
6.1.1	Podlaha	38
6.1.2	Obvodová stěna obytných místností.....	38
6.1.3	Stěna garáže	40
6.1.4	Střecha	40
6.2	Tepelné ztráty	41
6.2.1	Tepelné ztráty prostupem tepla.....	42
6.2.2	Ztráta větráním	45
6.3	Zdroj vytápění.....	48
6.4	Podlahové vytápění.....	51
6.5	Potřeba tepla na vytápění.....	56
6.5.1	Potřeba tepla pro vytápění pokrytá tepelným čerpadlem	57
6.5.2	Potřeba tepla pokrytá elektrickými fóliemi a elektrickými topnými kabely	58
6.6	Výpočet potřeby energie pro teplou vodu.....	59
6.7	Výpočet spotřeby elektrické energie.....	65
6.7.1	Spotřeba elektrické energie spotřebičů.....	65
6.7.2	Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla na vytápění.....	66

6.7.3	Spotřeba elektrické energie na přípravu teplé vody	67
6.7.4	Potřeba elektrické energie na vytápění elektrickými fóliemi a kabely.....	68
6.7.5	Celkový přehled spotřeby elektrické energie	69
7	Návrh fotovoltaického systému.....	71
7.1	Stanovení venkovních podmínek.....	71
7.2	Validace modelu PVGIS.....	72
7.3	Komponenty fotovoltaického systému	83
7.3.1	Panely	83
7.3.2	Střídač.....	87
7.3.3	Baterie.....	89
7.3.4	Celková účinnost soustavy	92
7.4	Dimenzování FVT soustavy	93
8	Vzduchotechnika v rodinných domech.....	98
8.1	Přirozené větrání	99
8.2	Nucené a řízené větrání.....	100
8.2.1	Podtlakové větrání	100
8.2.2	Hybridní větrání.....	100
8.2.3	Nucené rovnotlaké větrání.....	100
8.3	Zpětné získávání tepla	101
8.3.1	Rekuperační výměníky tepla ve vzduchotechnice.....	101
8.3.2	Regenerační výměníky tepla ve vzduchotechnice.....	101
9	Návrh vzduchotechnického systému.....	103
9.1	Technický popis rozvodů vzduchu	103
9.2	Ověření funkčnosti ventilátorů	105
9.2.1	Ztráta třením v potrubí.....	106
9.2.2	Ztráta místními odpory	107

9.2.3	Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě.....	107
9.3	Komponenty vzduchotechnického systému.....	109
10	Přepoččet energetické bilance pro systém s rekuperací	112
11	Výpočet tepelných energetických zisků z panelů.....	116
11.1.1	Stanovení křivky účinnosti	118
11.1.2	Zapojení panelů	121
11.1.3	Zapojení panelu s rekuperační jednotkou.....	123
11.1.4	Výpočet tepelných zisků z panelů a z rekuperace	124
12	Přepoččet energetické bilance systému s rekuperací a panely	126
13	Porovnání variant.....	128
13.1	Investiční náklady	130
13.2	Prostá doba návratnosti	131
13.3	Výpočet diskontované návratnosti.....	131
13.4	Citlivostní analýza	133
14	Závěr.....	- 135 -
15	Seznam použité literatury	- 137 -
	Seznam příloh	- 145 -

Seznam symbolů a zkratk

Symbol	Jednotka	Popis
∇_a	W/m^2K	Tepelná propustnost vrstev podlahy nad trubkami topení
∇_b	W/m^2K	Tepelná propustnost vrstev podlahy pod trubkami topení
a	$^\circ$	Sluneční azimut
A	m	Plocha panelu
AM	-	Air mass
AZ	-	Akumulační zásobník
b	$^\circ$	Sluneční azimut
B	1	Charakteristické číslo budovy
CF	-	Cashflow
C_p	$J/kg.K$	Měrná tepelná kapacita vzduchu
c_{p_w}	$J/kg.K$	Měrná tepelná kapacita vody
ČNB	-	Česká národní banka
d_t	m	Vnější průměr trubek podlahového vytápění
d	m	Skutečná vzdálenost panelu
d_{vzt}	m	Průměr vzduchotechnického potrubí
d_{den}	1	Počet dnů otopného období
d	m	Tloušťka vrstvy materiálu
DB	-	Distribuční box
d_s	m	Vzdálenost mezi panely bez azimutové korekce
e_d	1	Koeficient na zkrácení doby provozu
e_i	1	Koeficient na nesoučasnost tepelné ztráty prostupem a větráním
EN	-	Expanzní nádoba
e_t	1	Koeficient na snížení vnitřní teploty
$E_{T\check{c}}$	Wh	Roční spotřeba elektřiny tepelného čerpadla na vytápění
$E_{T\check{c}w}$	Wh	Roční spotřeba elektřiny tepelného čerpadla na ohřev teplé vody
ETT	-	Elektrické topné těleso
FF	-	Fill factor
F_R	1	Tepelný přenosový součinitel panelu
G	W/m^2	Intenzita slunečního záření
G_{ref}	W/m^2	Referenční hodnota ozáření
h_s	$^\circ$	Úhel slunce nad obzorem
h	m	výška nakoleněné roviny panelu
I_0	W/m^2	Intenzita slunečního záření na vnějším povrchu atmosféry
I_c	W/m^2	Celkové záření dopadající na panely

I_D	W/m^2	Intenzita přímého slunečního záření na nakloněnou plochu
I_d	W/m^2	Difuzní sluneční záření
i_L	$m^{-2}.s^{-1}.Pa^{-n}$	Součinitel spárové průvzdušnosti
I_{mpp}	A	Proud při maximálním výkonu panelu
I_{SC}	A	Zkratový proud
$I_{stř.max}$	A	Maximální proud ve střídači
IN	Kč	Investiční náklady
K	1	součinitel snížené účinnosti fotovoltaického panelu
k	m	Drsnost potrubí
L	m	Délka spáry
l	m	Délka potrubí
m	1	Charakteristické číslo podlahy
M	1	Charakteristické číslo místnosti
MPP	-	Maximum power point
N_{iv}	Kč	Investiční náklady
N_{iv0}	Kč	Investiční náklady referenční varianty
NOCT	-	Normální provozní teplota článku
n_p	1	Počet osob v rodinném domě
NP	-	Nadzemní podlaží
N_{pv}	Kč/rok	Provozní náklady
NPV	-	Čistá současná hodnota
N_{pv0}	Kč/rok	Provozní náklady referenční varianty
N_{PVTmax}	1	Maximální možný počet panelů
N_{PVTmin}	1	Minimální možný počet panelů
O	m	Obvod otopné plochy
p_1	1	Přirážka na vyrovnání chladných konstrukcí
p_2	1	Přirážka na urychlení zátoku
p_3	1	Přirážka dle světové strany
$P_{čerp}$	W	Výkon tepelného čerpadla
P_{panel}	W	Výkon panelu
PSC	-	Pravý sluneční čas
$P_{Soustava}$	W	Výkon soustavy panelů
PV	-	Podlahové vytápění
PVGIS	-	Photovoltaic Geographical Information System
q	W/m^2	Měrný výkon podlahového vytápění
Q_{el}	W	Elektrická energie z panelu
Q	W	Tepelný výkon panelu

$q_{sál}$	W/m^2	Ztráta sáláním
Q_c	W	Celková ztráta prostupem tepla
Q_{dod}	W	Teplo dodané soustavou panelů a rekuperačního výměníku
Q_{EF}	W	Roční potřeba tepla pokrytá elektrickými fóliemi
Q_{inf}	W	Ztráta infiltrací
Q_o	W	Ztráta prostupem tepla
Q_{op}	W	Tepelný výkon okrajové podlahové plochy místnosti
Q_p	W	Výkon podlahového vytápění
Q_{Reku}	W	Teplo získané z rekuperace
Q_{rokW}	Wh/rok	Roční potřeba energie na ohřátí teplé vody
$q_{sb.sto}$	Wh/den	Měrná ztráta zásobníku
Q_{skut}	W	Skutečný výkon podlahového vytápění
$Q_{TTČ}$	Wh/rok	Roční potřeba tepla pokrytá tepelným čerpadlem
Q_{vv}	W	Tepelná ztráta větracím vzduchem
Q_{vyt}	Wh/rok	Potřeba tepla na vytápění
$Q_{wTČ}$	Wh	Potřeba tepla pro přípravu teplé vody tepelným čerpadlem
Q_{WP}	Wh	Potřeba tepla pro přípravu teplé vody topnou patronou
$Q_{zás}$	Wh	Maximální teplo akumulované v zásobníku
Q_{zc}	W	Celková tepelná ztráta
Q_z	W	Tepelná ztráta v jednotlivých místnostech
R	m^2K/W	Odpor přestupu tepla
r_{op}	m	Vzdálenost krajní trubky hadu podlahového vytápění od stěny
r	l	Diskontní sazba
RD	-	Rodinný dům
Re	l	Reynoldsovo číslo
R_k	m^2K/W	Odpor při přestupu tepla konvekcí
RP	-	Regulační prvek průtoku
R_v	m^2K/W	Odpor při vedení tepla
RV	-	Rekuperační výměník
S	m^2	Plocha
SCOP	-	Sezónní topný faktor tepelného čerpadla
S_p	m^2	Čistá otopná plocha
T	$^{\circ}C$	Teplota vzduchu
T_a	$^{\circ}C$	Teplota okolí
t_e	$^{\circ}C$	Venkovní návrhová teplota
t_{es}	$^{\circ}C$	Průměrná venkovní měsíční teplota
t_i	$^{\circ}C$	Vnitřní teplota místností

T_{panin}	°C	Teplota vzduchu na vstupu do panelu
t_m	°C	Střední teplota otopné vody podlahového vytápění
t_o	°C	Venkovní teplota
T_{obloha}	°C	Teplota oblohy
T_{pano}	°C	Teplota na výstupu z panelu
t_p	°C	Povrchová teplota podlahy
T_p	°C	Průměrná vnitřní teplota v objektu
T_{rekin}	°C	Teplota čerstvého vzduchu na vstupu do rekuperačního výměníku
T_{reko}	°C	Teplota čerstvého vzduchu na výstupu z rekuperačního výměníku
T_{pani2}	°C	Teplota na vstupu z druhého panelu
T_{pano2}	°C	Teplota na výstupu z druhého panelu
T_{pano5}	°C	Teplota na výstupu z pátého panelu
T_{PV}	°C	Reálná teplota fotovoltaického článku
T_{ref}	°C	Referenční teplota okolí
T_{reko1}	°C	Teplý odpadní vzduch
TV	-	Teplá voda
U	W/m ² K	Součinitel prostupu tepla
U_{panel}	W/m ² K	Součinitel tepelné ztráty panelu do okolí
U_{OC}		Napětí z pole panelů
U_p	W/m ² K	Průměrný součinitel prostupu tepla
U_{Panel}	V	Napětí v panelu
U_{soustava}	V	Maximální výstupní napětí z panelů
$U_{\text{stř.max}}$	V	Maximální napětí střídače
U_{Vmax}	V	Maximální pracovní napětí MPP regulátoru
U_{Vmin}	V	Minimální pracovní napětí MPP regulátoru
$V_{\text{zás}}$	m ³	Objem akumulčního zásobníku
V	m ³ /h	Objemový tok
$VETČ$	-	Venkovní jednotka tepelného čerpadla
V_{inf}	m ³ /h	Průtok vzduchu přes spáry
VN	-	Ventil
$VNTČ$	-	Vnitřní jednotka tepelného čerpadla
VO	-	Vodoměr
V_{oc}	V	Napětí panelů naprázdno
V_{sto}	m ³	Objem zásobníku užitkové vody (bojler)
V_t	m ³ /h	Objem teplé vody odebraný v hodinovém intervalu
V_v	m ³ /h	Výměna vzduchu
V_{wday}	m ³ /den	Objem teplé vody na den

V_{wPday}	$m^3/os.den$	Objem teplé vody na osobu na den
w	m/s	Rychlost proudění v potrubí
W_{mpp}	W	Napětí při maximálním výkonu panelu
x_h	1	Poměrné množství teplé vody odebrané za hodinu ku množství odebrané vody za den
z	1	Koeficient reflektující znečištění atmosféry
ZK	-	Zpětná klapka
ZZT	-	Zpětné získávání tepla
α	W/m^2K	koeficient přestupu tepla konvekcí
$\alpha_{absorbér}$	1	Pohltivost absorbéru
α_{panel}	1	Pohltivost panelu
β	$^\circ/^\circ C$	Koeficient snížené účinnosti při zvýšených teplotách
γ	$^\circ$	azimut strany, na kterou je osluněný povrch orientován
δ	$^\circ$	Průměrná sluneční deklinace
Δp	Pa	Celková tlaková ztráta
Δp_{mo}	Pa	Tlaková ztráta místními odpory
$\Delta p_{tř}$	Pa	Ztráta třením v potrubí
Δt	$^\circ C$	Teplotní rozdíl
$\Delta \tau$	s	doba ohřevu akumulčního zásobníku
ϵ	1	emisivita povrchu panelu
ζ	1	Součinitel místních ztrát
$\eta_{el.nom}$	1	Nominální elektrická účinnost panelu
η_{FVG}	1	Účinnost v závislosti na sníženém záření
η_{PV}	1	Reálná účinnost panelu
η_{PVt}	1	Účinnost v závislosti na teplotě článku
η_{rv}	1	Účinnost rekuperačního výměníku
η_{th}	1	Tepelná účinnost panelu
θ	$^\circ$	Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků
$\vartheta_{TČw}$	$^\circ C$	Teplota, na kterou vodu ohřívá TČ
ϑ_w	$^\circ C$	Teplota užitkové vody
ϑ_{wc}	$^\circ C$	Teplota studené vody
λ	W/mK	Součinitel vedení tepla
λ_d	W/mK	Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zalaty trubky
λ_{vZT}	1	Součinitel tření v potrubí
ν	m^2s^{-1}	Kinematická viskozita
ρ	kg/m^3	Hustota vzduchu
ρ_w	kg/m^3	Hustota vody

σ	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$	Stefan–Boltzmannova konstanta
τ	$^{\circ}$	Hodinový úhel slunce
τ_{panel}	1	Propustnost zasklení panelu
φ	$^{\circ}$	Zeměpisná šířka
η	1	Nominální Účinnost panelu
η_{EF}	1	Účinnost vytápění elektrickou topnou fólií
η_{p}	1	Účinnost ohřevu teplé vody topnou patronou

1 Úvod

V roce 1998 podepsala Česká republika dohodu, která byla ratifikována v roce 2001. Tato dohoda se označuje jako Kjótský protokol. Předmětem této dohody je snížení emisí skleníkových plynů například oxidu uhličitého, metanu, kysličníku dusného. Emise by dle původní dohody měly být sníženy o 5,2 % oproti hodnotám z roku 1990, byl ale schválen dodatek, který stanoví snížení emisí o 18 %. Dále byla v návaznosti na Kjótský protokol podepsána v roce 2015 Pařížská dohoda. Hlavní cíl Pařížské dohody je udržení růstu globální teploty pod 2°C. Dle studií mezivládní organizace IPCC [1][2] je jedním z hlavních faktorů měnícího se klimatu oxid uhličitý, který vzniká především procesem spalování. Dále by dle státní energetické koncepce Česká republika měla do roku 2030 dosáhnout snížení emisí oxidu uhličitého o 40 % oproti roku 1990. Jak je patrné, všeobecný trend směřuje ke snižování emisí oxidu uhličitého, čehož může být mimo jiné dosaženo i větší diverzifikací energetického mixu České republiky. Jedním ze zdrojů elektrické energie a tepelné energie, jsou hybridní fotovoltaicko-tepelné panely. Dle statistik [3] od Ministerstva pro místní rozvoj, žije přibližně 49 % obyvatel České republiky v rodinných domech a hybridní panely mohou být vhodným zdrojem pro instalaci na rodinné domy. Tím je možné snížit produkci oxidu uhličitého a dosáhnout výše uvedených cílů. [4] [5] [6]

Tato práce se zabývá analýzou použití hybridních fotovoltaicko-tepelných panelů, které generují elektrickou energii a tepelnou energii ve formě ohřátého vzduchu. Uvažovaná aplikace je na rodinném domě. Nejprve je v práci uvedena teoretická část popisující hybridní panely, jejich vlastnosti a prvky ve fotovoltaických systémech. Dále je popsán současný trh s výrobci těchto panelů a způsoby komerčního využití těchto panelů. Součástí práce je také kapitola popisující vzduchotechniku v rodinných domech a jednotlivé komponenty používané ve vzduchotechnickém systému.

Dále je uvedena praktická výpočetní část, která se skládá z analýzy stávajícího objektu, na který bude systém navržen. Pro objekt budou stanoveny tepelné ztráty, bude navržen zdroj vytápění a parametry otopné soustavy. Dále bude vypočítána potřeba tepla na vytápění a spotřeba elektrické energie objektu. Následně bude navržen fotovoltaický systém včetně střídače a baterie. Budou vypočteny energetické zisky z panelu a bude validován výpočetní software, jehož data jsou k výpočtu zisků využívána. Zároveň bude navržen i vzduchotechnický systém. Následně jsou představeny tři uvažované výpočtové varianty. První

varianta dále označována jako referenční, předpokládá zachování objektu ve stávajícím stavu bez implementace vzduchotechnického rekuperačního systému a hybridních panelů. Druhá varianta předpokládá využití dnes běžně používaného vzduchotechnického systému s rekuperací a třetí varianta předpokládá využití kombinace vzduchotechnického a fotovoltaického systému s hybridními panely v součinnosti. Tyto tři varianty jsou energeticky i finančně vyhodnoceny a porovnány včetně citlivostní analýzy na změnu ceny elektrické energie. Součástí práce jsou také výkresy rozvodů vzduchotechnického systému pro obě nadzemní podlaží objektu a na střeše objektu včetně rozmístění hybridních panelů. Dále je v práci uveden výkres schématu otopné soustavy.

2 Princip výroby elektrické energie z hybridních fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely slouží k přeměně záření ze slunce na energii elektrickou. Využívají fotoelektrického jevu. Některé materiály mají schopnost pohltit záření, což zároveň způsobí uvolnění elektronu z obalu jejich atomů. Materiály, které se používají pro tuto funkci ve fotovoltaických panelech, jsou polovodiče. Klasickým příkladem může být křemík. Křemík jako takový má atomy ve valenční vrstvě a k tomu, aby se stal vodivým, musejí jeho elektrony přijmout nějakou energii. Výsledná vodivost však bude poměrně malá, proto se křemík takzvaně dopuje např. atomy fosforu, které mají o jeden elektron více než atom křemíku, čímž je zvýšena elektrická vodivost. Atomy křemíku se dále mohou dopovat také pomocí atomů bóru, které mají oproti křemíku naopak o elektron méně a vzniká tak takzvaná díra. Dopované polovodiče, které mají přebytek elektronu, se nazývají negativní, nebo také polovodiče typu n a naopak polovodiče s dírou se nazývají pozitivní, případně polovodiče typu p. Pokud spojíme tyto dva typy polovodičů, vzniká takzvaný pn přechod, na rozhraní materiálů se elektrony a díry spárují a vzniká oblast bez volných nábojů, takzvaná hradlová vrstva. Energie ze záření dodá elektronům dostatek energie, aby se dostaly z valenční vrstvy do pásma vodivosti a mohly se tak pohybovat v mřížce materiálu, tím se vytvoří napětí, čehož může být využito při zapojení určité zátěže, přes kterou bude proudit elektrický proud. Takto zapojené buňky vytváří relativně malé napětí, a proto se používá sériové nebo paralelní zapojení více článků. Takto zapojené články se poté označují jako moduly, které po dalším zapojení a uspořádání už tvoří samotný fotovoltaický panel. [7] [8] [9] [10] [11]

2.1 Standardizované podmínky

Výrobci fotovoltaických panelů obvykle udávají výkon panelu, který má panel za takzvaných standardizovaných podmínek.[10] [12]

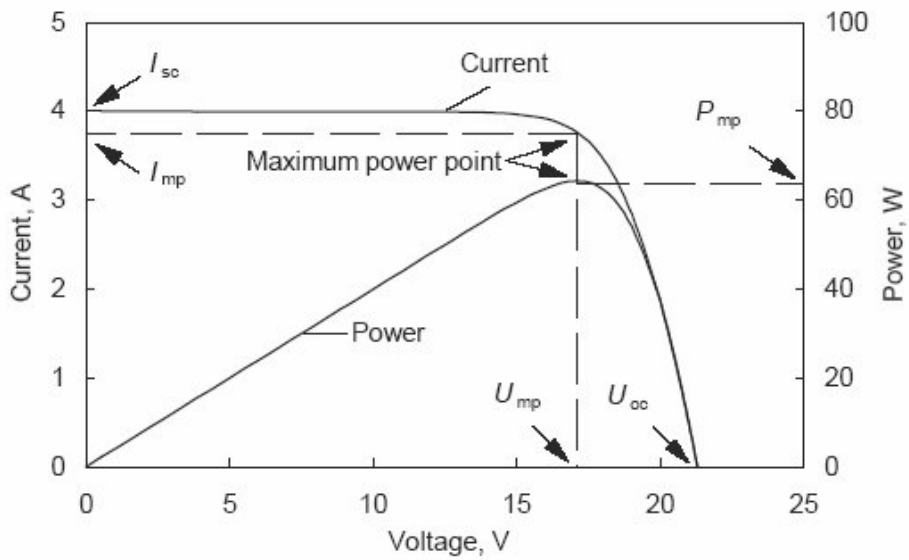
Standardizované podmínky zahrnují:

- Intenzita záření 1000 W/m^2
- Teplota fotovoltaické buňky $25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Spektrum záření AM1.5

Naměřené hodnoty pro tyto podmínky jsou ovšem obvykle lepší, než kterých dosahují za reálného provozu v podnebí České republiky. Výkon, který panel produkuje za takovýchto podmínek, se poté píše s jednotkami Wp (Watt-peak). Spektrum záření AM (Air Mass) značí délku dráhy paprsku ze slunce k nejkratší možné dráze, tedy dráze kolmé k povrchu země. Spektrum označené AM1.5 je pro zenitový úhel o hodnotě 37° od myšleného paprsku. [10] [12] [13]

2.2 Účinnost fotovoltaického panelu

Účinnost fotovoltaických panelů je samozřejmě důležitým parametrem při dimenzování celého systému, protože určuje výsledný elektrický výkon a tím i potřebnou plochu. Danému maximálnímu výkonu odpovídá určité napětí a proud. Tyto veličiny se používají k vykreslení charakteristiky daného panelu v podobě U-I a P-U charakteristiky panelu. Na obrázku níže, jsou zobrazeny typické U-I a P-U charakteristiky fotovoltaického panelu. Dále jsou na obrázku viditelné body odpovídající maximálnímu výkonu panelu označené jako MPP (Maximum power points), kterým odpovídá určité napětí U_{mp} a proud I_{mp} . Bod P_{mp} vyznačuje samotný maximální výkon panelu. Křivky tvoří také bod I_{sc} značící hodnotu zkratového proudu a bod U_{mp} značící napětí naprázdno. Obě tyto charakteristiky závisí na velikosti takzvaného zakázaného pásu použitého materiálu. Zakázaný pás značený také jako energetická mezera značí energii, kterou musí elektron získat, aby se dostal z valenčního pásu do pásu vodivosti. S vyšší hodnotou energetické mezery se I_{sc} zmenšuje, zatímco U_{mp} naopak roste. [10] [14]

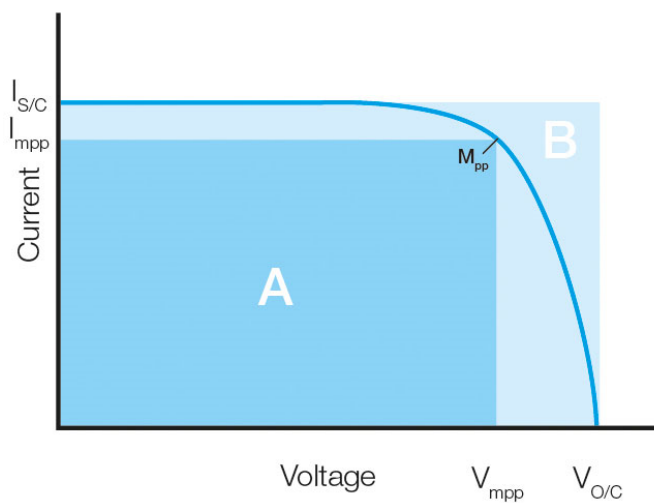


Obr. 1 Typické P-U a U-I charakteristiky fotovoltaického panelu. [15]

Pomocí U-I charakteristiky je také možné zobrazit potenciál fotovoltaického panelu. Veličina FF (Fill factor) se určí z následujícího vztahu:

$$FF = \frac{V_{MP} \cdot I_{MP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (1)$$

a graficky je jeho význam patrný z obrázku níže, kde oblast B značí maximální teoretický výkon článku a oblast A značí maximální reálný výkon článku.



Obr. 2 Grafické zobrazení FF [16]

Účinnost panelu lze vyjádřit pomocí FF dle následujícího vztahu:

$$\eta = \frac{I_{sc} \cdot U_{oc} \cdot FF}{P_{input}} \quad (2)$$

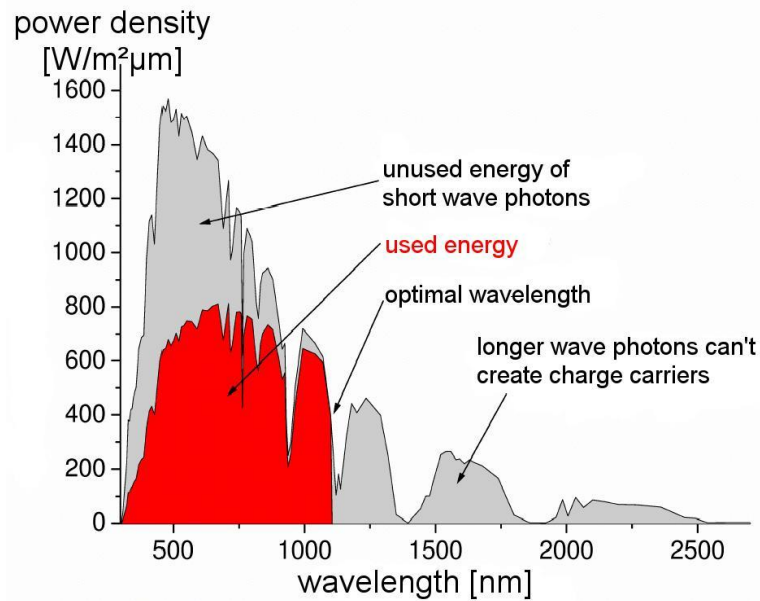
kde P_{input} značí energii slunečního záření dopadající na články. [17]

Fyzikální důvod nemožnosti dosáhnout FF rovného jedné jsou materiálové vlastnosti jako dislokace, hranice zrn, nesoulad krystalické mřížky etc. [18]

2.3 Faktory ovlivňující zisky z fotovoltaických panelů

2.3.1 Vliv spektra záření

Ke ztrátám a poklesu účinnosti může docházet z mnoha důvodů. Jedním z důvodů, proč panel může dosahovat jiných, než výrobcem udávaných výkonů, je jiné než standardizované spektrum záření. Jak již bylo zmíněno, energie potřebná k přechodu elektronu z valenční do vodivé vrstvy se označuje jako energetická mezera (band gap). Když se elektron dostane do vodivé vrstvy, polovodič se stane vodivým. Tato energie je zároveň důležitá pro stanovení maximální možné účinnosti fotovoltaické buňky. Maximální teoretický limit pro křemíkové články se označuje jako Shockley–Queisser limit a pro jeden ideální křemíkový pn přechod, jehož hodnota band gap je 1,12eV, který má absorpční koeficient rovný jedné, teplotu 300 K a zároveň za předpokladu, že slunce je černé těleso o teplotě 6000 K, je maximální hodnota účinnosti přeměny solární energie na elektrickou energií přibližně 33 %. Důvodem je skutečnost, že fotony s malou vlnovou délkou a velkou energií přemění jen část energie, odpovídající energii přechodu elektronu z valenční do vodivé vrstvy, a zbytek je přeměněn na energii tepelnou. Naopak fotony s velkou vlnovou délkou nemají dostatečnou energii, kterou by předali elektronům, ty tak zůstanou ve valenční vrstvě a předaná energie se přemění na teplo. Názorně tento limit zobrazuje obrázek níže, na kterém je možné vidět, že pouze fotony o určité vlnové délce dodají polovodiči optimální množství energie (vyznačeno červeně) a zbytek energie (vyznačeno šedivě) nebude využit pro přeměnu na energii elektrickou. [10] [19] [20]



Obr. 3 Zobrazení využitelné energie fotonů k přeměně na elektrickou energii. [19]

Záření se v průběhu času mění a tím je tedy ovlivněn zisk elektrické energie z fotovoltaických panelů. Pro měření záření se v praxi používá zařízení zvané pyranometr.

2.3.2 Sklon a orientace fotovoltaického panelu

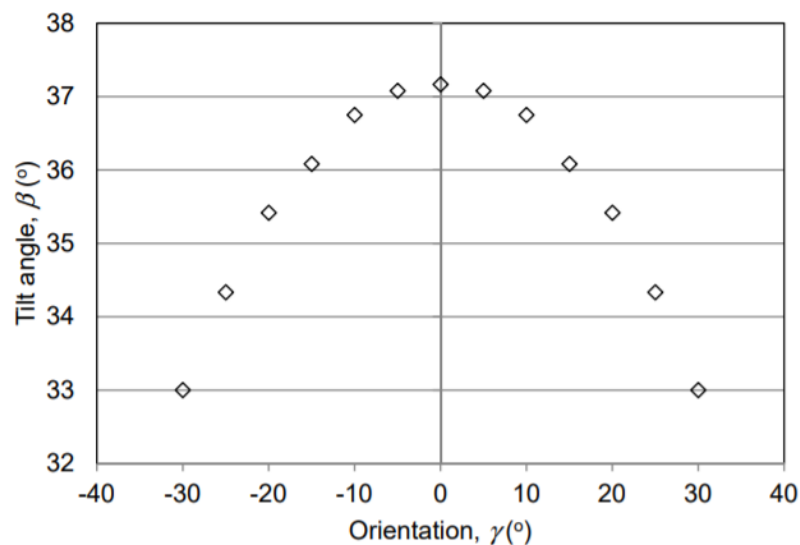
Další parametr, který má vliv na zisky z fotovoltaického panelu, je sklon a orientace panelu. Studie [9], která porovnávala vliv sklonu na zisk energie ze slunečního záření v Kanadě, konstatuje, že optimální sklon je jiný pro každý měsíc a každé roční období v roce. Pro model teoretického izotropního záření neboli záření, které vyzařuje stejně silně ve všech směrech, vyšly optimální hodnoty sklonů dle následující tabulky.

Tab. 1 Optimální sklony fotovoltaických panelů [21]

Jaro	63-68°
Léto	30-37°
Podzim	13-23°
Zima	38-48°
Optimální roční sklon	37-44°

Jak je možné vidět, optimální sklon se v čase mění a mění se i v závislosti na geografické poloze. Výše uvedená studie byla vypracována pro území Kanady. Pro Českou republiku se udává optimální sklon 35° . V praxi se však můžeme setkat s fotovoltaickými panely s ostřejším sklonem. Výše uvedené případy počítají pouze s variantou jednoho panelu a neberou v potaz okolní prostředí. V reálných aplikacích by docházelo ke stínění od dalších řad panelů umístěných na střeše, a proto se volí ostřejší sklon obvykle kolem 20° . Může ovšem docházet ke stínění také od dalších prvků okolní zástavby a prostředí, proto je vždy nutné posoudit každou aplikaci individuálně. [21] [22]

Orientace panelu také ovlivňuje zisky energie ze solárního záření. Optimální směr na severní polokouli je na jih, na jižní polokouli pak na sever. Pokud není možné orientovat panel směrem na jih, optimální sklon pro zachycení maximálního možného záření se bude lišit. Obrázek níže ukazuje optimální sklon v závislosti na orientaci. Orientace o stupni 0° označuje směr na jih. Data pochází opět ze studie [21], určena pro území Toronta v Kanadě. [21] [23]



Obr. 4 Optimální sklon v závislosti na orientaci panelu pro území Toronta [21]

V některých případech může být také výhodné natočit panely jiným směrem. Pokud je například v domácnosti vyšší spotřeba v odpoledních hodinách, může být výhodné natočit panely na jihozápad, čímž dojde k větší produkci elektrické energie v době vyšší spotřeby. Je nutné podotknout, že ve výsledku je obvykle rozhodující ekonomické vyhodnocení a může být dokonce výhodnější instalovat panely v rovině střešní krytiny, než používat dodatečnou konstrukci pro zajištění optimálního sklonu, která však zvyšuje náklady systému. [22] [23]

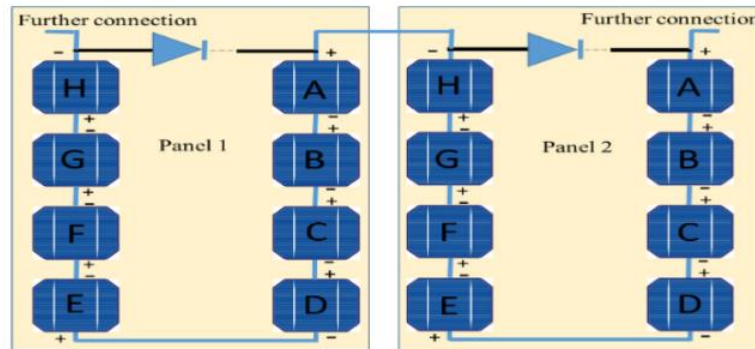
2.3.3 Vliv povrchu fotovoltaického panelu

Důležité jsou i optické vlastnosti povrchu panelů. Fotovoltaické panely mají obvykle zasklení, které slouží jako ochrana proti jejich poškození. Toto s sebou nese úskalí v podobě ztrát odražením a pohlcením záření. Tato krycí skla se tedy navrhují tak, aby záření propouštěla co nejvíce v oblasti vhodných vlnových délek. Tato skla se označují jako takzvaná solární skla a mají nízký obsah oxidu železa. Normálová propustnost takového skla může dosahovat až 91 %. Ztráty odrazem mohou při normálovém záření tvořit kolem 8 %. Odraz záření od skla je dán rozdílným indexem lomu mezi sklem a okolním prostředím, tedy vzduchem. Zatímco sklo má index lomu o hodnotě okolo 1,52, index lomu vzduchu je 1. K omezení odrazu záření od skla panelu se na sklo umísťují takzvané antireflexní povlaky, které mají nízký index lomu. Příkladem mohou být povlaky z SiO_2 nebo TiO_2 , které mají index lomu méně než 1,3. Antireflexní povlaky se instalují na obě strany zasklení, čímž je zlepšena propustnost záření o 4 – 5 % pro případ normálového úhlu dopadu záření. Je však nutné, aby tyto antireflexní povlaky byly odolné proti opotřebení a zachovaly si tak optimální optické vlastnosti. [13]

2.3.4 Vliv zastínění části panelu

Pokud dojde k zastínění části panelu, a tedy i nějaké fotovoltaické buňky, nebo k poškození nějaké buňky, zisky z panelu se výrazně sníží. Proud z ostatních buněk je „tlačen“ přes PN přechod zastíněné či poškozené buňky, dochází ke snížení hodnoty celkového proudu panelem a energie je disipována a přeměněna na energii tepelnou, což může vést k takzvaným horkým místům v místě oné buňky. S rostoucí teplotou buňky je ještě více umocněn efekt disipace energie na tepelnou energii a proces je tedy zacyklen, což může vést k nenávratnému poškození buňky a výraznému snížení životnosti panelu. Aby se tomuto předešlo, používají se obtokové diody. Tyto diody umožňují proudu téct alternativní cestou s menším odporem, která obchází zastíněné buňky. Standardně se z ekonomických důvodů dělá bypass šestnácti

buněk najednou. Technicky by bylo možné použít toto opatření u všech buněk panelu a výrazně tak zmírnit problém se zastíněním nebo poškozenou buňkou, z ekonomických důvodů se toto však zatím nerealizuje. Na těchto obtokových diodách navíc dochází k úbytku napětí, které se standardně pohybuje okolo 0,6 V na diodu. [10] [24]



Obr. 5 Zapojení bypass diod [24]

2.3.5 Vliv nečistot na povrchu panelu

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje zisky energie ze solárního panelu, je čistota povrchu panelu. Studie [25] zkoumala v laboratorních podmínkách vliv znečištění zasklení panelu různými druhy znečištění na energetické zisky. Intenzita záření byla konstantní o hodnotě 310 W/m^2 a testovány byly různé druhy zátěže. Jako znečišťující látky byly zvoleny mastek, prach, písek, kapky vody a mech. Znečišťující látky byly rovnoměrně rozprostřeny ve vrstvě po fotovoltaickém panelu.

Tabulka níže ukazuje výsledky měření. [25]

Tab. 2 Výsledky experimentu studie [25]

Testovací zátěž	Výkon [W]					
	Čistý	Mastek	Prach	Písek	Voda	Mech
Zkrat	0	0	0	0	0	0
12 V Žárovka 12/5 W	1.76	1.32 (-25 %)	0.60 (-66 %)	0.60 (-66 %)	1.68 (-4.6 %)	0.31 (-82 %)
12 V Žárovka 10 W	4.63	3.18 (-31 %)	1.34 (-71 %)	1.24 (-73 %)	4.48 (-3.2 %)	0.77 (-83 %)
12 V Festoon žárovka 10W	5.14	3.59 (-30 %)	1.57 (-69 %)	1.43 (-72 %)	5.05 (-1.8 %)	0.91 (-82 %)
12 V Motor 18 W	5.78	4.18 (-28 %)	1.69 (-71 %)	1.53 (-74 %)	5.77 (-0.17%)	0.83 (-86 %)
12 V Žárovka 8 W	2.94	2.71 (-7.8 %)	3.03 (3.1 %)	2.66 (-9.5 %)	3.10 (-5.4 %)	2.51 (-15 %)
Žádná zátěž	0	0	0	0	0	0

Je patrné, že znečištění může velmi výrazně omezit zisky z fotovoltaického panelu a roli hraje i původ znečištění. V experimentu se jako nejvíce ztrátové ukázalo znečištění nánosem mechu, které redukovalo výkon fotovoltaického panelu až o 86 %. V reálném provozu bude samozřejmě znečištění záviset na mnoha faktorech okolního prostředí, nicméně experiment ukazuje důležitost pravidelné údržby panelu. Znečištění kapkami simulovalo vliv deště na provoz panelu, a jak se ukázalo, i nejvýraznější úbytek výkonu byl relativně malý o hodnotě 5,4 %. Dešť navíc v reálném provozu smývá částičky prachu a písku a přispívá tak k čištění panelu. [25]

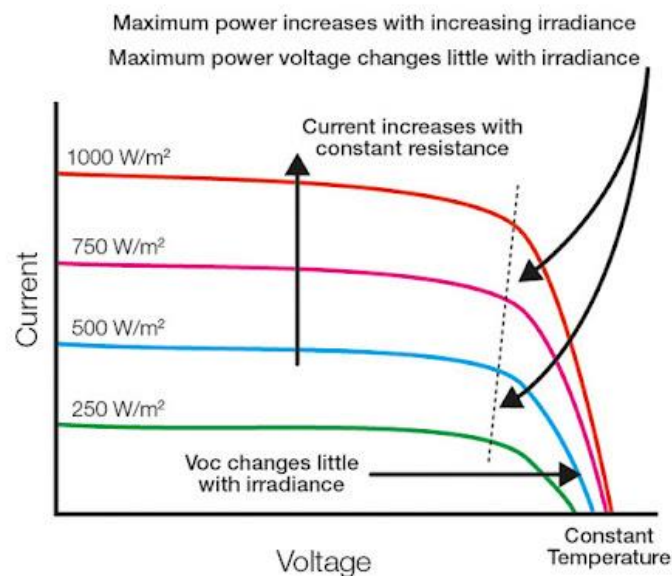
2.3.6 Vliv teploty

Vliv teploty na zisky z panelu je výrazný. Teplota přímo ovlivňuje napětí ve fotovoltaických panelech. V chladném počasí, kdy mají fotovoltaické buňky nízké teploty, může dosáhnout napětí až o 20 % více než je jeho jmenovitá hodnota. K opačnému efektu však dochází při vysokých teplotách okolí, potažmo článků. S rostoucí teplotou klesá napětí a tím i účinnost a

zisky elektrické energie. V letních dnech se v podmínkách České republiky může teplota panelů dostávat až na teploty okolo $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a obecně se udává orientační pravidlo, že na každý stupeň zvýšené teploty oproti standardizovaným podmínkám ztrácejí panely okolo $0,45\%$ svého jmenovitého výkonu. Teplotu ovlivňuje kromě geografické polohy a s tím souvisejících klimatických podmínek slunečního záření, teplot vzduchu atd. i umístění panelu. Studie [26] prokázala, že volně stojící panely produkují více elektřiny, v této studii konkrétně o $3,5\%$, oproti panelům integrovaným do střech budov, které jsou střechou zahřívány, a navíc kolem nich neproudí vítr a neochlazuje panely, tak jak tomu je u volně stojících panelů, takže teploty panelů jsou v průběhu roku vyšší. Hodnota $3,5\%$ byla určena pro klimatické podmínky v České republice a studie uvádí, že dle výsledků jejího modelu byl rozdíl přes 5% pro podmínky v teplejších krajích, konkrétně pro klimatická data z Rijádu v Saudské Arábii. Studie dále zmiňuje, že pro obvykle volené sklony panelu nemá sklon panelu téměř žádný vliv na přestup tepla konvekcí, neboli vzduch chladí panely téměř bez rozdílu pro různé hodnoty běžně volených sklonů. [26] [14]

2.3.7 Vliv Intenzity ozáření

Intenzita ozáření má výrazný vliv na zisky ze fotovoltaických panelů. Proud z panelu je přímo úměrný intenzitě ozáření. Obrázek níže zobrazuje, jak se mění U-I charakteristika při změně Intenzity ozáření.



Obr. 6 Vliv intenzity ozáření na elektrické charakteristiky panelu [27]

3 Fotovoltaický systém

Systém na hybridní fotovoltaické panely se bude kromě samotných panelů skládat z dalších komponent, které jsou pro fungování systému nezbytné.

3.1 Připojovací skříň

Jedna z komponent se nazývá připojovací skříň a slouží k paralelnímu zapojení více větví panelů. V jednotlivých větvích jsou pak panely zapojeny sériově. Připojovací skříň se ovšem používá u větších aplikací, obvykle při třech a více větvích. Pokud není připojovací skříň potřeba, připojují se panely přímo ke střídači. [28] [14]

3.2 Bezpečnostní prvky

Důležitým prvkem ve fotovoltaické soustavě je odpojovač. Odpojovače slouží k odpojení části fotovoltaického systému od zbytku soustavy. Obecně nalezneme dva odpojovače, jeden mezi panelem a střídačem, který slouží k odpojení střídače od zdroje energie, a druhý, který je povinný u soustav napojených na veřejnou síť a který odpojuje fotovoltaický systém domu od veřejné sítě tak, aby při opravách distribuční sítě byla jistota, že v ní není žádný proud. Buď se jedná o zařízení zvané ENS, které tak činí automaticky při přerušení dodávek proudu, nebo je odpojovací místo plně přístupné provozovateli sítě. ENS může být součástí střídače, ale může být také zapojeno jako samostatné zařízení. [14] [10]

3.3 Měníč napětí

Měníč napětí je další součást fotovoltaického systému. Slouží k regulování proudu, který teče do baterie tak, aby nedošlo k jejímu poškození. Měníč dále monitoruje stav nabití baterie a zajišťuje, aby byla baterie nabitá. V noci pak reguluje vybíjení baterie do spotřebičů. [28]

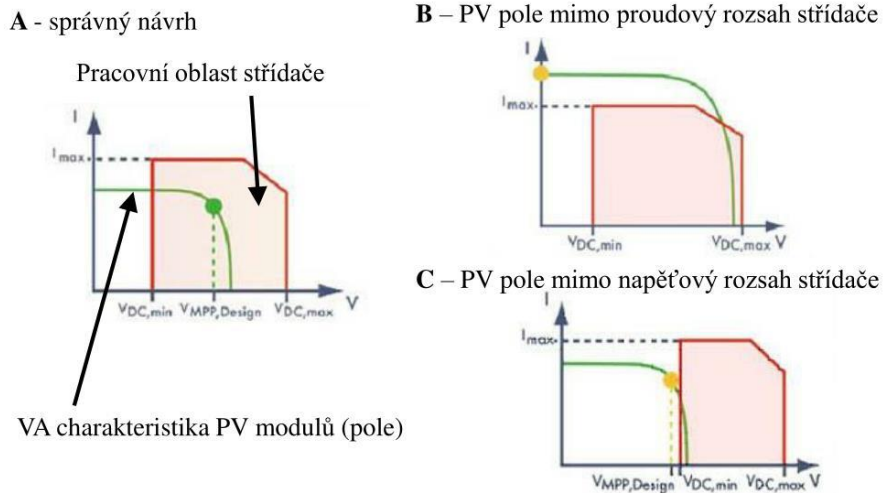
3.4 Střídač

Fotovoltaické panely produkují stejnosměrný proud (DC). Stejnosměrným proudem může být napájena pouze část domácnosti, například světla. Velká část spotřebičů je však navržena k využívání střídavého proudu (AC). K převodu z DC na AC se používá zařízení zvané střídač. Střídač také zajišťuje optimální frekvenci proudu. Pokud je systém spojen s

distribuční sítí, je to právě přes střídač. U menších fotovoltaických systémů se používá napojení jednofázové, u výkonnějších systémů se pak využívá třífázový střídač. Je nutné, aby střídače pracovaly v bodě maximálního výkonu (MPP) panelu, který se ovšem vlivem změn záření mění. Toto zajišťuje takzvaný regulátor MPP, který přizpůsobuje napětí fotovoltaického panelu a který je obvykle integrován ve střídači. Dále jsou ve střídači různá ochranná zařízení například proti přepětí, přetížení, atd. V případech, kdy jsou různé větve panelů orientovány na rozdílné světové strany, pod rozdílnými úhly, nebo dochází na části panelů k výraznému zastínění, musí být panely kvůli rozdílnému výstupnímu napětí připojeny buď k více střídačům, nebo ke střídači přizpůsobenému pro více větví. Další možností je použití takzvaných modulových střídačů. V takovém případě je zapojen vždy jeden modulový střídač na jeden panel. Modulový střídač je umístěn hned za panelem a tím pádem je v celém systému střídavý proud. Výhodou je, že toto zapojení umožňuje individuální přizpůsobení pracovního bodu MPP pro každý panel, což zvyšuje účinnost systému. Nevýhody v podobě vysokých nákladů a celkové složitosti takového systému však v současné době stále převažují. Střídače se v domech umísťují obvykle do interiéru, lze je umístit i do exteriéru, musí být však chráněny před deštěm. Dále je vhodné, aby byly střídače kvůli svému hluku od chladících ventilátorů umístěny dále od obytných místností. Při volbě vhodného střídače k daným fotovoltaickým panelům je potřeba vybrat střídač, který bude pracovat v rozsahu napětí, ve kterém se může pohybovat MPP bod panelu. Jak již bylo zmíněno, bod MPP se bude pohybovat z důvodu měnícího se napětí v panelu vlivem měnících se pracovních podmínek. Je nezbytné vzít v potaz maximální napětí z panelů na vstupu do střídače, jenž se dimenzuje pro napětí naprázdno, které má panel při -10°C . Dalším směrodatným parametrem při volbě střídače je maximální proud, který je střídač schopný vydržet, což omezuje maximální počet větví panelů. [14] [28].

Obrázek níže ukazuje správný postup při návrhu střídače k fotovoltaickým panelům na základě U-I charakteristiky. [14] [28].

Správný návrh z hlediska vstupních parametrů



Obr. 7 Návrh střídače [29]

Při návrhu solární soustavy je také nutné vzít v potaz ztráty na střídači, respektive jeho účinnost. Střídač je většinu času v provozu mimo jeho nominální výkon a tím je změněna i jeho účinnost. Je zavedena takzvaná evropská účinnost η_{eu} , která reflektuje účinnosti střídače při různých výkonech a jedná se tedy o jakousi střední hodnotu účinnosti. Tato účinnost může být vypočtena dle následujícího vzorce. [14] [28]

$$\eta_{eu} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} \tag{3}$$

Kde veličina $\eta_{i\%}$ účinnost střídače při $i\%$ výkonu z nominálního výkonu.

Výrobci obvykle neuvádějí, jak je účinnost závislá na vstupním napětí nebo účinnost pro určitou hodnotu výkonu střídače, ale využívají právě evropskou účinnost.

3.5 Akumulace

Ukládání energie z přebytků je nezbytnou součástí zejména ostrovních provozů, ale může být žádoucí i v systémech připojených k síti. S akumulací se značně zvyšuje nezávislost domácnosti.

3.5.1 Lithiové akumulátory

V současné době se jedná o nejpoužívanější typ akumulátorů. Tyto baterie mají velmi vysokou účinnost zpětné konverze, až 95 %. Jako katoda jsou v těchto bateriích použity oxidy kovů, například Lithium kobalt LCO (LiCoO_2) nebo Lithium nikl kobalt aluminium NCA. Jako anoda je nejčastěji použit grafit. Konstrukčně jsou Lithiové baterie vyráběny jako válcové, prizmatické nebo v podobě hermeticky uzavřeného obalu. [30]

Obal válcové baterie je obvykle tvořen ocelí, nebo hliníkem. Hlavní výhodou válcového provedení baterií je jejich kompaktnost. Baterie jsou obvykle vyráběny ve formátu 18650, tedy 18 mm průměr a 65 mm výška, nebo v novějším formátu 21700, neboli 21 mm průměr a 70 mm výška baterie. Jedna takováto baterie má obvykle kapacitu okolo 20 Wh. Větší rozměry nejsou standardně používány, protože by se baterie přehřívaly. Pro účely větší kapacity jsou tyto malé baterie spojeny dohromady. Vzhledem k válcovému tvaru mezi nimi vznikají mezery, to je ovšem výhodné z hlediska odvodu tepla. Využitý je tento typ baterie například v elektromobilech automobilky Tesla, kde je baterie tvořena více než 5000 články válcového typu. [30] [31]

Prizmatické verze baterie jsou lépe chlazené a mohou tak být vyráběny i ve větších rozměrech a kapacitách, ale nevýhodou je jejich kratší životnost v porovnání s válcovým provedením. Využívány jsou například v mobilních telefonech. [30] [31]

Největší rozdíl v případě hermeticky uzavřeného obalu je, že samotný obal není z pevného materiálu jako v předchozích dvou případech, ale z měkkého materiálu jako jsou například některé polymery. Výhodou takového výrobku je jednoduchý, levný a lehký design. Problémem tohoto typu baterií je jejich křehkost a často také nastává problém s přehříváním. [30] [31]

3.5.2 Olověné akumulátory

Dalším velmi používaným typem akumulátorů jsou olověné akumulátory s elektrolytem, kterým je kyselina sírová. Baterie mohou mít elektrolyt v kapalně nebo pevné podobě. Baterie s elektrolytem v kapalně podobě jsou dnes stále rozšířenější. Při nabíjení uniká vodík a kyslík ventily a je tak nutné doplňovat vodu do baterie. Toto u baterií s gelovým elektrolytem odpadá, neboť je vodík i kyslík sloučen a přeměněn zpět na vodu. Gel vzniká přidáním oxidu křemičitého do elektrolytu a následným zchlazením směsi. Dalším typem těchto baterií je takzvaná AGM baterie, která používá skelná vlákna stlačená mezi pláty elektrod a do kterých je elektrolyt vsáknutý. Velkou výhodou těchto baterií jsou nízké investiční náklady. [32]

3.5.3 Nikl-Kadmiové akumulátory

Dalším typem baterie jsou Nikl-Kadmiové akumulátory. Tyto baterie používají kadmium jako materiál kladné elektrody, elektrolytem je hydroxid draselný a záporná elektroda je z hydroxidu draselnatého. Tento typ baterie je v porovnání s olověnými odolnější vůči teplotním změnám. Na druhou stranu je u této baterie nevýhodou paměťový efekt. Tento jev způsobuje, že pokud je baterie opakovaně vybíjena pouze na například 30% kapacity, dojde u baterie k paměťovému efektu a jakmile se poté v provozním režimu dostane pod 30% kapacity, dojde u ní k poklesu napětí. Aby se tomuto efektu předešlo, je nutné jednou za několik měsíců baterii kompletně vybit a nabít. Nikl-metal hydridové baterie jsou upravenou verzí Nikl-Kadmiových baterií s vyšší kapacitou a menším vlivem paměťového efektu. Nevýhodou je ovšem vyšší cena [32]

3.5.4 Virtuální baterie

Virtuální baterie označuje službu, kterou poskytují dodavatelé elektrické energie, a jedná se o formu teoretického uložení energie u dodavatele, který ji ve chvíli výroby dodá jinému zákazníkovi. Později je možné tuto energii z distribuční sítě odebrat, aniž by byla silová složka ceny této energie zpoplatněná. Regulovaná složka ceny odebrané elektrické energie je však zpoplatněna a samotná služba virtuální baterie je také zpoplatněna formou a výší v závislosti na dodavateli. Služba je zpoplatněna paušálně nebo v závislosti na množství dodané a odebrané energie. Tato služba má nevýhodu, že uživatelé budou vždy dodávat

elektrickou energii do systému ve stejnou dobu za vhodných venkovních podmínek, tedy typicky v létě, a naopak jejich potřeba energie bude obvykle největší v zimě. Tento děj bude ovlivňovat cenu elektrické energie, kterou dodavatel promítne do ceny služby virtuální baterie. [33]

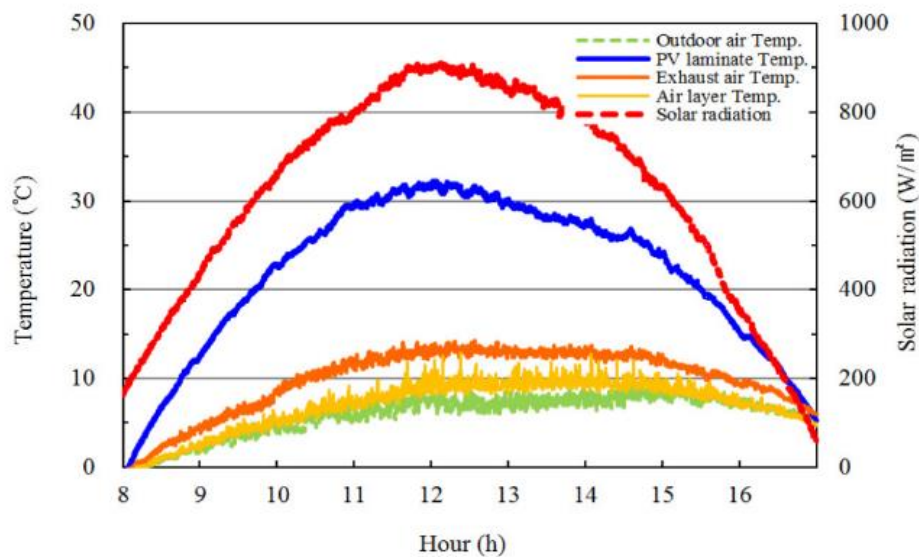
4 Hybridní fotovoltaicko – tepelné panely

Hybridní fotovoltaicko – tepelné panely slouží ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla ze slunečního záření. Fotovoltaické panely absorbují veliké množství tepla, které je možné dále využít. Pokud je k fotovoltaickým panelům připojen absorpční kolektor, který získává teplo z fotovoltaických panelů, je možné toto teplo dále využívat v otopném systému a tím zvýšit celkovou účinnost soustavy až na 70 %, což je obrovský nárůst oproti systému pouhých fotovoltaických panelů, u kterých se celková účinnost pohybuje okolo 20 %. Výhodou hybridních fotovoltaicko tepelných kolektorů oproti fototerminickým kolektorům je kromě tepla i produkce elektrické energie. Odvod tepla z hybridních fotovoltaických panelů sebou přináší hned několik dalších výhod. Použitím hybridního systému je zvýšeno využití dostupné plochy, protože jedna absorpční plocha vyrábí teplo i elektrickou energii. Další výhodou je ochlazení fotovoltaického panelu, čímž je zvýšena účinnost konverze slunečního záření na elektrickou energii. Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory se v praxi využívají v rezidenčních a administrativních budovách, časté je také použití v pasivních domech. [34] [35]

Hybridní panely lze rozdělit na dvě kategorie podle chladících médií, která jsou v současné době nejvíce používána. První kategorií jsou hybridní panely chlazené vodou, druhou pak hybridní panely chlazené vzduchem, kterými se zabývá i tato práce. Vzduchové hybridní panely jsou výhodnější z hlediska jednoduchosti systému. Není potřeba zásobník, hmotnost celého systému je výrazně nižší, a tedy jsou nižší i nároky na statiku na instalovaném místě, odpadají problémy s případným zamrznáním v chladném počasí a odpadá i riziko úniků kapaliny, a tedy i poškození komponent systémů nebo vzniku koroze. Na druhou stranu vzduch má mnohem menší tepelnou kapacitu a horší vedení tepla, jsou tedy nutné velké průtoky, což zvyšuje nároky na potřebný prostor a velikost potrubí, a tedy i cenu. Průtok vzduchu je obvykle nucený a je tedy potřebné integrovat do systému ventilátor, což zvyšuje investiční i provozní náklady systému.

Tento koncept je známý již od roku 1978 a proběhla řada studií a experimentů s cílem evaluace a případném vylepšení této technologie. Jako příklad může sloužit následující studie. Studie [36] měřila v rámci experimentu s fotovoltaicko-tepelnými panely jejich parametry. Hybridní panel o výkonu 250 Wp a celkové ploše 1,6 m² byl se sklonem 35° instalován na střechu. Za účelem chlazení byl použit trubkový výměník s trubkami o průměru 10 cm, které pokrývaly celou zadní plochu panelu a ústily do jednoho svazku, ve kterém byl instalován ventilátor pro zajištění požadovaného nuceného proudění. Po celou dobu experimentu byl zajištěn konstantní objemový průtok 240 m³/h a maximální zářivý tok dosáhl hodnoty 910 W/m², což je hodnota odpovídající i podmínkám v České republice. Průměrná tepelná účinnost, které systém dosáhl, byla 22 %. Průměrná elektrická účinnost poté 15 %. Venkovní teplota se pohybovala od -1,6 – 9,5 °C. Zadní strana panelu pak dosahovala teplot 12–32 °C a teplota vzduchu určeného ke chlazení se pohybovala od 3,5 – 14 °C a v průběhu experimentu dosahovala obvykle teplot 5 °C nad teplotou okolního prostředí.

Průběh dat naměřených při experimentu je zobrazen níže.



Obr. 8 Data z experimentu studie [36]

5 Současný stav na trhu s fotovoltaicko-tepelnými panely

5.1 Přehled výrobků na trhu

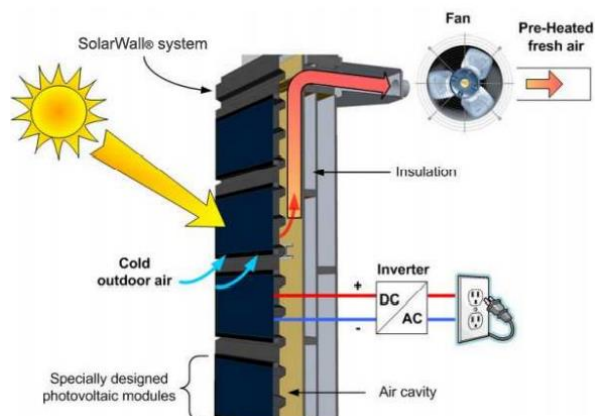
Hybridní fotovoltaické teplovzdušné panely jsou stále ještě novinkou na trhu a nejsou mezi výrobci příliš rozšířeny. Stále probíhá jejich vývoj a očekává se nárůst v jejich využívání stejně jako u ostatních obnovitelných zdrojů. V tabulce níže je uveden přehled výrobců a jejich produktů i s parametry.

Tab. 3 Přehled výrobců hybridních teplovzdušných panelů

Výrobce	Solar wall	Base	Systovi	SolarVenti
Výkon elektrický [Wp]	60	189	300	0
Výkon termální [W]	184	744	650	200–2200
Celková jmenovitá účinnost [%]	60	67,14	80	-
Plocha panelu [m ²]	0,75	1,46	1,51	5–130
Objemový tok vzduchu [m ³ /hod]	25485	308	100–400	15–150

5.1.1 Conserval Engineering

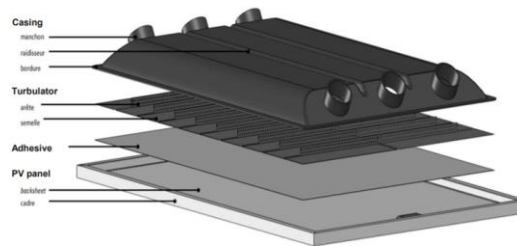
Kanadská společnost Conserval Engineering, která má zastoupení i v Evropě, nabízí patentovaný hybridní systém Solar wall [37]. Fotovoltaické panely jsou integrovány v systému Solar wall, pomocí kterého jsou přimontovány na budově, a zároveň je z nich tímto systémem odváděno teplo proudícím vzduchem. Vzduch je nasáván z okolí v místě uchycení PV panelu a proudí na zadní část panelu. Vzduch je dále ventilátorem hnán do vzduchotechnického systému budovy. Na obrázku níže je systém zobrazen. [38]



Obr. 9 Systém Solar wall [38]

5.1.2 Base

Francouzská společnost Base vytvořila svůj systém nazvaný Cogen'air, který funguje na podobném principu jako systém od Conserval Engineering, ale design je unikátní. Kolektor je hermeticky uzavřený a jeho vnitřní geometrie je uspořádána tak, aby vzduch proudil turbulentně a zároveň byla zvětšena kontaktní plocha a byl tak zajištěn maximální přenos tepla. Design Cogen'air je zobrazen na obrázku níže. [39]



Obr. 10 Systém Cogen'air [39]

5.1.3 Systovi

Francouzská společnost Systovi nabízí kompletní systém, který mimo samotný hybridní panel jejich vlastní výroby zahrnuje i rozvod vzduchu po rodinném domě do jednotlivých místností, termostat, ventilační modul s filtrem, který zachycuje nečistoty a rozvádí vzduch do jednotlivých rozvodů připojených do místností, a software pro sledování výkonosti a parametrů solárního systému. Systovi má také patent [40] na speciální uchycení panelů na střeche.

5.1.4 SolarVenti

SolarVenti je jediná společnost, která sídlí v České republice. Nabízí solární panely z řady Slimline. Tyto panely na rozdíl od panelů předchozích společností využívají veškerou vyprodukovanou elektřinu k pohonu ventilátoru, který rozvádí teplý vzduch do budovy. Panel tak lze použít k výměně vzduchu v místnostech dle hygienických požadavků a na vytápění. Systém od SolarVenti je koncipován jako decentralizovaný, kdy je panel přímo napojen do místnosti bez použití jednoho centrálního potrubí a následného rozvodu do jednotlivých místností, jak je tomu u ostatních společností. SolarVenti nabízí více modelů tohoto panelu podle požadovaných objemových toků vzduchu.

5.2 Aplikace hybridních panelů

5.2.1 Cogen'air

Jedním z příkladů je aplikace na rodinném domě systému Cogen'air ve městě Trainon ve Francii. Bylo instalováno 14 panelů společnosti BenQ o jednotkovém elektrickém výkonu 295 Wp. Panely byly instalovány na jihovýchod se sklonem 30°. Každý panel je připojen k mikrostrídači, celkově tedy aplikace zahrnovala 14 mikrostrídačů. Bateriové úložiště má kapacitu 1,2 kWh. Systém pouzdra pod každým panelem je již od společnosti Base. Rozvody vzduchu z panelů vedou do rozváděcího boxu s ventilátorem. Jsou umístěny pod panely a tvořeny potrubím. V letních měsících, kdy není potřeba objekt vytápět, je vzduch ventilován ven mimo objekt, aby byla zajištěna vyšší produkce elektrické energie vlivem vyšší účinnosti panelů. Výrobce uvádí, že tímto je dosaženo navýšení produkce elektrické energie o 10 %. Dále výrobce uvádí, že produkcí teplého vzduchu je zajištěno pokrytí 30% roční potřeby tepla. Celková roční produkce elektrické energie panelů činí 4 820 kWh. Celková roční produkce tepelné energie činí 6000 kWh za rok. Celková investice do systému byla 14 600 euro. Ukázka realizace systému je zobrazena na obrázku níže. [41]



Obr. 11 Ukázka realizace systému . [41]

5.2.2 Využití PVT vzduchotechnických panelů k sušení

Další oblastí využití vzduchotechnických PVT panelů je sušení. Teplým vzduchem je sušeno například obilí, dřevo, ovoce či jiné zemědělské produkce. Fotovoltaická část je využívána k pohonu ventilátorů vzduchu a k jiným pomocným systémům v objektu, kde je systém sušení. Výhodou takového systému je, že je možné ho využít i v odlehlých oblastech bez napojení na distribuční síť a sušárna tak může fungovat v provozu ostrovního systému. Studie [42] se zabývala analýzou systému sušení obilí v sušárně v Indii. Použité panely byly zaskleného typu a byl k nim přiřazený plochý kolektor. Fotovoltaická část zajišťuje veškerou potřebnou elektrickou energii pro funkci zařízení. Panely byly umístěny se sklonem 30°. Teplý vzduch proudí díky 12 V DC ventilátoru a je přiváděný pod obilí. Poté vzduch proudí přes vrstvu obilí, které vysušuje, a je odváděn z výdechů u stropní části sušící komory. Studie uvádí, že velkou výhodou tohoto systému je možnost měnit průtok vzduchu a tím i teplotu přiváděného sušícího vzduchu. Díky tomu je systém universální se schopností sušit různé produkty. Dále studie uvádí, že tento systém nuceného sušení dosahuje lepších výsledků pro obilí s větším obsahem vlhkosti, zatímco sušení přirozenou konvekcí je vhodnější pro obilí s nízkým množstvím vlhkosti. Dle výsledků bylo sušení solárními PVT panely z finančního hlediska více než dvakrát výhodnější než sušení elektrickou sušičkou. Průměrná dosažená tepelná účinnost byla 26,68 % a průměrná elektrická účinnost 11,26 % pro hmotnostní tok vzduchu 0,01 kg/s. Nevýhodou tohoto systému sušení je provozuschopnost pouze během dne, respektive během slunečního záření. Za účelem uchování tepelné energie a následném využití při nepříznivých venkovních podmínkách lze použít například techniku fázové přeměny materiálu PCM, která se pro tuto aplikaci dle uvedené studie zatím ukazuje jako nejslibnější, je však potřeba dalších výzkumů. [42]

6 Analýza objektu ve stávajícím stavu

Objekt, který je předmětem návrhu, je rodinný dům nacházející se ve městě Tábor. Jedná se o dřevostavbu se dvěma nadzemními podlažími. K domu je také přistavěna garáž. Dům nemá sklep ani půdu. Pohledy jsou v přílohách 1-4 a výkresová dokumentace rodinného domu je v přílohách 5-7. Dům je postaven v pasivním standardu, proto musí být zajištěno nucené větrání. Dále je nutné splnit požadavky dle normy ČSN 730540 [43] na součinitele prostupu tepla obálkových konstrukcí.

6.1 Skladby konstrukcí

Skladby konstrukcí budou zvoleny na základě obvykle používaných materiálů a rozměrů, tak aby byly splněny požadavky na součinitele prostupu tepla a byly dodrženy rozměry objektu dle výkresové dokumentace v zadání.

Nejprve budou zvoleny materiály použité do skladby a tím tedy i součinitel vedení tepla ve vrstvě materiálu i označený jako λ_i . Poté tloušťka vrstvy materiálu i označená d_i . Odpor při přenosu tepla vedením R_v je poté vypočten dle vzorce.

$$R_v = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (4)$$

Odpor při přestupu tepla konvekcí R_k je vypočten dle rovnice:

$$R_k = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{1}{\alpha_i} \quad (5)$$

kde α_i značí koeficient přestupu tepla konvekcí na vnitřní straně konstrukce a α_e na vnější straně konstrukce.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí je poté vypočtený dle vzorce

$$U = \frac{1}{R_v + R_k} \quad (6)$$

Nyní budou uvedeny jednotlivé typy konstrukcí objektu i s tloušťkou příslušné vrstvy materiálu d , součinitelem vedení tepla λ a výsledným odporem přenosu tepla R .

6.1.1 Podlaha

Součinitel přestupu tepla konvekcí je určen $6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Odpor při přestupu tepla v interiéru domu je $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$. Z vnější strany je podlaha v kontaktu přímo se zeminou a není zde přestup tepla konvekcí. Odpor se však počítá jen po hydroizolaci. Níže je uvedena skladba podlahy.

Tab. 4 Skladba podlahy

Materiál	d [m]	λ [W/mK]	R [$\text{m}^2\text{K/W}$]
Anhydrid	0,05	1,2	0,042
Separáční fólie	0,001	-	-
P�nov� polystyren	0,18	0,04	4,5
Hydroizolace	0,05	-	-
Beton	0,1	1,3	-
Písek a štěrk	0,13	2	-

V sledn  součinitel prostupu tepla podlahy je $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

6.1.2 Obvodov  stěna obytných místností

Součinitel přestupu tepla konvekcí je určen $8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Odpor při přestupu tepla konvekcí na vnitřní straně objektu je poté $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ a na vn jřn  straně konstrukce je součinitel přestupu tepla konvekcí $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ a odpor $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Dřev n  konstrukce je nosn  a prostor mezi trámy je vyplněn miner ln  vatou. Samotn  dřev n  konstrukce n  je ve výpočtu prostupem tepla započtena.

Níže je uvedena skladba obvodové stěny 1.NP a 2.NP.

Tab. 5 Skladba obvodové zdi 1 .NP

Materiál	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Vrchní nátěr	0,001	-	-
Sádrokartonové desky	0,018	0,37	0,049
Parotěsná Izolace	-	-	-
OSB desky	0,025	0,22	0,114
Minerální vata	0,24	0,06	4
Dřevěná konstrukce	0,25	0,22	-
OSB desky	0,025	0,22	0,114
Pěnový polystyren EPS	0,05	0,044	1,136
Dřevěné obklady	-	-	-

Tab. 6 Skladba obvodové zdi 2 .NP

Materiál	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Vrchní nátěr	0,001	-	-
Sádrokartonové desky	0,018	0,37	0,049
Parotěsná Izolace	-	-	-
OSB desky	0,025	0,22	0,114
Minerální vata	0,24	0,06	4
Dřevěná konstrukce	0,25	0,22	0,114
OSB desky	0,025	0,22	0,114
Pěnový polystyren EPS	0,05	0,044	1,136
Lepidlo	-	-	-
Perlinka	-	-	-
Lepidlo	-	-	-
Vrchní točená fasáda	0,001	-	-

Výsledný součinitel prostupu tepla obvodové zdi v 1. i 2. NP je 0,18 W/m²K.

6.1.3 Stěna garáže

Stěna garáže má jinou skladbu i tloušťku konstrukce než obytné místnosti. Koeficient přestupu tepla konvekcí, a tedy i odpor při tomto přestupu tepla je totožný jako u obvodové stěny obytných místností. Skladba stěny garáže je uvedena v tabulce níže.

Tab. 7 Skladba stěny garáže

Materiál	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Sádkartonová deska	0,02	0,25	0,08
Parotěsná Izolace	-	-	-
OSB deska	0,025	0,22	0,114
Dřevěná konstrukce	0,18	0,24	-
OSB deska	0,025	0,22	0,114
Pěnový polystyren EPS	0,09	0,042	2,143
Omítka silikonová	0,001	0,9	0,001

Výsledný součinitel prostupu tepla stěny v garáži v je 0,38 W/m²K.

6.1.4 Střecha

Součinitel přestupu tepla konvekcí je na vnitřní straně určen 10 W/m²K. Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je 0,1 m²/KW. Na vnější straně je pak součinitel přestupu tepla konvekcí 25 W/m²K a odpor 0,04 m²/KW. Níže je uvedena skladba střechy.

Tab. 8 Skladba střechy

Materiál	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Vrchní nátěr	0,001	-	-
Sádkartonové desky Fermacell	0,01	0,37	0,027
Parozábrana	0,001	-	-
OSB deska	0,025	0,22	0,114
Pěnový polystyren EPS	0,1	0,044	2,273
Pěnový polystyren EPS	0,08	0,044	1,818
Separční geotextílie	0,001	-	-
OSB deska	0,025	0,22	0,114
Pěnový polystyren EPS	0,08	0,044	1,818
Dřevěná konstrukce	0,12	-	-
OSB deska	0,025	0,22	0,114
Střešní fólie Viplanyl	0,004	0,09	0,044

Výsledné součinitele prostupu tepla U pro neprůsvitné konstrukce dle zvolených skladeb a součinitele výplní otvorů dle požadavků normy ČSN 730540 [43] jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 9 Parametry konstrukce

Prvek	Součinitel prostupu tepla U [W/m^2K]	Hodnoty doporučené pro pasivní budovy U [W/m^2K]
Neprůsvitné konstrukce		
Obvodová zeď	0,18	0,18 – 0,12
Obvodová zeď garáže	0,38	0,38 – 0,25
Podlaha	0,22	0,22 – 0,15
Střecha	0,15	0,15 – 0,1
Výplně otvorů		
Dveře	0,9	0,9
Okna	1,2	0,8
Garážové dveře	1,7	-

6.2 Tepelné ztráty

Pro určení spotřeby elektrické energie, je nutné stanovit tepelné ztráty objektu a potřebu tepla. Výpočtová teplota pro lokalitu Tábor je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplotu zeminy pod podlahou RD uvažujeme $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotu vzduchu v garáži, která je přilehlá k objektu také $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tepelné ztráty lze rozdělit na ztráty větráním a ztráty prostupem tepla konstrukcemi. Energetické zisky z produkce tepla spotřebiči a osobami jsou při výpočtu zanedbány, protože se nejedná o objekt s pravidelným režimem užívání, ani o objekt se spotřebiči velkých výkonů, nebo s pohybem většího množství osob. Jelikož se jedná o budovu ve městě, je dle normy [44] považována za chráněnou, zároveň se ale jedná o samostatnou budovu. Dle těchto kritérií má pak budova charakteristické číslo $4\text{ Pa}^{0.67}$.

6.2.1 Tepelné ztráty prostupem tepla

Pro výpočet tepelných ztrát je nutné stanovit plochy jednotlivých místností a konstrukcí. Dle normy se výpočty provádějí s vnitřními, tedy světlými rozměry, kromě výšky místnosti, která je vypočtená z konstrukční výšky objektu, kdy je výpočtová výška prvního nadzemního podlaží uvažována až do spodní vrstvy podlahové plochy druhého nadzemního podlaží.

V následující tabulce jsou uvedeny návrhové teploty místností označené jako t_i , dále podlahové plochy místností, plochy střech místností, které jsou v kontaktu s venkovním prostředím a objemy místností.

Tab. 10 Přehled místností

Označení místnosti	Funkce místnosti	t_i [°C]	Podlaha [m ²]	Střecha [m ²]	V místnosti [m ³]
1.01	Zádveří	20	3,960	-	10,494
1.02	WC	20	2,160	-	5,724
1.03	Kuchyně	20	7,560	3,240	20,034
1.04	Obývací pokoj	20	33,299	7,641	88,243
1.05	Chodba	20	3,548	-	9,401
1.06	Technická místnost	20	3,188	-	8,448
1.07	Schody	20	-	-	-
1.08	Koupelna	24	4,590	-	12,164
1.09	Pokoj	20	10,500	14,025	27,825
1.10	Ložnice	20	15,225	14,235	40,346
1.12	Garáž	5	17,545	-	46,494
2.01	Chodba	20	4,318	-	11,443
2.02	Koupelna	24	4,817	-	12,764
2.03	Zádveří	20	3,360	-	8,904
2.04	Pokoj	20	11,299	-	29,942
2.05	Ložnice	20	13,626	2,664	36,110
2.06	Pokoj	20	7,068	1,382	18,730
2.07	Šatna	20	1,935	1,494	5,128

V tabulkách níže jsou uvedeny svislé průsvitné i neprůsvitné plochy jednotlivých místností včetně jejich orientace v m².

Tab. 11 Přehled svislých ploch 1 NP

Označení místnosti	Funkce místnosti	okno 1	okno 2	dveře 1	dveře 2	Plocha Jih	Plocha východ	Plocha sever	Plocha západ
1.01	Zádveří	-	-	1,773	1,773	4,805	5,382	4,805	5,382
1.02	WC	-	-	1,379	-	3,588	5,382	3,588	4,003
1.03	Kuchyně	2,875	-	-	-	12,558	2,507	12,558	5,382
1.04	Obývací pokoj	10,666	11,143	1,576	1,773	22,784	13,0663	21,0108	11,49
1.05	Chodba	-	-	1,576	1,576	8,291	1,638	8,488	1,638
1.06	Technická místnost	-	-	-	-	1,55	2,82	1,8	2,82
1.07	Schody	-	-	-	-	0	0	0	0
1.08	Koupelna	2,1675	-	1,379	-	6,246	6,488	7,625	6,488
1.09	Pokoj	2,25	-	1,576	-	10,465	7,394	10,465	6,72
1.10	Ložnice	2,25	-	1,576	-	9,105	14,95	7,529	12,7

Tab. 12 Přehled svislých ploch 2 NP

Označení místnosti	Funkce místnosti	okno 1	dveře 1	dveře 2	Plocha Jih	Plocha východ	Plocha sever	Plocha západ
2.01	Chodba	2,42	1,379	1,576	-	4,251	9,277	1,83
2.02	Koupelna	1,53	1,379	-	5,388	8,571	5,237	8,571
2.03	Zádveří		1,576	-	3,976	7,287	5,552	7,287
2.04	Pokoj	4,4	-	-	11,364	7,572	11,364	11,971
2.05	Ložnice	4,4	1,576	1,379	6,739	14,73	9,563	13,351
2.06	Pokoj	2,343	-	-	3,435	14,735	5,778	14,730
2.07	Šatna	-	1,379	-	6,246	2,35125	6,246	3,73

Ztráta je poté vypočtena dle následujícího postupu. Nejprve bude stanovena ztráta prostupem konstrukcí pomocí následujícího vzorce:

$$Q_o = S \cdot U \cdot (t_i - t_o) \quad (7)$$

kde S je plocha příslušné konstrukce, U označuje příslušný součinitel prostupu tepla a t_i respektive t_o značí vnitřní návrhovou teplotu místnosti, respektive vnější návrhovou teplotu na opačné straně konstrukce neboli teplotu okolí, teplotu v přilehlých místnostech nebo

teplotu zeminy. Takto jsou stanoveny prostupy přes průsvitné konstrukce, tedy okna a dveře a také přes vnitřní stěny, obvodové stěny, podlahu a střechu.

Dále je určena přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí. Nejprve je určen průměrný součinitel prostupu tepla dle následujícího vzorce.

$$U_p = \frac{Q_o}{\sum S \cdot (t_i - t_o)} \quad (8)$$

Kde $\sum S$ je součet obálkových ploch dané místnosti. Poté je možné určit přírážku na vyrovnání chladných konstrukcí pomocí vzorce:

$$p_1 = 0,15 \cdot U_p \quad (9)$$

Přírážka na urychlení zátopy p_2 se dle normy uvažuje jen v případech, kdy ani za nejnižších venkovních teplot není možné zajistit nepřerušovanou dodávku tepla, což je dle normy typické u budov se samostatnou kotelnou na tuhá paliva o jmenovitém výkonu menším než 150 kW. Toto není případ v tomto návrhu, a proto bude tato přírážka p_2 rovna nule.

Následně je stanovena přírážka dle světové strany. O její výši rozhoduje poloha nejvíce ochlazované konstrukce dané místnosti. Pokud má místnost dvě ochlazované konstrukce, rozhoduje poloha jejich společného rohu. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty přírážky.

Tab. 13 Hodnoty přírážky dle světové strany ochlazované konstrukce

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přírážka p_3	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Výsledná ztráta prostupem tepla Q_c je poté určena dle rovnice:

$$Q_c = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (10)$$

6.2.2 Ztráta větráním

Vzduch bude měněn přirozeně dle hygienické normy, která je popsána v dalších kapitolách. Intenzita výměny vzduchu podle této normy je $0,3 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty výměny vzduchu pro jednotlivé místnosti.

Tab. 14 Výměna vzduchu

Označení místnosti	Funkce místnosti	Objem místnosti [m^3]	Výměna vzduchu V_v [m^3/h]
1.01	Zádveří	10,494	3,148
1.02	WC	5,724	1,717
1.03	Kuchyně	20,034	6,010
1.04	Obývací pokoj	88,243	26,473
1.05	Chodba	9,401	2,820
1.06	Technická místnost	8,448	2,534
1.07	Schody	-	-
1.08	Koupelna	12,164	3,649
1.09	Pokoj	27,825	8,348
1.10	Ložnice	40,346	12,104
1.12	Garáž	46,494	0
2.01	Chodba	14,984	3,433
2.02	Koupelna	16,713	3,829
2.03	Zádveří	11,659	2,671
2.04	Pokoj	39,207	8,983
2.05	Ložnice	47,284	10,833
2.06	Pokoj	24,526	5,619
2.07	Šatna	6,714	1,538

Tepelná ztráta větracím vzduchem je poté vypočtena dle vzorce:

$$Q_{vv} = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_v) \quad (11)$$

kde konstanta 1300 je určena normou a označuje násobek měrné tepelné kapacity a hustoty vzduchu. t_i značí návrhovou teplotu místnosti a t_v teplotu přivedeného vzduchu.

Dále je vypočtena ztráta infilrací, která je závislá na průtoku vzduchu přes infiltrační spáry výplňových konstrukcí.

Průtok přes spáry je vypočten dle vzorce.

$$V_{inf} = B \cdot M \cdot \sum i_L \cdot L \quad (12)$$

Kde B je charakteristické číslo budovy a M charakteristické číslo místnosti, které závisí na počtu a typu vnitřních dveří místnosti. i_L označuje součinitel spárové průvzdušnosti neboli tok vzduchu přes 1 m spáry za 1 sekundu a L značí délku spáry.

Tepelnou ztrátu infiltrací je poté možné vypočítat pomocí vzorce:

$$Q_{inf} = 1300 \cdot V_{inf} \cdot (t_i - t_e) \quad (13)$$

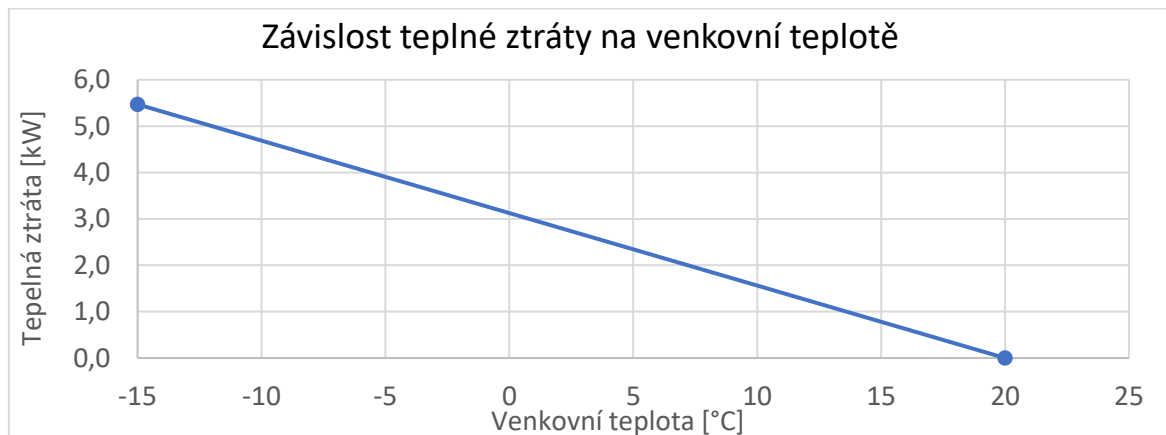
Výsledná ztráta větráním je poté uvažována pro větší z hodnot V_v a V_{inf} . Vzhledem ke skutečnosti, že rodinný dům je postaven v pasivním standartu, a má kvalitní okna, je ve všech místnostech V_v větší než V_{inf} a proto bude počítáno se ztrátou větráním Q_{vv} .

Výsledné hodnoty výsledků výpočtů ztrát jsou v následující tabulce:

Tab. 15 Výsledky výpočtu tepelných ztrát

Označení místnostosti	Tepelná ztráta Prostupem [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Tepelná ztráta celková Q_{z_c} [W]
1.01	23,937	39,790	63,727
1.02	150,473	24,184	174,657
1.03	226,634	75,962	302,596
1.04	1335,011	334,590	1669,600
1.05	-33,102	35,645	2,543
1.06	19,811	32,033	51,844
1.08	362,764	51,391	414,155
1.09	284,066	105,503	389,569
1.10	365,677	152,980	518,657
Celkem 1. NP	2735,270	852,077	3587,347
2.01	69,877	43,388	113,265
2.02	328,024	53,927	381,950
2.03	0,166	33,761	33,927
2.04	392,119	113,529	505,648
2.05	289,525	136,917	426,443
2.06	255,646	71,018	326,663
2.07	74,068	19,443	93,511
Celkem 2. NP	1409,425	471,983	1881,408
Celkem	4144,695	1324,060	5468,754

Níže je uvedena závislost tepelné ztráty objektu v závislosti na venkovní teplotě.



Obr. 12 Závislost tepelné ztráty na venkovní teplotě

6.3 Zdroj vytápění

Vytápění domu bude zajištěno tepelným čerpadlem typu voda vzduch napojeným na podlahové vytápění v 1.NP. Podlahové vytápění je teplovodní v 1.NP a elektrické v 2.NP. Čerpadlo musí pokrýt celou tepelnou ztrátu 1.NP, minimální výkon čerpadla určený pro vytápění objektu tedy musí být 3,587 kW. Tepelné čerpadlo bude zároveň sloužit pro ohřev teplé vody. Čerpadlo ohřívá vodu na 45 °C.

Zvolené tepelné čerpadlo má dle výkonové křivky při venkovní teplotě -15 °C výkon 6,9 kW. Následně bude k němu navržen akumulární zásobník, a to ve dvou variantách. První varianta je založená na minimální době chodu čerpadla a postup je následující.

Akumulární zásobník bude dimenzován podle následující bilance.

$$Q_{zás} = P_{čerp} \cdot \Delta\tau = V_{zás} \cdot \rho_w \cdot c_{p_w} \cdot \Delta t \quad (14)$$

Kde $P_{čerp}$ je výkon čerpadla

$\Delta\tau$ je doba ohřevu vody tepelným čerpadlem, která je zvolena 10 min.

$V_{zás}$ je objem zásobníku.

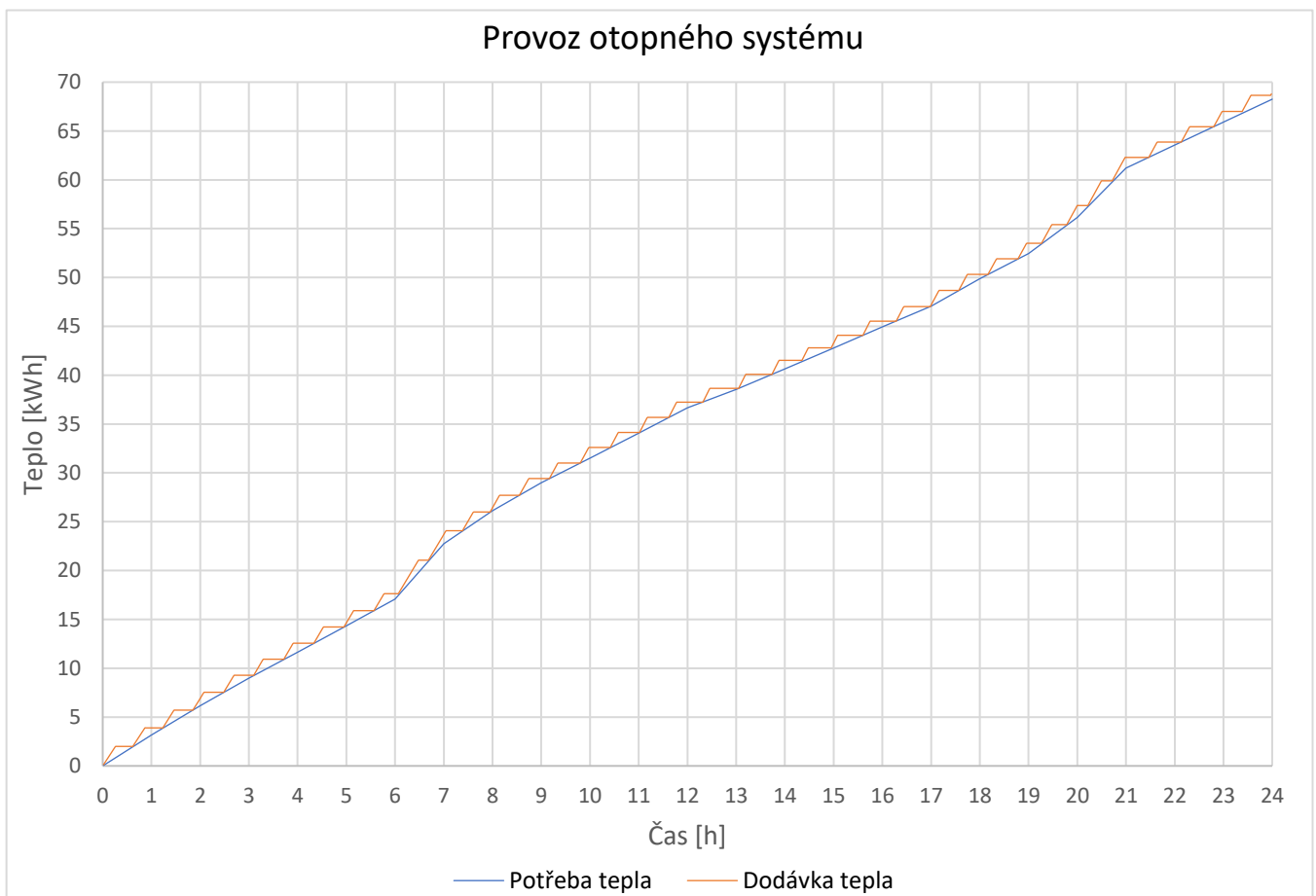
Δt je ohřev vody v akumulárním zásobníku o 5 °C

Z tohoto vztahu bude vyjádřen potřebný objem zásobníku a výsledná hodnota je 193,26 l.

Pro ověření optimálního návrhu tepelného čerpadla a akumulárního zásobníku byl vytvořen detailní model provozu systému. Tento model byl sestaven s minutovým časovým krokem pro nejchladnější den v roce. Data pro teploty venkovního vzduchu byly stanoveny pomocí databáze PVGIS. Byla sestrojena křivka celkové kumulované potřeby dodávky tepla, tedy potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Dále byla sestrojena křivka kumulované dodávky tepla tepelného čerpadla založená na algoritmu, kdy tepelné čerpadlo dodává energii do akumulárního zásobníku. Zároveň je z akumulárního zásobníku pokrývána aktuální potřeba tepla. Ve chvíli, kdy je akumulární zásobník nabitý, tedy ohřátý o Δt , tak čerpadlo vypíná. Akumulární zásobník se poté vybíjí a zásobuje otopnou soustavu. Ve chvíli, kdy je akumulární zásobník vybitý, tedy teplota klesne o Δt , čerpadlo je znovu zapnuto. Výpočtový model respektuje proměnný výkon tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě.

Do modelu je možné zadat výkonové parametry libovolného čerpadla a libovolnou variaci venkovních teplot.

Vhodnost návrhu je také ověřena z pohledu počtu startů tepelného čerpadla, respektive kompresoru tepelného čerpadla. Pokud je tepelné čerpadlo předimenzované dochází k příliš častému zapínání kompresoru, což výrazně snižuje jeho životnost. Obvyklé množství zapnutí kompresoru čerpadla je 2 či 3 za jednu provozní hodinu. Při těchto hodnotách může být životnost kompresoru 15–20 let. [45]. Níže je zobrazen provoz zvoleného tepelného čerpadla a křivka potřeby tepla pro vybraný den.



Obr. 13 Provoz otopného systému

Když křivka dodávky tepla roste, je akumulční zásobník dobíjen. Sklon křivky neboli derivace dodávaného tepla podle času pak představuje výkon tepelného čerpadla. Když je křivka dodávky tepla vodorovná, čerpadlo je vypnuto a dochází k vybití zásobníku.

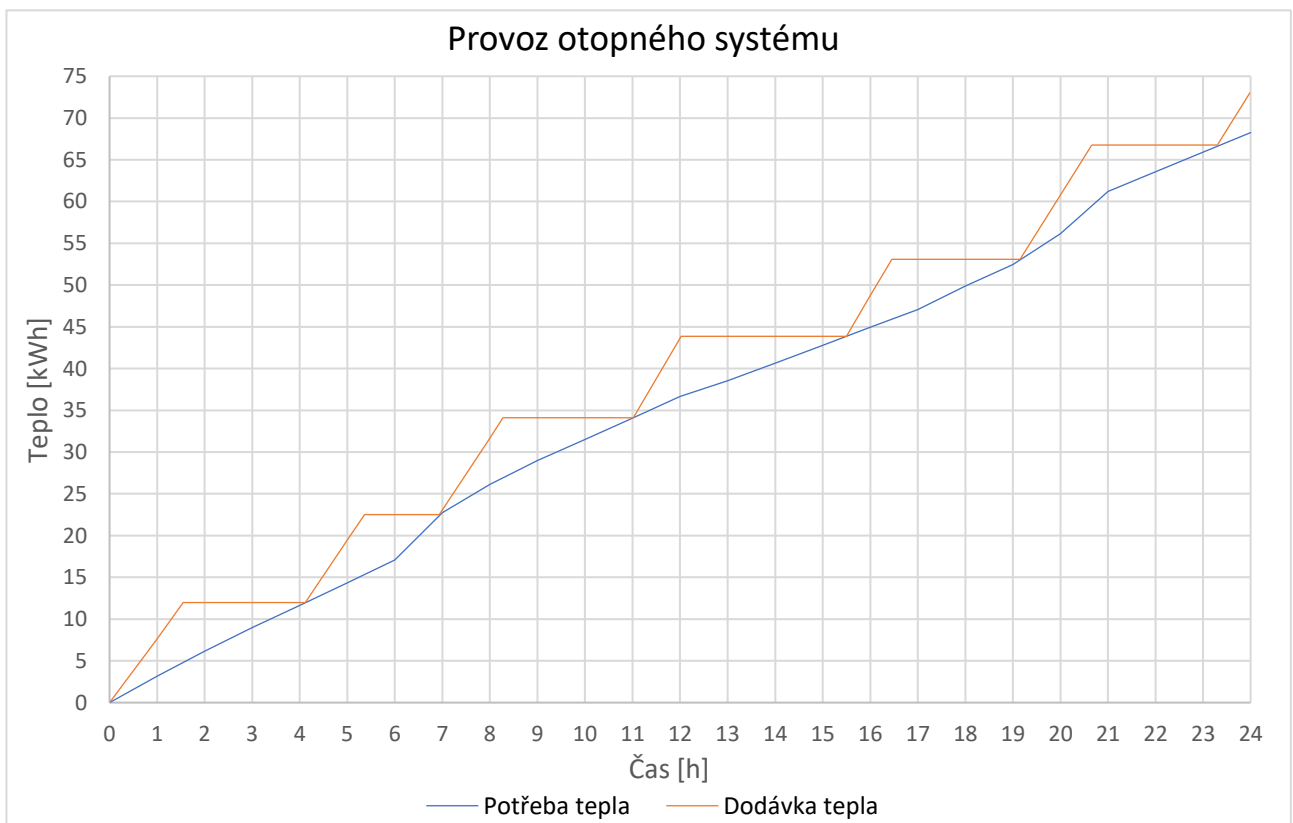
Touto simulací je ověřeno, že tepelné čerpadlo dodává dostatečný výkon do soustavy a zároveň je dodržena optimální počet startů kompresoru tepelného čerpadla.

Druhá výpočtová varianta počítá s akumulčním zásobníkem, který je dostatečně velký, aby překlenul dvouhodinovou blokáci provozu dvakrát za den, neboli zásobník musí být dostatečně velký, aby pokryl potřebu tepla pro návrhovou venkovní teplotu – 15 °C po 2 hodiny. Je předpokládáno, že v době blokáce provozu nebude ohřívána teplá voda a zásobník bude tedy v době blokáce dimenzován na pokrytí potřeby tepla pouze na vytápění.

Velikost zásobníku je stanovena dle následujícího vzorce.

$$V_{z\acute{a}s} = \frac{Q_{z\acute{c}} \cdot 3600 \cdot 2}{\rho_w \cdot c_{p_w} \cdot \Delta t} = 1,838 \text{ m}^3 \quad (15)$$

Tento zásobník byl použitý ve výpočtovém modelu. Výsledný graf simulace je zobrazen na následujícím obrázku.



Obr. 14 Provoz otopného systému s větším zásobníkem

Jak je z grafu patrné, při reálném provozu, kdy jsou teploty vyšší než návrhová venkovní teplota – 15 °C, bude tento zásobník vybíjen ještě déle než návrhové 2 hodiny. Pouze v úseku mezi 5 a 7. hodinou, kdy je vysoká potřeba teplé vody, by zásobník nesplňoval požadovanou dobu vybíjení. Jak již bylo zmíněno, tento nevyhovující stav by se řešil přenastavením regulace nabíjení zásobníku tak, aby v požadované době blokace nebyla zároveň ohřívána teplá voda, případně by se dočasně snížila teplota otopné vody na vytápění.

6.4 Podlahové vytápění

V této kapitole budou stanoveny parametry teplovodního podlahového vytápění v 1.NP podle Bašty [46] a Vavříčky [47].

Podlahové teplovodní vytápění se v 1. NP nebude nacházet v následujících místnostech:

Tab. 16 *Nevytápěné místnosti*

Označení místnosti	Funkce místnosti
1.05	Chodba
1.06	Technická místnost
1.07	Schody
1.11	Terasa
1.12	Garáž

Při výpočtu podlahového vytápění budou použity následující vstupní zadané parametry, jejichž hodnoty se liší dle místnosti. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce s výsledky výpočtů.

Tab. 17 *Zadané vstupní parametry*

Tepelné ztráty jednotlivých místností	Q_z
Vnitřní návrhové teploty	t_i

Při výpočtu budeme navrhovat výkon podlahového vytápění tak, aby byla pokryta ztráta dané místnosti a návrhový výkon místnosti tak odpovídal tepelné ztrátě. Dále budeme uvažovat, že podlahová plocha bude mít z hlediska tepelné propustnosti a vodivosti stejné vlastnosti v celém 1.NP. Celková tepelná propustnost je vypočtena na základě skladby a tloušťky podlahy v předchozí kapitole Skladby konstrukcí – Podlaha. Vnější průměr trubek

podlahového vytápění je zvolen. Hodnoty vstupních parametrů pro výpočet podlahového vytápění jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 18 Vstupní parametry pro výpočet podlahového vytápění

Tepelná propustnost vrstev podlahy nad trubkami topení ∇_a	4,96	W/m ² K
Tepelná propustnost vrstev podlahy pod trubkami topení ∇_b	0,24	W/m ² K
Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou trubky zality λ_d	1,2	W/mK
Vnější průměr trubek d_t	0,02	m

Nyní je nutné vypočítat charakteristické číslo podlahy.

$$m = \sqrt{\frac{(2 \cdot \nabla_a - \nabla_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d_t}} \quad (16)$$

Dalším parametrem, který je předmětem výpočtu, je okraj plochy značený jako r_{op} , neboli vzdálenost krajní trubky hadu podlahového vytápění od stěny.

$$r_{op} = \frac{2,3}{m} \quad (17)$$

Dalšími parametry je čistá otopná plocha S_p neboli plocha ohraničená krajní trubkou podlahového vytápění a obvod otopné plochy O .

$$S_p = (A - 2 \cdot r_{op}) \cdot (B - 2 \cdot r_{op}) \quad (18)$$

$$O = 2 \cdot [(A - 2 \cdot r_{op}) + (B - 2 \cdot r_{op})] \quad (19)$$

Potřebný měrný výkon q je poté určen z potřebného návrhového výkonu odpovídajícího tepelné ztrátě místnosti a z čisté otopné plochy.

$$q = \frac{Q_z}{S_p} \quad (20)$$

Níže je uvedena tabulka parametrů, které jsou neměnné pro jednotlivé místnosti.

Tab. 19 Výsledky výpočtů podlahového vytápění pro celý objekt

Charakteristické číslo podlahy m	6,3	1/m
Okraj plochy	0,364	m

V následující tabulce jsou pak výsledky výpočtů, které jsou pro jednotlivé místnosti odlišné.

Tab. 20 Výsledky výpočtů podlahového vytápění pro jednotlivé místnosti

Označení místnosti	t_i [°C]	Podlahová plocha A [m ²]	Celkový návrhový tepelný výkon místnosti Q_z [W]	Čistá otopná plocha S_p [m ²]	Obvod otopné plochy [m]	Potřebný měrný výkon [W/m ²]
1.01	20	3,960	64	1,577	5,086	40
1.02	24	2,160	175	0,505	3,086	346
1.03	20	7,056	303	3,720	9,086	81
1.04	20	32,347	1670	24,235	20,816	69
1.08	24	4,590	414	1,952	5,786	212
1.09	20	10,500	390	6,296	10,086	62
1.10	20	15,225	519	9,896	13,176	52

Následuje výpočet povrchové teploty podlahy t_p . Při tomto výpočtu je nutné odhadnout rozteče hadů l a střední teplotu vody podlahového vytápění t_m .

$$t_p = \frac{\nabla_a}{\alpha} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{tgh\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} + t_i \quad (21)$$

Při známé povrchové teplotě je možné určit výkon podlahového vytápění.

$$Q_p = q \cdot S_p = \alpha(t_p - t_i) \cdot S_p \quad (22)$$

Ve výpočtu je zanedbán tepelný zisk z vytápěného 2.NP. Skutečný výkon podlahového vytápění je poté ještě navýšen o tepelný výkon okrajové podlahové plochy místnosti, ve které nejsou trubky umístěny, ale určité množství tepla sdílí.

Tento tepelný výkon bude vypočten dle následující rovnice:

$$Q_{op} = Q_p \cdot \frac{O_p}{S_p} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\operatorname{tgh}\left(\frac{l}{2} \cdot m\right)} \quad (23)$$

Zanedbán bude i vliv nábytku, pro který by bylo nutné znát detailní architektonický návrh umístění a typu nábytku. Zejména nábytek s nízkými nohami však může mít výrazný vliv na vytápění podlahovým topením.

Celkový skutečný výkon je tedy:

$$Q_{skut} = Q_p + Q_{op} \quad (24)$$

Dle výše uvedených vztahů byla provedena optimalizace, kdy byla zvolena nejmenší možná střední teplota otopné vody t_m . Dále byly zvoleny rozteče hadů l v jednotlivých místnostech tak, aby byla pokryta tepelná ztráta místnosti, ale nedocházelo k výraznému přetápění místnosti. Rozteče je nutné volit v doporučeném rozmezí 0,1 – 0,3 m. Nezbytné je také dodržet normu ČSN EN 1264 [48], kde jsou stanoveny maximální teploty povrchu podlahy. Vyšší teploty mohou mít negativní vliv na lidské zdraví. Dle této normy je maximální povrchová teplota v obytných místnostech 29 °C a v koupelnách 33 °C.

Střední teplota otopné vody je po optimalizaci 33 °C.

Další výsledné hodnoty po optimalizaci jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 21 Výsledky výpočtu podlahového vytápění

Označení místnosti	Rozteč [m]	Povrchová teplota [°C]	Výkon podlahového vytápění [W]	Výkon okrajové plochy [W]	Skutečný výkon [W]	Dodatečné vytápění [W]
1.01	0,3	24,2	79	47	126	0
1.02	0,1	27,6	22	20	42	133
1.03	0,15	25,0	223	83	306	0
1.04	0,1	25,2	1512	190	1702	0
1.08	0,1	27,6	84	37	121	293
1.09	0,3	24,2	316	92	408	0
1.10	0,3	24,2	497	121	618	0

Jak je patrné, v místnostech hygienického zázemí je podlahové vytápění nedostatečné, a proto budou v těchto místnostech dodatečně umístěny elektrické topné kabely o příslušných výkonech.

Ve 2.NP jsou umístěné elektrické topné fólie, které mají regulovatelný výkon o maximální hodnotě 160 W/m^2 . V místnostech 2.02 a 2.06 by tento výkon nestačoval, proto budou zvoleny fólie s vyšším výkonem 200 W a 250 W . V následující tabulce bude provedeno ověření, že je vytápění elektrickými topnými fóliemi dostatečné.

Tab. 22 *Ověření výkonu elektrické fólie*

Označení místnosti	Funkce místnosti	Podlahová plocha [m^2]	Celkový návrhový tepelný výkon místnosti [W]	Výkon podlahového vytápění na m^2 [W/m^2]	Maximální výkon podlahového vytápění [W]
2.01	Chodba	3,525	113	160	564
2.02	Koupelna	1,65	382	250	413
2.03	Zádveří	1,6	34	160	256
2.04	Pokoj	3,275	506	160	524
2.05	Ložnice	4,245	426	160	679
2.06	Pokoj	1,665	327	200	333
2.07	Šatna	1,075	94	160	172

6.5 Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění bude proveden dle denostupňové metody. Pro výpočet budou použity teploty naměřené z meteorostanice poblíž města Tábor, kde se objekt nachází. Při výpočtu bude dále použita celková tepelná ztráta objektu Q_c . Je také nutné stanovit průměrnou teplotu v posuzovaném objektu. Tato bude určena dle rovnice:

$$T_p = \frac{\sum t_i \cdot V_i}{V} \quad (25)$$

Kde t_i je návrhová teplota uvnitř místnosti, V_i je objem místnosti a V je celkový objem vnitřních prostor budovy. Dle této rovnice je vnitřní průměrná teplota 20,36 °C.

Dalším parametrem, který je nutné znát, je počet topných dnů. Pravidla pro vytápění stanoví aktuálně platná vyhláška 194/2007 Sb. [49], dle které je začátek otopného období 1. září a konec 31. května. Tepelná energie je dodávána v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v dané lokalitě klesne pod 13 °C dva dny po sobě a vývoj počasí nenaznačuje zvýšení teploty nad tuto hodnotu pro následující den. Vytápění je přerušeno, či omezeno, jestliže denní průměrná teplota v dané lokalitě vystoupí nad 13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a předpověď počasí nenaznačuje, že v následujícím dni dojde opět k poklesu pod tuto hodnotu. Průměrná denní teplota je stanovena měřením ve stínu v 7:00, 14:00 a 21:00 hod, přičemž měření ve 21:00 hod se počítá dvakrát.

Samotný výpočet potřeby tepla na vytápění je poté stanoven dle rovnice:

$$Q_{vyt} = 24.3600 \cdot Q_z \cdot \frac{d_{den} \cdot (t_i - t_{es})}{t_i - t_e} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \text{ [J/období]} \quad (26)$$

kde Q_z je tepelná ztráta, která musí být pokryta

d_{den} je počet dnů otopného období

e_i je koeficient na nesoučasnost tepelné ztráty prostupem a větráním, který je určen jako podíl tepelných ztrát budovy prostupem k celkové tepelné ztrátě objektu

e_t je koeficient na snížení vnitřní teploty

e_d je koeficient na zkrácení doby provozu

Teplota t_{es} je průměrná venkovní teplota pro posuzované období a t_e je venkovní návrhová teplota.

Hodnoty koeficientů jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 23 Koeficienty pro výpočet potřeby tepla

Koeficient e_i	0,738
Koeficient e_t	0,95
Koeficient e_d	1

Pro potřeby stanovení spotřeby elektrické energie je nutné rozdělit potřebu tepla, která bude pokryta tepelným čerpadlem a která bude pokryta elektrickými topnými fóliemi.

6.5.1 Potřeba tepla pro vytápění pokrytá tepelným čerpadlem

V 1.NP je část tepla pokryta elektrickými topnými kabely, a proto bude pro výpočet potřeby tepelná ztráta 1.NP snížena o potřebný výkon elektrických topných kabelů, který byl uveden v kapitole o podlahovém vytápění. Celková tepelná ztráta, kterou tedy musí pokrýt tepelné čerpadlo, je 3161 W. Výsledné hodnoty potřeby tepla, kterou pokrývá tepelné čerpadlo, jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 24 Potřeba tepla pokrytá tepelným čerpadlem

Měsíc	Průměrná teplota [°C]	Topné dny	Denostupně [D.K]	Potřeba tepla 1. NP TČ [kWh]
Leden	1	31	599,99	926,931
Únor	2,3	28	505,53	780,994
Březen	7,1	31	410,89	634,791
Duben	10,3	27	271,48	419,403
Květen	12,1	22	181,60	280,558
Červen	16,8	0	0,00	0,000
Červenec	19,1	0	0,00	0,000
Srpen	16,1	0	0,00	0,000
Září	14,2	10	61,55	95,083
Říjen	10,5	25	246,37	380,611
Listopad	6	30	430,64	665,295
Prosinec	2,3	31	559,69	864,672
Celkem		235	3267,74	5048,337

Celková roční potřeba tepla na pokrytí tepelným čerpadlem $Q_{TT\check{c}}$ tedy činí 5048,337 kWh.

6.5.2 Potřeba tepla pokrytá elektrickými fóliemi a elektrickými topnými kabely

Elektrické topné fólie pokrývají potřebu tepla v 2.NP. Elektrické topné kabely pak ve dvou místnostech v 1.NP. Tepelná ztráta 2.NP je 1881 W a tepelný výkon, který musí pokrýt elektrické topné kabely v 1. NP činí 426 W. Výsledná potřeba tepla pokrytá fóliemi a kabely je uvedena v následující tabulce:

Tab. 25 *Potřeba tepla pokrytá elektrickými topnými fóliemi*

Měsíc	Průměrná teplota [°C]	Topné dny	Denostupně [D.K]	Potřeba tepla 2. NP [kWh]	Potřeba tepla 1. NP [kWh]
Leden	1	31	599,99	551,725	125,062
Únor	2,3	28	505,53	464,860	105,372
Březen	7,1	31	410,89	377,838	85,646
Duben	10,3	27	271,48	249,635	56,586
Květen	12,1	22	181,60	166,992	37,853
Červen	16,8	0	0,00	0,000	0,000
Červenec	19,1	0	0,00	0,000	0,000
Srpen	16,1	0	0,00	0,000	0,000
Září	14,2	10	61,55	56,595	12,829
Říjen	10,5	25	246,37	226,546	51,352
Listopad	6	30	430,64	395,995	89,762
Prosinec	2,3	31	559,69	514,667	116,662
Celkem		235	3267,74	3004,854	681,124

Celková roční potřeba tepla k pokrytí elektrickými topnými fóliemi a kabely Q_{EF} tedy činí 3685,977 kWh.

6.6 Výpočet potřeby energie pro teplou vodu

Výpočet potřeby tepla na ohřev teplé vody bude proveden dle normy ČSN EN 12831-3 [50] platné od 1.1.2019. Hodnoty převzaté od výrobce bojleru jsou uvedeny v [51].

Tepelné čerpadlo ohřívá vodu v akumulčním zásobníku na 45 °C a následně je užitková voda ohřívána elektrickou topnou patronou v bojleru na požadovaných 55°C.

Vstupní hodnoty pro výpočet jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 26 Vstupní údaje k výpočtu potřeby teplé vody

Značka	Název	Hodnota	Jednotka
n_p	Počet zohledňovaných osob	4	-
x_h	Poměrné množství teplé vody odebrané za hodinu ku množství odebrané vody za den	-	-
$\vartheta_{T\check{c}w}$	Teplota, na kterou vodu ohřívá TČ	45	°C
ϑ_w	Teplota užitkové vody	55	°C
ϑ_{wc}	Teplota studené vody	10	°C
ρ_w	Hustota vody	1000	kg/m ³
c_{p_w}	Měrná tepelná kapacita vody	4,187	kJ/kgK
$q_{sb.sto}$	Měrná ztráta zásobníku	1,56	kWh/den

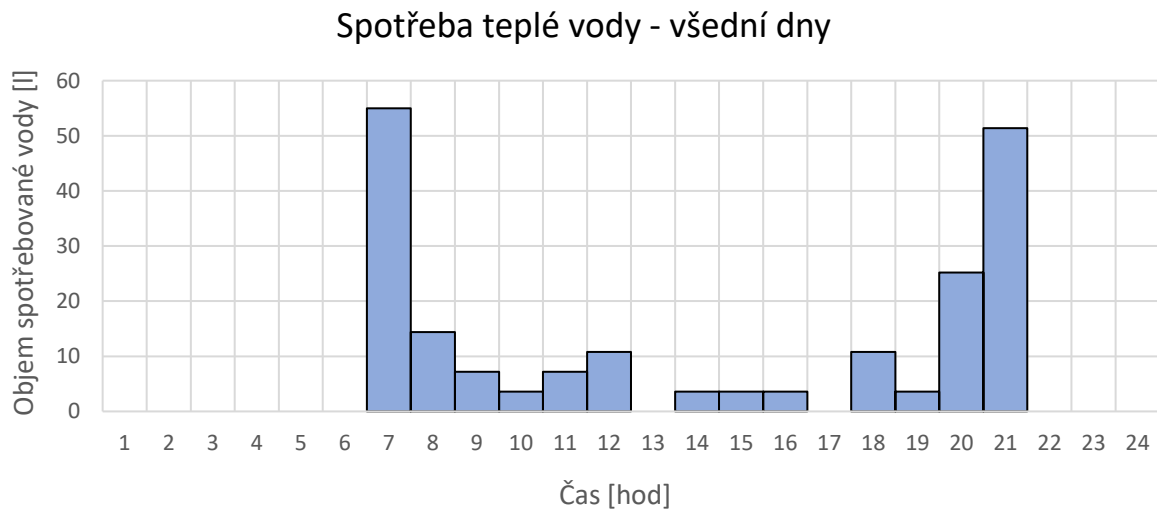
Nejprve je nutné určit potřebný objem vody, která bude během dne spotřebována. Norma uvádí 25–60 litrů na osobu na den. Zvolena byla hodnota V_{wPday} 50 litrů na osobu na den. Zvolen byl zásobník o objemu $V_{sto} = 200$ l.

$$V_{wday} = V_{wPday} \cdot n_p \quad (27)$$

Dalším krokem je určení hodinové spotřeby teplé vody na základě následujícího vzorce.

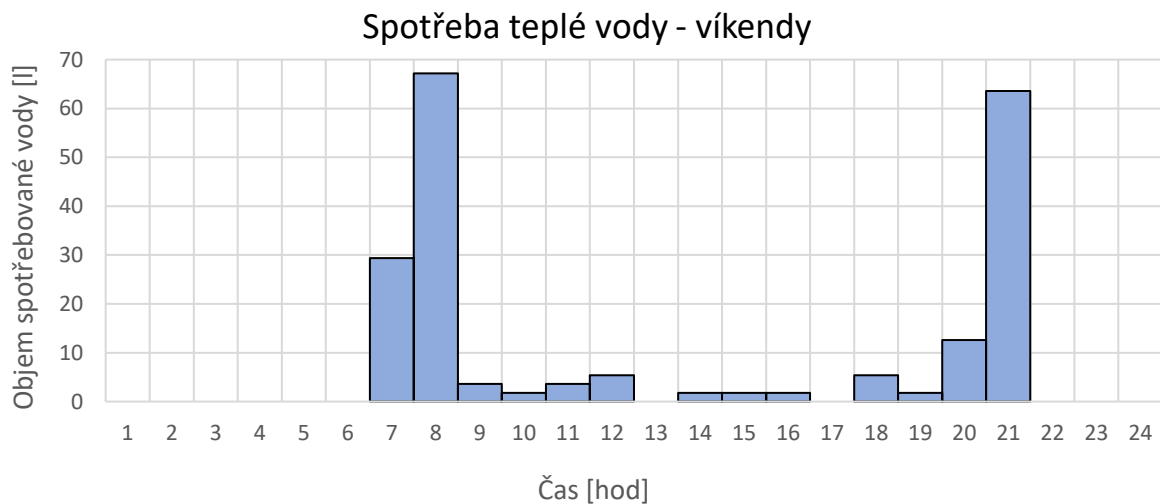
$$V_t = V_{w,day} \cdot x_h \tag{28}$$

Kde poměrné odebrané množství teplé vody x_h je určeno dle normy, která uvádí několik nejčastějších spotřebních profilů. Pro spotřebu ve všedních dnech byl zvolen profil M, zobrazen na obrázku níže.



Obr. 15 Hodinová spotřeba vody – všední dny

Pro víkendy byl zvolen profil L, zobrazen na obrázku níže.



Obr. 16 Hodinová spotřeba vody – víkendové dny

Poté byla spočtena denní potřeba energie pro přípravu teplé vody na základě denní spotřeby teplé vody.

Nejprve je voda ohřáta tepelným čerpadlem na teplotu $\vartheta_{T\check{c}w}$. Potřeba tepla na ohřev tepelným čerpadlem je vypočítána dle následujícího vzorce:

$$Q_{wT\check{c}} = V_{w,day} \cdot x_h \cdot \rho_w \cdot cp_w \cdot (\vartheta_{T\check{c}w} - \vartheta_{wc}). \quad (29)$$

Pro následný ohřev vody elektrickou topnou patronou na požadovanou teplotu ϑ_w je nutné dodat energii vypočtenou dle vztahu:

$$Q_{wP} = V_{w,day} \cdot x_h \cdot \rho_w \cdot cp_w \cdot (\vartheta_w - \vartheta_{T\check{c}w}). \quad (30)$$

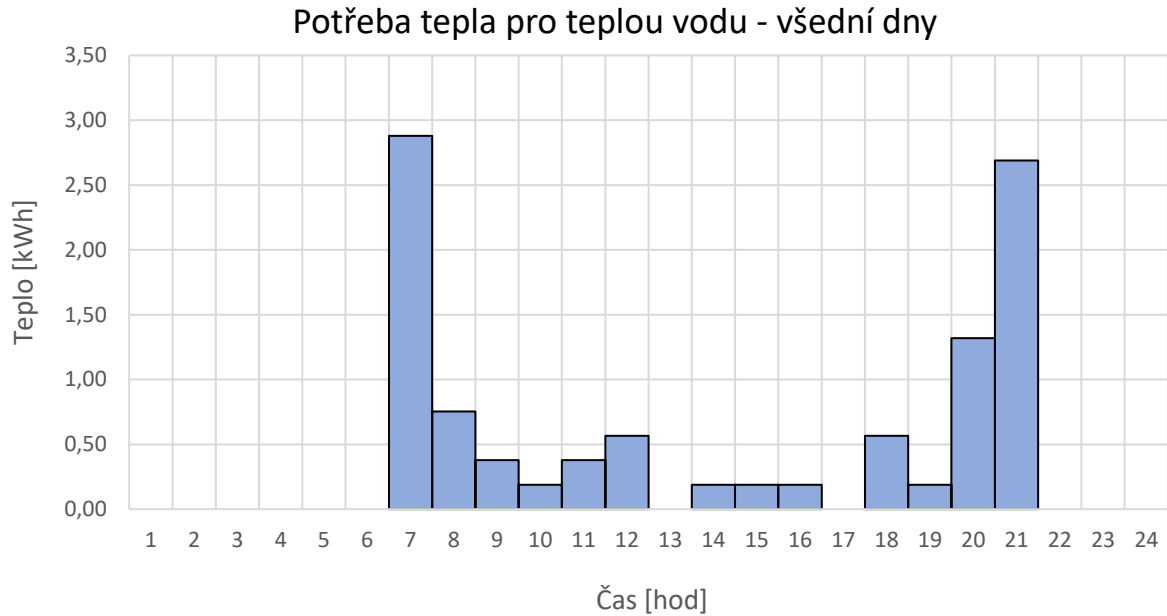
V následující tabulce je uvedena denní potřeba tepla na ohřev teplé vody tepelným čerpadlem a elektrickou topnou patronou v režimu všedního dne a víkendového dne.

Tab. 27 Přehled potřeby tepla na ohřev teplé vody

Čas	Všední den		Víkendový den	
	Ohřev tepelným čerpadlem [kWh]	Ohřev patronou [kWh]	Ohřev tepelným čerpadlem [kWh]	Ohřev patronou [kWh]
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	2,239	0,64	1,20	0,34
8	0,586	0,17	2,74	0,78
9	0,293	0,08	0,15	0,04
10	0,147	0,04	0,07	0,02
11	0,293	0,08	0,15	0,04
12	0,440	0,13	0,22	0,06
13	0,000	0,00	0,00	0,00
14	0,147	0,04	0,07	0,02
15	0,147	0,04	0,07	0,02
16	0,147	0,04	0,07	0,02
17	0,000	0,00	0,00	0,00
18	0,440	0,13	0,22	0,06
19	0,147	0,04	0,07	0,02
20	1,026	0,29	0,52	0,15
21	2,092	0,60	2,59	0,74
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Celkem	8,14	2,33	8,14	2,33

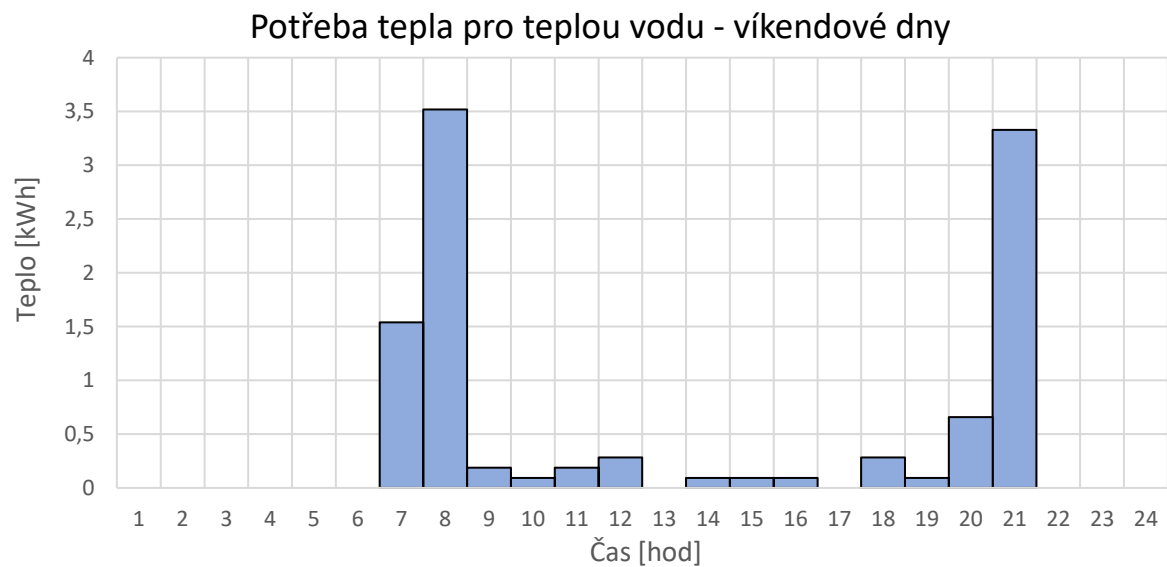
Výsledná potřeba energie na ohřev teplé vody pro jeden den Q_{Wnd} je 10,47 kWh.

Na následujícím grafu je zobrazena celková potřeba tepla pro přípravu teplé vody během všedního dne.



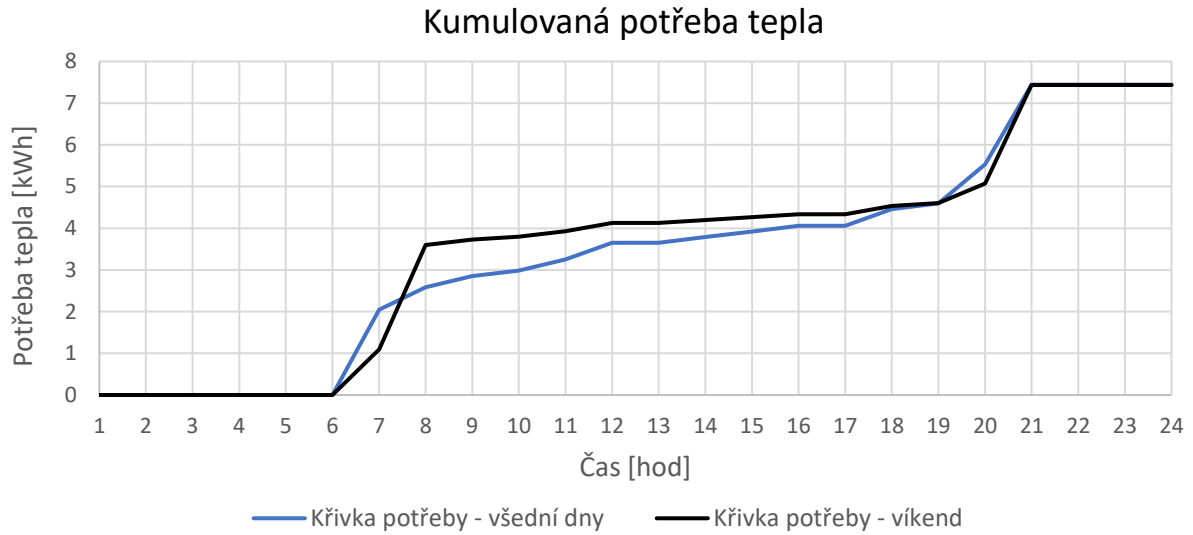
Obr. 17 Potřeba tepla na přípravu teplé vody všední dny.

Stejným postupem byla zobrazena i potřeba tepla na přípravu teplé vody během víkendu.



Obr. 18 Potřeba tepla na přípravou teplé vody – víkendy

Nakonec bylo vypracováno i grafické zobrazení kumulativní potřeby tepelné energie v průběhu dne - na obrázku níže.



Obr. 19 Kumulovaná křivka potřeby tepla v průběhu dne

Roční potřeba energie na ohřátí teplé vody je pak vypočtena dle vzorce:

$$Q_{rokW} = \sum Q_{Wnd} \cdot 365 + 8760 \cdot 60 \cdot Q_{W.sto1} \tag{31}$$

Následně jsou stanoveny ztráty ohřivače teplé vody podle následujícího vzorce z normy.

$$Q_{W.sto1} = q_{sb.sto} \cdot \frac{(\vartheta_w - \vartheta_a)}{45} \cdot \frac{1}{24.60} \text{ [kWh/min]} \tag{32}$$

V následující tabulce jsou uvedeny výsledné hodnoty výpočtů ohřivače teplé vody.

Tab. 28 Výstupní údaje z výpočtů potřeby teplé vody

Značka	Název	Hodnota	Jednotka
V_{wday}	Výpočet objemu teplé vody dodané za den	200	l
$Q_{W.sto1}$	Ztráty tepla zásobníku	0,843	Wh/min
Q_{rokW}	Roční potřeba energie	4264	kWh

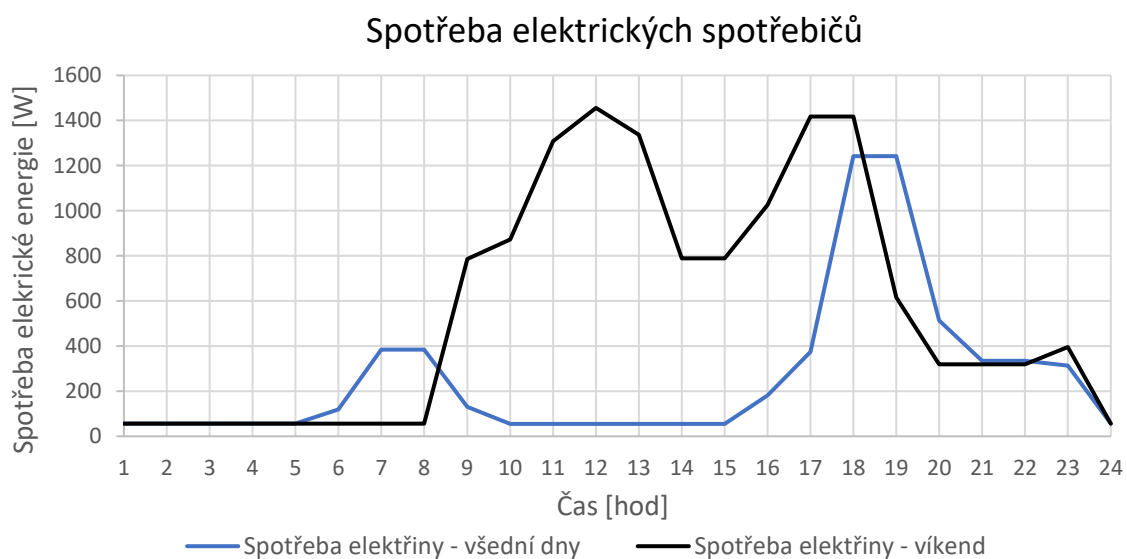
6.7 Výpočet spotřeby elektrické energie

6.7.1 Spotřeba elektrické energie spotřebičů

Pro výpočet spotřeby elektrické energie budou stanoveny předpokládané používané elektrické spotřebiče, odhadnuty jejich příkony a data o frekvenci jejich používání. Spotřeba bude odhadnuta pro dva režimy. Jeden režim byl vypracován pro všední dny a druhý pro víkendy. Data jsou uvedena v příloze 9 pro režim všedních dnů a v příloze 10 pro režim víkendů. Bylo uvažováno standardní vybavení domácnosti pro čtyřčlennou rodinu. Doba používání i vybavení je pouze odhadem a od reálných podmínek se může lišit, avšak odhad byl měl odpovídat průměrným hodnotám domácností. Uvažován byl také stand-by režim, při kterém u výrobků vyrobených po roce 2013 dle Nařízení Evropské Komise [52] nesmí dojít k překročení hodinové spotřeby 0,5 Wh. Pro spotřebiče připojené k internetové síti (například chytré televize) se maximální spotřeba pohybuje od 3–12 Wh v závislosti na výrobku. Ve výpočtu je ze zařízení připojených k internetu uvažován pouze Router, který má ovšem výjimku a stand-by režim u něj dle nařízení komise z roku 2017 může odpovídat provoznímu režimu.

Rodinný dům se nachází ve městě Tábor, které je v distribuční oblasti společnosti E.ON. Ceník společnosti E.ON je uveden v příloze 8.

Průběh spotřeby elektřiny je zobrazen níže.



Obr. 20 Průběh spotřeby elektrické energie spotřebičů.

Celková roční spotřeba elektrické energie spotřebičů je shrnuta v tabulce níže.

Tab. 29 *Shrnutí spotřeby elektrické energie spotřebiči*

Celková spotřeba za všední den [kWh]	Celková spotřeba víkendový den [kWh]	Celková spotřeba [kWh/rok]
9,868	20,412	4709

6.7.2 Spotřeba elektrické energie tepelného čerpadla na vytápění

Spotřeba elektřiny tepelného čerpadla bude vypočtena pomocí parametru SCOP. SCOP značí sezónní topný faktor. SCOP bude převzato od výrobce a jeho hodnota je 3,9.

Spotřeba elektrické energie na vytápění v 1.NP $E_{T\check{c}}$ bude vypočtena dle rovnice:

$$E_{T\check{c}} = \frac{Q_{TT\check{c}}}{SCOP} \quad (33)$$

kde $Q_{TT\check{c}}$ označuje potřebu energie na vytápění v 1.NP. Hodnoty spotřeby elektrické energie pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 30 *Spotřeba elektrické energie na vytápění tepelným čerpadlem*

Měsíc	Spotřeba el. energie v 1.NP TČ [kWh]
Leden	237,67
Únor	200,25
Březen	162,77
Duben	107,54
Květen	71,94
Červen	0,00
Červenec	0,00
Srpen	0,00
Září	24,38
Říjen	97,59
Listopad	170,59
Prosinec	221,71
Celkem	1294,445

6.7.3 Spotřeba elektrické energie na přípravu teplé vody

Následuje výpočet spotřeby elektrické energie na přípravu teplé vody. Požadovaná teplá voda v bojleru je zahřátá na teplotu 55 °C, ale v návrhu je uvažováno ohřátí tepelným čerpadlem pouze na teplotu 45 °C. Ohřátí vody ze 45 °C na 55 °C bude zajištěno topnou elektrickou patronou v bojleru. Výpočet elektrické energie potřebné na přípravu teplé vody tepelným čerpadlem na teplotu 45 °C bude proveden podle následujícího vzorce, kde $Q_{wT\check{c}}$ označuje potřebu tepla na ohřev teplé vody.

$$E_{T\check{c}w} = \frac{Q_{wT\check{c}}}{SCOP} \quad (34)$$

Elektrická energie na ohřátí vody o 10 K topnou patronou při uvažování účinnosti $\eta_p = 0,98$ je poté vypočtena dle níže uvedeného vztahu.

$$E_p = \frac{Q_{WP}}{\eta_p} [kWh/den] \quad (35)$$

Tab. 31 Přehled denní spotřeby elektrické energie na ohřev teplé vody

Všední den	Tepelné čerpadlo [kWh]	Topná spirála [kWh]
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0,574	0,640
8	0,150	0,167
9	0,075	0,084
10	0,038	0,042
11	0,075	0,084
12	0,113	0,126
13	0,000	0,000
14	0,038	0,042
15	0,038	0,042
16	0,038	0,042
17	0,000	0,000
18	0,113	0,126
19	0,038	0,042
20	0,263	0,293
21	0,536	0,598
22	0	0
23	0	0
24	0	0
Celkem	2,088	2,326

6.7.4 Potřeba elektrické energie na vytápění elektrickými fóliemi a kabely

Potřeba elektrické energie na vytápění ve 2. NP a ve dvou místnostech 1.NP bude vypočtena dle následujícího vzorce. Je uvažováno, že účinnost vytápění místnosti elektrickou topnou fólií a elektrickými kabely je shodná a tedy η_{EF} je pro oba způsoby vytápění 0,99.

$$E_p = \frac{Q_{EF}}{\eta_{EF}} [kWh/den] \quad (36)$$

Přehled spotřeby elektrické energie na vytápění elektrickými topnými fóliemi a elektrickými topnými kabely je uveden v tabulce níže.

Tab. 32 Přehled spotřeby elektrické energie na vytápění elektrickými topnými fóliemi a kabely.

Měsíc	Vytápění 2.NP [kWh]	Vytápění 1. NP [kWh]
Leden	557,30	126,33
Únor	469,56	106,44
Březen	381,65	86,51
Duben	252,16	57,16
Květen	168,68	38,24
Červen	0	0
Červenec	0	0
Srpen	0	0
Září	57,17	12,96
Říjen	228,83	51,87
Listopad	399,99	90,67
Prosinec	519,87	117,84
Celkem	3035,206	688,004

6.7.5 Celkový přehled spotřeby elektrické energie

Kompletní přehled spotřeby elektrické energie rozdělený v měsíčních intervalech je uveden v následující tabulce:

Tab. 33 Celkový měsíční přehled spotřeby elektrické energie

Měsíc	Spotřeba tepelného čerpadla [kWh]	Spotřeba topné spirály [kWh]	Spotřeba topných kabelů 1. NP [kWh]	Spotřeba topných fólií 2. NP [kWh]	Spotřeba spotřebičů [kWh]
Leden	312,03	73,58	126,33	557,30	411,3
Únor	267,42	66,46	106,44	469,56	360,7
Březen	237,12	73,58	86,51	381,65	390,3
Duben	179,50	71,21	57,16	252,16	390,9
Květen	146,30	73,58	38,24	168,68	400,8
Červen	71,96	71,21	0,00	0,00	380,4
Červenec	74,36	73,58	0,00	0,00	411,3
Srpen	74,36	73,58	0,00	0,00	390,3
Září	96,34	71,21	12,96	57,17	380,4
Říjen	171,95	73,58	51,87	228,83	411,3
Listopad	242,55	71,21	90,67	399,99	380,4
Prosinec	296,07	73,58	117,84	519,87	400,8
Celkem	2169,95	866,36	688,00	3035,21	4708,9

Celkový výsledný přehled roční spotřeby elektrické energie je uveden níže.

Tab. 34 Přehled celkové spotřeby elektřiny

Spotřeba elektrické energie spotřebičů	4709	kWh
Spotřeba elektřiny na ohřev teplé vody a vytápění TČ	2170	kWh
Spotřeba elektřiny na vytápění elektrické topné folie a kabely	3723	kWh
Spotřeba elektřiny na dohřev TV topnou patronou	866	kWh
Celková spotřeba elektřiny na vytápění a ohřev TV	6760	kWh
Celková spotřeba elektřiny	11468	kWh

Dále byl zpracován denní přehled spotřeby elektrické energie. Níže je uveden přehled spotřeby elektrické energie pro typový jarní den.

Tab. 35 Denní přehled spotřeby elektrické energie pro typový jarní den

Čas	Teploty [°C]	Spotřebiče [kWh]	Ohřev vody TČ [kWh]	Ohřev vody spirála [kWh]	Vytápění TČ. [kWh]	Vytápění fólie. [kWh]	Celkem [kWh]
1	8,58	0,164	0	0	0,236	0,638	1,105
2	8,26	0,164	0	0	0,243	0,655	1,129
3	7,94	0,164	0	0	0,249	0,673	1,153
4	7,62	0,164	0	0	0,256	0,690	1,177
5	7,99	0,164	0	0	0,248	0,670	1,149
6	8,37	0,228	0	0	0,241	0,649	1,185
7	8,75	0,436	0,574	0,640	0,233	0,629	2,578
8	10,41	0,436	0,150	0,167	0,200	0,539	1,559
9	12,07	0,238	0,075	0,084	0,166	0,449	1,079
10	13,74	0,163	0,038	0,042	0,133	0,358	0,801
11	14,11	0,163	0,075	0,084	0,125	0,338	0,853
12	14,49	0,163	0,113	0,126	0,118	0,318	0,904
13	14,86	0,163	0	0	0,110	0,298	0,638
14	14,39	0,163	0,038	0,042	0,120	0,323	0,753
15	13,92	0,163	0,038	0,042	0,129	0,349	0,787
16	13,45	0,392	0,038	0,042	0,139	0,374	1,051
17	12,55	0,585	0,000	0,000	0,157	0,423	1,231
18	11,65	1,923	0,113	0,126	0,175	0,472	2,874
19	10,75	1,923	0,038	0,042	0,193	0,520	2,782
20	9,95	0,622	0,263	0,293	0,209	0,564	2,018
21	9,15	0,442	0,536	0,598	0,225	0,607	2,475
22	8,35	0,442	0	0	0,241	0,650	1,401
23	8,18	0,497	0	0	0,244	0,660	1,468
24	8	0,164	0	0	0,248	0,669	1,149
Celkem		10,13	2,088	2,326	4,638	12,512	33,298

7 Návrh fotovoltaického systému

7.1 Stanovení venkovních podmínek

Zisk elektrické energie z hybridního fotovoltaického panelu bude vypočten pomocí programu PVGIS. Program PVGIS [53] (Photovoltaic Geographical Information System) je nástroj, který obsahuje data o slunečním záření. Dále je zde možno zjistit průměrné denní, měsíční, roční teploty, případně další meteorologické údaje. Program vychází z dat, které byly naměřeny v minulosti. Program je užitečný a hojně využíván především při návrzích solárních technologií a výpočtů zisků energie ze sluneční radiace. Program umožňuje výpočet pro varianty, kdy je systém připojen k distribuční síti, v ostrovním provozu, pro stacionární i natáčecí panely.

V této práci bude použit pro určení hodinových hodnot slunečního záření a teplot v průběhu celého roku. Vstupním parametrem do výpočtu bude místo instalace panelů, respektive objektu, přičemž umístění kolektorů bude na střeše. Střecha je plochá a bude na ní použita konstrukce tak, aby panely byly v optimálním sklonu 35 °. Orientace panelů bude na jih. Níže je uveden souhrn parametrů z programu PVGIS zprůměrovaných pro měsíční intervaly.

Tab. 36 Souhrn dat z databáze PVGIS

Měsíc	Celkové měsíční záření [Wh/m ²]	Průměrné teploty [°C]
Leden	12 607,13	0,73
Únor	20 625,31	2,48
Březen	38 964,87	7
Duben	37 970,96	10,26
Květen	40 522,016	12,29
Červen	53 069,62	16,99
Červenec	47 724,4	19,03
Srpen	37 747,45	16,35
Září	32 472,5	14,38
Říjen	17 838,51	10,83
Listopad	8 407,34	6,49
Prosinec	8 815	2,05

7.2 Validace modelu PVGIS

Pro ověření hodnot slunečního záření z modelu PVGIS bude záření vypočteno dle postupu [54] a dle platné normy ČSN 730548 [55] a hodnoty porovnány. Porovnání bude provedeno pro 21. den měsíců března až října. Postup výpočtu slunečního záření dle příslušné normy je následující.

Nejprve je stanovena sluneční deklinace. Sluneční deklinace je zeměpisná šířka, kde je v daný den ve 12 hodin slunce kolmo nad obzorem. Průměrná sluneční deklinace pro libovolný den a měsíc v roce je vypočtena dle vzorce:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin(0,98 \cdot D + 29,7 \cdot M - 109)^\circ \quad (37)$$

Kde D označuje číslo dne ve zvoleném měsíci a M označuje číslo měsíce.

Hodnoty δ pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny níže.

Tab. 37 Hodnoty δ

Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
0,28	11,86	20,32	23,45	20,41	12,01	0,46	-11,22

Dále bude vypočten hodinový úhel slunce τ v závislosti na pravém slunečním čase PSČ. PSČ je čas mezi dvěma horními kulminacemi slunce rozdělený na 24 hodin. Ve 12 hodin dochází k horní kulminaci a slunce dosahuje nejvyšší výšky nad obzorem. Hodinový úhel τ je určen dle vzorce.

$$\tau = 15 \cdot (\text{PSČ} - 12) \quad (38)$$

Dále bude určena poloha slunce na obloze v hodinových intervalech v závislosti na slunečním čase. Norma stanoví, že zeměpisná šířka, značená φ , je 50° pro celé území ČR, tedy výpočet bude proveden s touto hodnotou. Výška slunce nad obzorem a úhel, který svírá slunce s horizontem, značený h_s , je dán pomocí vzorce

$$\sin h_s = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau \quad (39)$$

Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 38 Úhel slunce nad obzorem

Sluneční čas	τ [°]	Úhel slunce nad obzorem h_s [°]							
		Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	-165	-38	-27	-18	-15	-18	-27	-38	-49
2	-150	-34	-23	-15	-12	-15	-23	-33	-44
3	-135	-27	-17	-9	-6	-9	-17	-27	-37
4	-120	-19	-9	-2	1	-2	-9	-18	-28
5	-105	-9	0	6	9	6	0	-9	-18
6	-90	0	9	15	18	15	9	0	-9
7	-75	10	19	25	27	25	19	10	1
8	-60	19	28	35	37	35	28	19	10
9	-45	27	37	44	46	44	37	27	17
10	-30	34	45	52	55	52	45	34	23
11	-15	39	50	58	61	58	50	39	27
12	0	40	52	60	63	60	52	40	29
13	15	39	50	58	61	58	50	39	27
14	30	34	45	52	55	52	45	34	23
15	45	27	37	44	46	44	37	27	17
16	60	19	28	35	37	35	28	19	10
17	75	10	19	25	27	25	19	10	1
18	90	0	9	15	18	15	9	0	-9
19	105	-9	0	6	9	6	0	-9	-18
20	120	-19	-9	-2	1	-2	-9	-18	-28
21	135	-27	-17	-9	-6	-9	-17	-27	-37
22	150	-34	-23	-15	-12	-15	-23	-33	-44
23	165	-38	-27	-18	-15	-18	-27	-38	-49
24	180	-40	-28	-20	-17	-20	-28	-40	-51

Dalším důležitým parametrem, který je nutno stanovit, je sluneční azimut. Sluneční azimut je úhel, který svírá pomyslný průmět spojnice slunce s místem, od kterého je azimut určován, do vodorovné roviny v místě pozorovatele s přímkou směřující k jihu, pokud je dané místo na severní polokouli.

Sluneční azimut a bude určen podle vzorce:

$$\sin a = \frac{\sin \tau \cdot \cos \delta}{\cos h_s} \quad (40)$$

Níže jsou uvedeny hodnoty slunečního azimutu v závislosti na slunečním čase.

Tab. 39 Sluneční azimut

Sluneční čas	τ [°]	Sluneční azimut a [°]							
		Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	-165	-19	-16	-15	-14	-15	-16	-19	-23
2	-150	-37	-32	-29	-28	-29	-32	-37	-43
3	-135	-52	-46	-42	-41	-42	-46	-52	-60
4	-120	-66	-59	-54	-53	-54	-59	-66	-74
5	-105	-78	-71	-66	-64	-66	-71	-78	-86
6	-90	-90	-82	-77	-74	-77	-82	-90	-83
7	-75	-79	-86	-88	-85	-88	-86	-79	-71
8	-60	-66	-74	-80	-83	-81	-74	-66	-59
9	-45	-53	-60	-67	-70	-67	-60	-53	-47
10	-30	-37	-43	-50	-52	-50	-44	-37	-32
11	-15	-19	-23	-27	-29	-27	-23	-19	-17
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	15	19	23	27	29	27	23	19	17
14	30	37	43	50	52	50	44	37	32
15	45	53	60	67	70	67	60	53	47
16	60	66	74	80	83	81	74	66	59
17	75	79	86	88	85	88	86	79	71
18	90	90	82	77	74	77	82	90	83
19	105	78	71	66	64	66	71	78	86
20	120	66	59	54	53	54	59	66	74
21	135	52	46	42	41	42	46	52	60
22	150	37	32	29	28	29	32	37	43
23	165	19	16	15	14	15	16	19	23
24	180	0	0	0	0	0	0	0	0

Dalším postupem je určení úhlu mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků označovaným jako θ . Tento úhel je stanovený následující rovnicí:

$$\cos\theta = \sin h_s \cdot \cos \alpha + \cos h_s \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - \gamma) \quad (41)$$

kde α je úhel sklonu osluněného povrchu, tedy panelů. V návrhu je uvažován sklon panelů 35° . γ je azimut strany, na kterou je osluněný povrch orientován. Panely jsou orientovány na jih, pro který je hodnota γ rovna nule. Níže jsou uvedeny úhly mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků.

Tab. 40 Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků

Sluneční čas	Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem paprsků [°]							
	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	95	83	75	71	74	83	94	106
2	94	82	74	71	74	82	94	106
3	93	82	73	70	73	82	93	105
4	92	81	72	69	72	81	92	104
5	91	79	71	68	71	79	91	102
6	90	78	70	67	70	78	90	93
7	75	73	68	65	68	73	75	79
8	61	58	57	57	57	58	61	65
9	47	44	43	43	43	44	47	52
10	33	29	29	29	29	29	33	40
11	21	15	15	16	15	15	21	30
12	15	3	5	8	5	3	15	26
13	21	15	15	16	15	15	21	30
14	33	29	29	29	29	29	33	40
15	47	44	43	43	43	44	47	52
16	61	58	57	57	57	58	61	65
17	75	73	68	65	68	73	75	79
18	90	78	70	67	70	78	90	93
19	91	79	71	68	71	79	91	102
20	92	81	72	69	72	81	92	104
21	93	82	73	70	73	82	93	105
22	94	82	74	71	74	82	94	106
23	95	83	75	71	74	83	94	106
24	95	83	75	72	75	83	95	106

Následně bude vypočtena intenzita sluneční radiace. Tu je možné rozdělit do dvou kategorií, na přímé a difúzní záření. Přímé sluneční záření je záření, které není rozptýleno v atmosféře a dopadá přímo na povrch panelů, zatímco difúzní záření je záření, které bylo rozptýleno a odraženo od prachových nebo jiných částic v atmosféře, případně od jiných osluněných povrchů. Znečištění atmosféry je reflektováno při výpočtu použitím bezrozměrné konstanty z . Tato konstanta udává, kolikrát by musela být čistá atmosféra hmotnější, aby měla stejnou propustnost pro sluneční radiaci, jako atmosféra znečištěná. Hodnoty konstanty z pro jednotlivé výpočtové měsíce jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 41 Koefficient z reflektující znečištění atmosféry

Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
z	3,5	4	4,2	4,3	4,4	4,3	4	3,6

Při výpočtu bude také použita sluneční konstanta I_0 , což je hodnota intenzity slunečního záření na vnějším povrchu atmosféry, tedy ještě než je část záření rozptýlena, pohlcena nebo odražena, které dopadá na rovinu kolmou k tomuto záření. Sluneční konstanta má průměrnou hodnotu 1350 W/m^2 .

Pro výpočet intenzity přímé sluneční radiace bude použit následující vztah, který platí pro nadmořskou výšku 300 m, takže je použitelný pro většinu měst v České republice. Objekt je ve městě Tábor, které je 437 m nad mořem a chyba ve výpočtu je zanedbatelná. Vztah pro intenzitu přímého slunečního záření na nakloněnou plochu je uveden níže.

$$I_D = I_0 \cdot \exp(-0,097 \cdot z \cdot (\sin h_s)^{-0,8}) \cdot \cos \theta \quad (42)$$

Hodnoty intenzity přímé sluneční radiace pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny níže.

Tab. 42 Hodnoty intenzity přímé sluneční radiace

Sluneční čas	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	40,57	77,36	37,18	0	0	0
6	0	50,35	144,27	181,95	137,55	45,73	0	0
7	83,60	153,22	220,01	258,20	212,84	143,50	69,89	0,01
8	283,88	349,90	385,99	393,45	374,80	332,87	253,82	131,77
9	490,11	544,29	570,74	573,20	556,40	522,03	449,56	332,43
10	659,36	703,39	721,02	719,16	704,53	677,64	612,31	500,46
11	769,04	806,63	818,39	813,70	800,66	778,90	718,41	609,54
12	806,91	842,33	852,04	846,37	833,91	813,95	755,14	647,20
13	769,04	806,63	818,39	813,70	800,66	778,90	718,41	609,54
14	659,36	703,39	721,02	719,16	704,53	677,64	612,31	500,46
15	490,11	544,29	570,74	573,20	556,40	522,03	449,56	332,43
16	283,88	349,90	385,99	393,45	374,80	332,87	253,82	131,77
17	83,60	153,22	220,01	258,20	212,84	143,50	69,89	0,01
18	0	50,35	144,27	181,95	137,55	45,73	0	0
19	0	0	40,57	77,36	37,18	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Difuzní sluneční záření je poté vypočítáno pomocí vzorce:

$$I_d = \left(I_0 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \frac{\sin h_s}{3} \quad (43)$$

A vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 43 Hodnoty intenzity difuzního záření

Sluneční čas	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	4,17	0	0	0	0
5	0	0	41,95	54,42	42,76	0	0	0
6	1,55	54,45	78,78	86,52	80,74	56,33	2,56	0
7	54,53	85,72	102,57	108,53	105,50	89,39	58,08	5,91
8	80,23	105,59	119,40	124,55	123,04	110,54	86,82	54,33
9	95,73	119,16	131,50	136,22	135,63	124,99	104,29	77,54
10	105,53	128,20	139,78	144,27	144,24	134,61	115,29	90,62
11	111,05	133,44	144,63	149,02	149,28	140,17	121,49	97,64
12	112,85	135,16	146,24	150,58	150,95	141,99	123,50	99,87
13	111,05	133,44	144,63	149,02	149,28	140,17	121,49	97,64
14	105,53	128,20	139,78	144,27	144,24	134,61	115,29	90,62
15	95,73	119,16	131,50	136,22	135,63	124,99	104,29	77,54
16	80,23	105,59	119,40	124,55	123,04	110,54	86,82	54,33
17	54,53	85,72	102,57	108,53	105,50	89,39	58,08	5,91
18	1,55	54,45	78,78	86,52	80,74	56,33	2,56	0
19	0	0	41,95	54,42	42,76	0	0	0
20	0	0	0	4,17	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Celkové záření dopadající na panely je poté součtem přímého a difuzního záření.

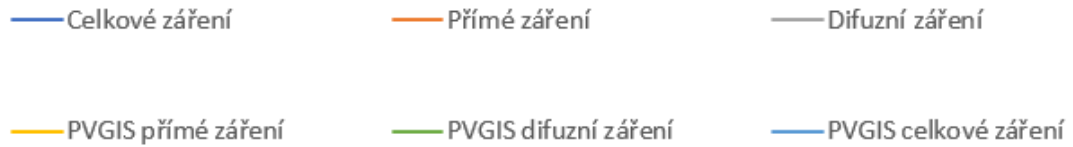
$$I_c = I_D + I_d \quad (44)$$

Hodnoty celkového záření jsou uvedeny v tabulce níže.

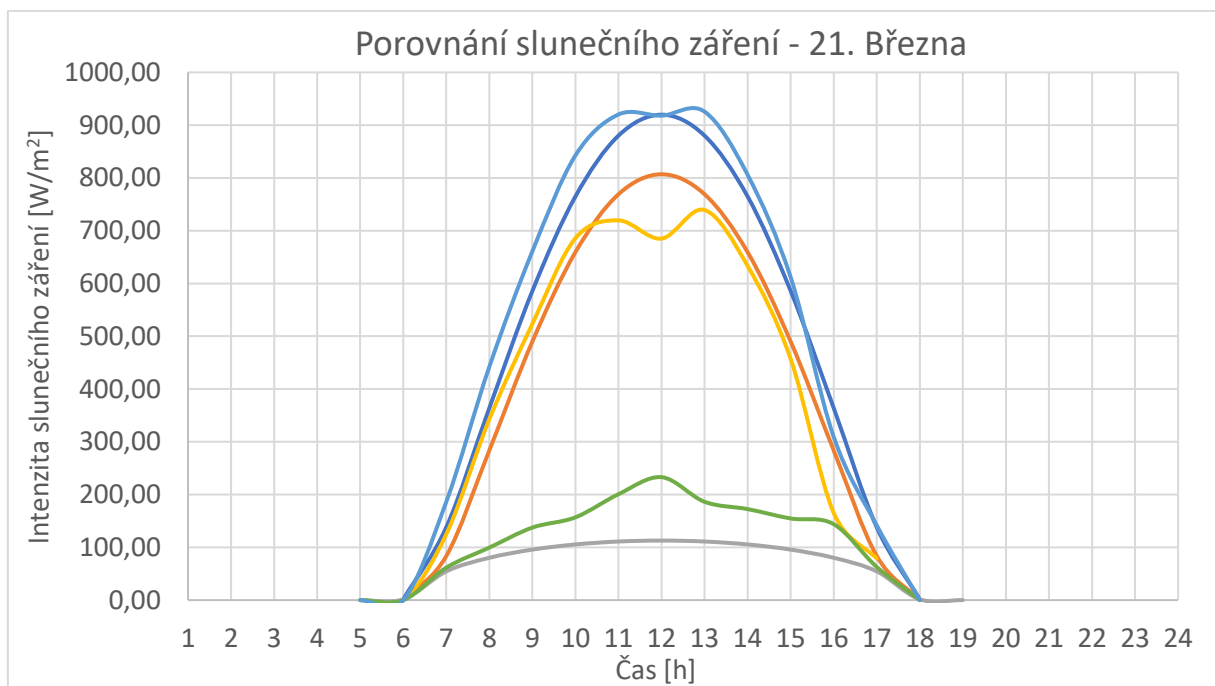
Tab. 44 Hodnoty celkového záření

Sluneční čas	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	4,17	0	0	0	0
5	0	0	82,51	131,78	79,94	0	0	0
6	1,55	104,80	223,04	268,47	218,30	102,06	2,56	0
7	138,12	238,95	322,57	366,73	318,34	232,89	127,97	5,92
8	364,10	455,49	505,39	517,99	497,84	443,41	340,64	186,10
9	585,84	663,45	702,24	709,42	692,03	647,02	553,84	409,97
10	764,88	831,59	860,79	863,43	848,77	812,25	727,60	591,08
11	880,09	940,07	963,02	962,71	949,94	919,07	839,90	707,17
12	919,76	977,48	998,28	996,95	984,85	955,94	878,64	747,07
13	880,09	940,07	963,02	962,71	949,94	919,07	839,90	707,17
14	764,88	831,59	860,79	863,43	848,77	812,25	727,60	591,08
15	585,84	663,45	702,24	709,42	692,03	647,02	553,84	409,97
16	364,10	455,49	505,39	517,99	497,84	443,41	340,64	186,10
17	138,12	238,95	322,57	366,73	318,34	232,89	127,97	5,92
18	1,55	104,80	223,04	268,47	218,30	102,06	2,56	0
19	0	0	82,51	131,78	79,94	0	0	0
20	0	0	0	4,17	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0

Bylo provedeno porovnání výpočtů z normy s výstupy z databáze PVGIS. Pro příklad je níže zobrazeno porovnání průběhu pro měsíc březen. První obrázek ukazuje legendu grafu.

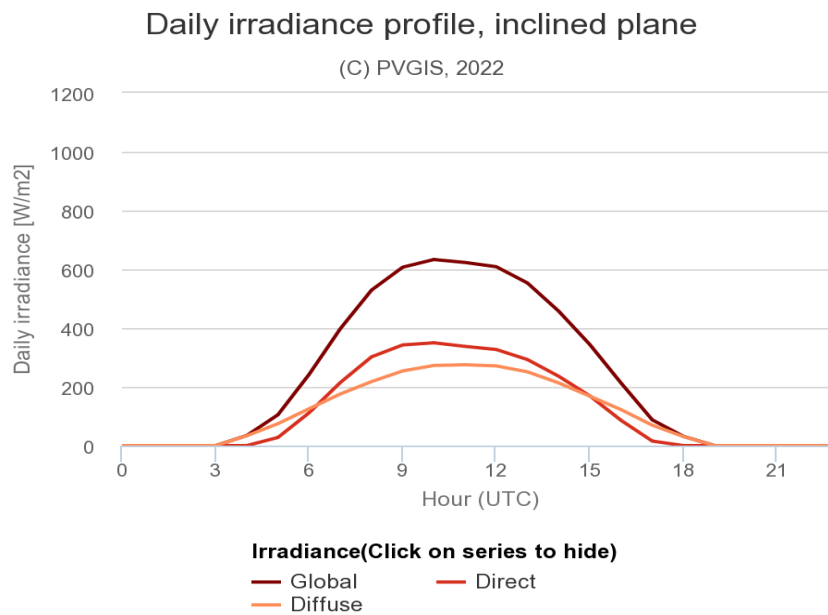


Obr. 21 Legenda grafů validace PVGIS modelu



Obr. 22 Porovnání průběhu sluneční radiace pro 21. březen

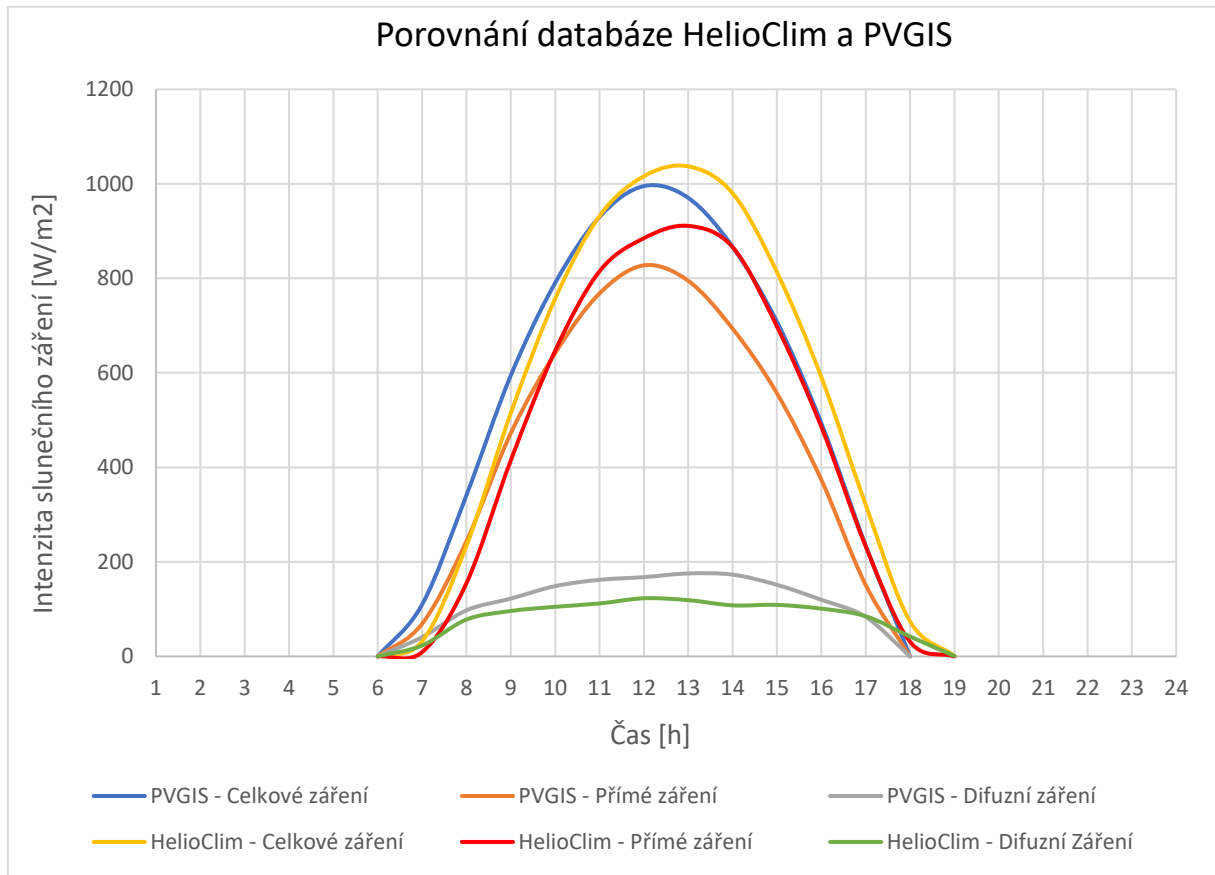
Jak je patrné, reálně naměřené hodnoty se mohou lišit od teoreticky vypočtených hodnot. To je způsobeno vlivy v okolí měření, případným zastíněním objekty v okolí, či oblačností, znečištěním atmosféry. PVGIS ale umí zobrazit i denní křivku hodnot záření zprůměrovaných za zvolený měsíc, ta je zobrazena níže.



Obr. 23 Zprůměrované denní hodnoty záření za měsíc červen [53]

Na takto získané hodnoty má již dočasná oblačnost menší vliv a budou blíže odpovídat teoreticky vypočtenému modelu. Praktickým porovnáním reálného měření zisků elektrické energie z fotovoltaických panelů a dat z databáze PVGIS se zabývala studie [56] v podmínkách v Itálii a studie [57] v podmínkách České republiky. Průměrná odchylka naměřeného slunečního záření a dat z PVGIS byla 3,2 % pro studii [56]. Odchylka odhadu od skutečně vyrobené elektrické energie, viz studie [57], byla pro celý rok -5,7 %. Studie nicméně zároveň uvádí, že pro měsíční hodnoty byla již odchylka výraznější a rozdíl vypočtených a reálně naměřených dat dosáhl maximální odchylky -37 %.

Dále bylo provedeno porovnání databáze PVGIS s databází HelioClim [58]. HelioClim poskytuje data slunečního záření z let 2004–2006. Pro vybrané dny z roku 2005 byla porovnána data z databáze PVGIS a databáze HelioClim. Níže je uvedeno porovnání pro vybraný typový den.



Obr. 24 Porovnání databáze PVGIS a databáze HelioClim 21. březen 2005

Jak je patrné, odchylka mezi databází PVGIS a HelioClim je poměrně malá. Databáze HelioClim udává mírně vyšší hodnoty záření. Odchylka celkového záření, které bude ve výpočtu použito, však není výrazná.

Databáze PVGIS tedy může vykazovat odchylky zejména v kratších časových úsecích, souhrnné hodnoty záření však vykazují malé odchylky a lze tedy považovat data PVGIS za dostatečně relevantní.

7.3 Komponenty fotovoltaického systému

7.3.1 Panely

Panely byly zvoleny od společnosti Systovi. Panely budou spojeny sériově. Technické parametry panelů jsou uvedeny v tabulce níže. [59]

Tab. 45 Technické parametry PVT panelů

Nominální výkon	300	Wp
Napětí při maximálním výkonu W_{mpp}	32,49	V
Proud při maximálním výkonu I_{mpp}	9,42	A
Napětí naprázdno V_{oc}	40,26	V
Zkratový proud I_{sc}	9,94	A
Normální provozní teplota článku (NOCT)	49,3	°C
Koeficient snížené účinnosti při zvýšených teplotách β	-0,369	%/°C
Nominální Účinnost panelu η	18,78	%
Šířka panelu	1020	mm
Výška panelu	1680	mm
Plocha solárních článků panelu	1,63	m ²

Jak již bylo uvedeno, z programu PVGIS byly získány hodinové hodnoty teplot a solárního záření. Při určení zisků elektrické energie ze slunečního záření budeme brát v potaz vliv teploty a snížení účinnosti panelu při nízkých hodnotách záření. Tyto hodnoty je možné zjistit od výrobce panelu. Výrobce udává koeficient, díky kterému je možné přepočítat účinnost panelu pro nominální teplotu okolí na skutečnou teplotu okolí. Uvažované vstupní hodnoty pro výpočet zisků elektrické energie jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 46 Vstupní hodnoty pro výpočet zisků elektrické energie

Nominální elektrická účinnost panelu $\eta_{el.nom}$	18,78	%
Koeficient β pro přepočet účinnosti	0,369	%/°C
Referenční teplota okolí T_{ref}	25	°C
Referenční hodnota ozáření G_{ref}	1000	W/m ²
Pohltivost panelu α_{panel}	0,95	-
Snížení účinnosti panelu při sníženém ozáření $\Delta\eta$ (pro 200 W/m ²)	5	%
NOCT	49,3	°C

Při určení účinnosti panelů v proměnných reálných podmínkách bude použit postup od Matušky [60]. Účinnost v závislosti na teplotě článků je dána rovnicí:

$$\eta_{PVt} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100} \cdot (T_{PV} - T_{ref}) \right) \quad (45)$$

kde T_{PV} je reálná teplota fotovoltaického článku pro daný časový úsek a pro danou hodnotu ozáření. Tuto teplotu je možné zjistit z následujících rovnic. Nejprve uvažujeme podmínky otevřeného obvodu ($\eta_{PV} = 0$), pro které teplotu článku určil výrobce panelu a odpovídá tedy hodnotě uváděné v technickém listu panelu NOCT

$$T_{PV} = NOCT = T_a + \frac{\alpha_{panel} \cdot G_{ref}}{U_{panel}} \quad (46)$$

Kde T_a je venkovní teplota v posuzované době

U_{panel} je součinitel tepelné ztráty panelu do okolí, který můžeme z této rovnice vyjádřit

$$U_{panel} = \frac{\alpha_{panel} \cdot G_{ref}}{NOCT - T_{ref}} \quad (47)$$

Tento součinitel zahrnuje přestup tepla sáláním a prouděním a je závislý na venkovních podmínkách. Při výpočtu tohoto součinitele bude uvažováno, že se podmínky pro přestup tepla sáláním a prouděním mění pouze minimálně a součinitel tak může být uvažován konstantní pro celý rok.

Celková energetická bilance článku odpovídá rovnici:

$$\alpha_{panel} \cdot G = \frac{\eta_{PV} \cdot G}{100} + U_{panel} \cdot (T_{PV} - T_a) \quad (48)$$

Poté je tedy možné stanovit teplotu fotovoltaického článku pro daný časový úsek o daném záření dle následující rovnice:

$$T_{PV} = T_a + \frac{\alpha_{panel} \cdot G_{ref} - \frac{\eta_{PV}}{100} \cdot G_{ref}}{U_{panel}} \quad (49)$$

Do této rovnice je možné dosadit rovnici pro součinitele tepelné ztráty panelu do okolí a tím je rovnice upravena na následující tvar. Zároveň je patrné, že se ve vztahu objevuje η_{PV} , která je ale závislá na teplotě. Jednalo by se tedy o iterační řešení. Při tomto postupu je ale možné dle Matušky [60] použít konstantní η_{ref} , protože rozdíl činí pouze desetiny stupňů celsia. Výsledný vzorec pro stanovení teploty je následující.

$$T_{PV} = T_a + \frac{G}{G_{ref}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{ref}}{100 \cdot \alpha_{panel}} \right) \cdot (NOCT - T_{ref}) \quad (50)$$

Dalším uvažovaným faktorem, který bude snižovat účinnost panelu, je množství záření. Reálnou účinnost panelu v závislosti na množství záření můžeme znázornit pomocí následující rovnice:

$$\eta_{FVG} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + K \cdot \left(\ln \frac{G}{G_{ref}} \right) \right) \quad (51)$$

kde K značí součinitele snížené účinnosti pro daný modul. Tento součinitel bude z této rovnice vyjádřen a stanoven pro naměřené hodnoty úbytku účinnosti panelu. Úbytek účinnosti při ozáření $G = 200 \text{ W/m}^2$ činí $\Delta\eta = 5 \%$.

$$K = \frac{\Delta\eta}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} \quad (52)$$

Pokud se tyto dvě účinnosti η_{PVt} a η_{FVG} dosadí do jedné rovnice, vzniká výsledný vztah, který bude použit pro stanovení účinnosti v hodinových časových úsecích při odpovídajících zářeních a venkovních teplotách pro výpočtové období jednoho roku.

$$\eta_{PV} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100} \cdot \left(T_a + \left(1 - \frac{\eta_{ref}}{100} \right) \cdot \frac{G}{G_{ref}} \cdot (NOCT - T_{ref}) - T_{ref} \right) \right) \cdot \left(1 + K \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) \quad (53)$$

Hodnoty účinnosti budou poté použity ke stanovení zisku elektrické energie z jednoho panelu dle následující rovnice, kde A je plocha solárních modulů panelu a G značí záření. [61]

$$Q_{el} = A \cdot G \cdot \eta_{PV} \quad (54)$$

7.3.2 Střídač

Střídač bude zvolen od značky Fronius. [62] Jedná se o třífázový střídač, který má jeden MPP regulátor. Jeden regulátor je dostačující, jelikož všechny panely jsou stejného typu a budou mít stejný sklon a natočení, budou tedy generovat stejný výkon a je možné je umístit do jedné větve.

Parametry střídače jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 47 Technické parametry Střídače [62]

Vstupní data z FV		
Maximální vstupní výkon	6000	Wp
Maximální vstupní napětí	1000	V
Rozmezí MPPT	200-800	V
Maximální vstupní proud	16	A
Výstupní AC data		
Jmenovitý výstupní výkon	3000	W
Jmenovité výstupní napětí	230	V
Max. výstupní proud	7	A
Účinnost	97	%

K ověření vhodnosti použití tohoto střídače je zvolen následující postup. [63] Nejprve bude ověřeno maximální a minimální množství panelů, které mohou být pro tento střídač použity. Jak již bylo zmíněno, panely jsou řazeny sériově a dle toho bude výstupní napětí z jednotlivých panelů sčítáno, zatímco proud bude v celé větvi stejný. Určení maximálního množství panelů vychází z podmínky $U_{stř.max} > U_{OC}$, tedy maximální dovolené napětí na vstupu panelu musí být větší než napětí z pole panelů. Maximální možný počet panelů pro zvolený střídač je tedy stanoven dle následující rovnice:

$$N_{PVTmax} = \frac{U_{stř.max}}{U_{OC}} = \frac{1000}{40,26} = 24,84 \sim 24 \quad (55)$$

MPP tracker ve střídači je nicméně schopný pracovat v rozmezí 200-800 V.

Optimální maximální počet panelů tak, aby bylo dosaženo dobré účinnosti, je tedy stanoven dle následující rovnice:

$$N_{PVTmax} = \frac{U_{Vmax}}{U_{OC}} = \frac{800}{40,26} = 19,87 \sim 19 \quad (56)$$

Maximální počet panelů pro optimální funkci tohoto střídače je tedy 19. Minimální počet panelů bude opět stanoven z rozsahu napětí, se kterým je MPP tracker schopný pracovat a to dle následující rovnice:

$$N_{PVTmin} = \frac{U_{Vmin}}{U_{OC}} = \frac{200}{40,26} = 4,97 \sim 5 \quad (57)$$

Minimálně by tedy ke střídači mělo být připojeno 5 panelů.

Proud z pole fotovoltaických panelů bude při sériovém zapojení stejný při libovolně zvoleném počtu panelů. Panely jsou stejného typu a mají maximální proud (zkratový) 9,94 A. Maximální vstupní proud střídače je 16 A a podmínka $I_{stř.max} > I_{sc}$ je splněna pro libovolný počet panelů.

Nyní bude uveden přehled parametrů, které by měla mít soustava PVT panelů při zvolení různého počtu panelů v sériovém zapojení. Při výpočtu jsou použity následující rovnice:

$$P_{Soustava} = N_{PVT} \cdot P_{Panel} \quad (58)$$

$$U_{Soustava} = \sum U_{panel} \quad (59)$$

Jedním z dalších kritérií je také posouzení poměrů jmenovitého výstupního výkonu střídače a maximálního výkonu PV soustavy.

Dle Matušky [63] by neměl mít střídač výstupní výkon menší, než 90 % výkonu FV soustavy.

$$0,9 < \frac{P_{ACstř}}{P_{Soustava}} \quad (60)$$

Tab. 48 Výsledky výpočtů pro různý počet panelů

Počet panelů	5	6	7	8	9	10	11
Maximální výkon soustavy	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300
Výstupní maximální napětí ze soustavy panelů	201	242	282	322	362	403	443
Výstupní Proud	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94	9,94
Poměr výkonů Pstřídač / Psoustava	2,00	1,67	1,43	1,25	1,11	1,00	0,91

Pro optimální funkčnost systému by tedy soustava s tímto střídačem neměla obsahovat více než 11 panelů a méně než 5 panelů. Další důležitou součástí střídače jsou ochranné prvky. Součástí tohoto střídače je ochrana proti přepólování, odpojovač DC strany, tedy panelů a ochrana proti přetížení. Tyto prvky tedy již není nutné do soustavy dále integrovat.

7.3.3 Baterie

Pro stanovení požadované kapacity baterie byl vytvořen výpočetní model hodinové spotřeby a výroby elektrické energie. Pro dimenzování optimální kapacity bude použito zprůměrované denní záření za měsíc červen z modelu PVGIS. Za měsíc červen bylo naměřeno nejvyšší průměrné denní záření a rozdíl mezi spotřebou a zisky bude nejvyšší, tedy i potřebná kapacita baterie bude nejvyšší a bude zajištěna dostatečná kapacita i pro nadstandardně ziskové dny v přechodném období. Toto bylo výpočetně také ověřeno. Výpočetní model se skládá z energetických zisků pro zvolený počet 10 panelů, z celkové spotřeby elektřiny objektu pro model spotřeby ve všedních dnech a z momentálního stavu energie v baterii. Když nastává přebytek zisku energie, tak je ukládána do kapacity baterie. Jakmile spotřeba převyší zisky je potřebný rozdíl odebírán z baterie. Zároveň je uvažována účinnost zpětného zisku elektrické energie z baterie 95 %, což odpovídá běžně dosahovaným hodnotám lithiových baterií.

Denní model pro zprůměrované denní záření za měsíc červenec je uveden níže.

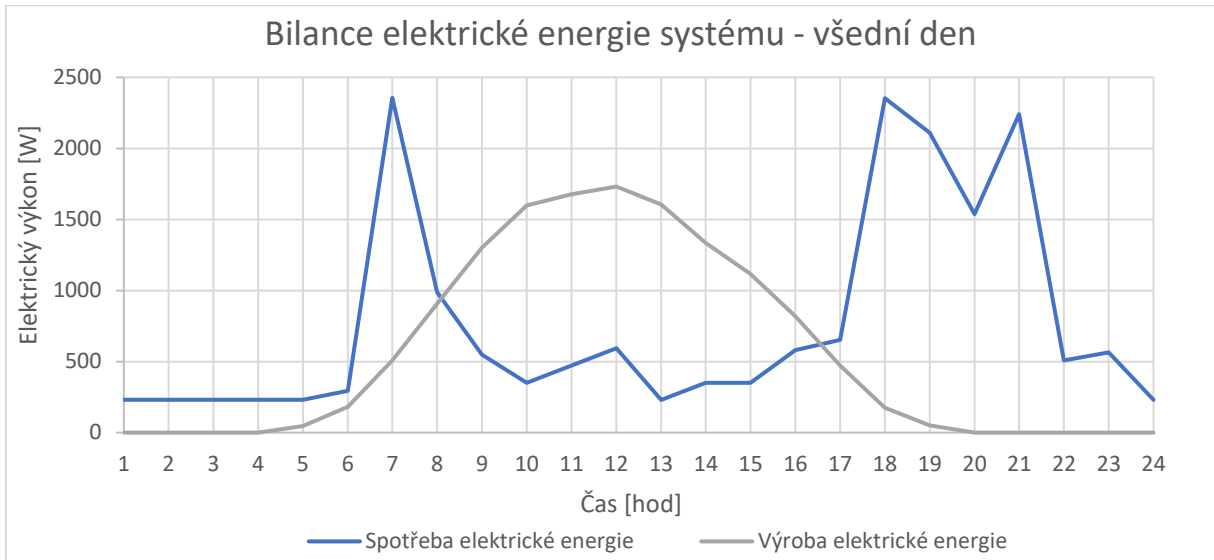
Tab. 49 Model provozu s baterií, průměrné denní záření červen – všední den

Čas	Výroba [Wh]	Spotřeba všední dny [Wh]	Bilance výroba a spotřeba [Wh]	Zůstatek v baterii [Wh]	Konečná bilance [Wh]
1	0	231	-231	0	-231
2	0	231	-231	0	-231
3	0	231	-231	0	-231
4	0	231	-231	0	-231
5	46	231	-185	0	-185
6	181	295	-113	0	-113
7	507	2356	-1848	0	-1848
8	907	988	-81	0	-81
9	1302	548	754	0	754
10	1599	352	1248	754	1964
11	1676	473	1204	1964	3069
12	1731	594	1137	3069	4053
13	1606	230	1376	4053	5226
14	1336	352	984	5226	5949
15	1116	352	764	5949	6416
16	820	580	240	6416	6335
17	472	652	-180	6335	5838
18	176	2353	-2177	5838	3369
19	50	2111	-2060	3369	1140
20	0	1538	-1538	1140	-455
21	0	2241	-2241	0	-2241
22	0	509	-509	0	-509
23	0	564	-564	0	-564
24	0	231	-231	0	-231

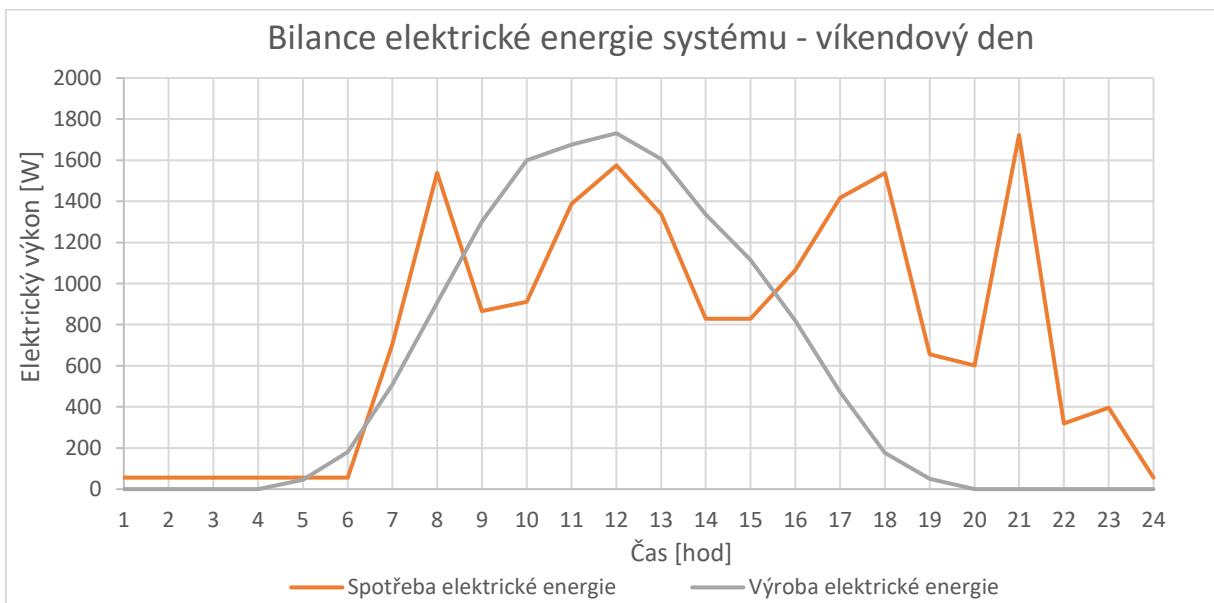
Jak je patrné ze sloupce Zůstatek v baterii, potřebná kapacita baterie je 6416 Wh. Zvolena bude baterie o kapacitě 9,6 kWh Pilontech LiFePO4 Pack 48V.

Tímto bude zajištěno, že veškeré přebytky budou v baterii uchovány i při dnech s nadprůměrným zářením.

Grafické zobrazení bilance výroby a spotřeby elektrické energie tohoto modelu je uvedené níže.



Obr. 25 Bilance elektrické energie systému – všední den



Obr. 26 Bilance elektrické energie systému – víkendový den

7.3.4 Celková účinnost soustavy

Do celkové účinnosti soustavy bude zahrnuta účinnost střídače, joulovy ztráty, ztráty vlivem zašpinění panelů. Tyto hodnoty jsou uvažovány jako konstantní nezávislé na venkovních podmínkách. Účinnost samotných panelů bude záviset na venkovních podmínkách, jak již bylo popsáno. Níže je uveden přehled účinností komponent soustavy.

Tab. 50 Přehled účinností soustavy

Účinnost střídače	0,97
Joulovy ztráty	0,99
Prach	0,94
Nominální účinnost panelů	0,1878
Celková účinnost elektrárny při nominálních podmínkách	0,1677

7.4 Dimenzování FVT soustavy

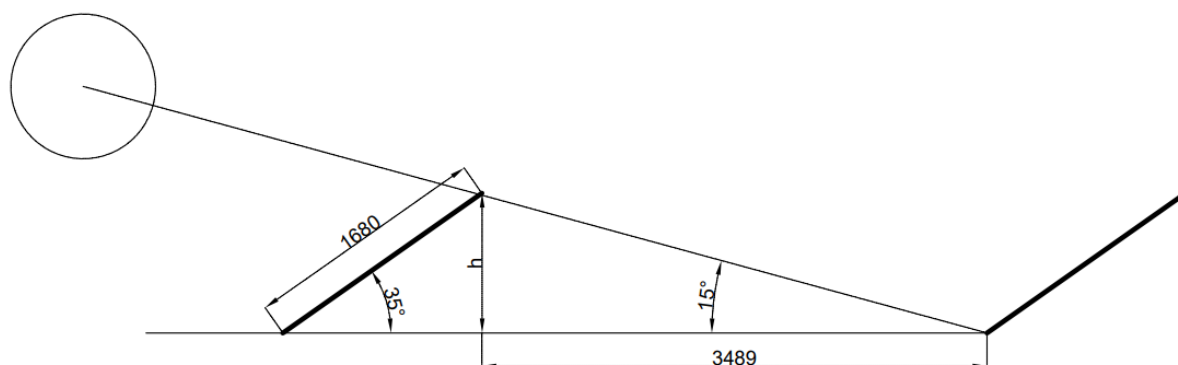
Byla vypočtena vyrobená elektrická energie pro různé počty panelů. Z modelu spotřeb elektrické energie objektu v typových dnech vychází, že k pokrytí spotřeby elektrické energie v přechodném období pro všední den by bylo zapotřebí přibližně 25 panelů, pokud nejsou uvažovány tepelné zisky z hybridních panelů. Jednalo by se tedy o případ pouze fotovoltaických panelů. Níže je uvedena ukázka spotřeby elektrické energie referenční varianty pro jarní typový den a zisky z 25 panelů, které by tuto spotřebu elektrické energie pokryly. Dále jsou uvedeny zisky z 10 panelů, protože to je počet, který bude nakonec zvolen. Zdůvodnění je uvedeno dále v této kapitole.

Tab. 51 Přehled spotřeby elektrické energie referenční varianty pro typový jarní den

Čas	Celková spotřeba elektřiny [kWh]	Zisky elektrické energie z 25 panelů. [kWh]	Zisky elektrické energie z 10 panelů [kWh]
1	1,105	0	0
2	1,129	0	0
3	1,153	0	0
4	1,177	0	0
5	1,149	0	0
6	1,185	0,458	0,183
7	2,578	1,773	0,709
8	1,559	3,470	1,388
9	1,079	4,918	1,967
10	0,801	6,521	2,608
11	0,853	2,619	1,048
12	0,904	2,038	0,815
13	0,638	4,967	1,987
14	0,753	3,361	1,344
15	0,787	1,330	0,532
16	1,051	0,636	0,254
17	1,231	1,327	0,531
18	2,874	0,161	0,065
19	2,782	0	0
20	2,018	0	0
21	2,475	0	0
22	1,401	0	0
23	1,468	0	0
24	1,149	0	0
	33,298	33,579	13,432

Celkový počet 25 panelů nelze na střechu umístit. Maximální počet panelů, které mohou být umístěny na střeše je omezen vlivem zastínění řad panelů mezi sebou. Zastínění je vypočteno následujícím způsobem.

Na obrázku jsou znázorněny rozměry a úhly použité ve výpočtu:



Obr. 27 Zastínění panelů

Nejprve je vypočtena výška nakloněné roviny panelu

$$h = \sin 35^\circ \cdot 1680 = 0,964 \quad (61)$$

Dále je zvolen čas, pro který bude navržena vzdálenost mezi panely taková, aby nedocházelo k zastínění. Při zimním slunovratu je slunce nejnižší nad obzorem. K němu dochází 21. prosince. Pro tento den byla stejným postupem jako v kapitole validace modelu PVGIS vypočtena dráha slunce, tedy azimut a úhel slunce nad obzorem - zobrazeno v tabulce níže.

Tab. 52 Úhel nad obzorem a azimut pro 21.12.

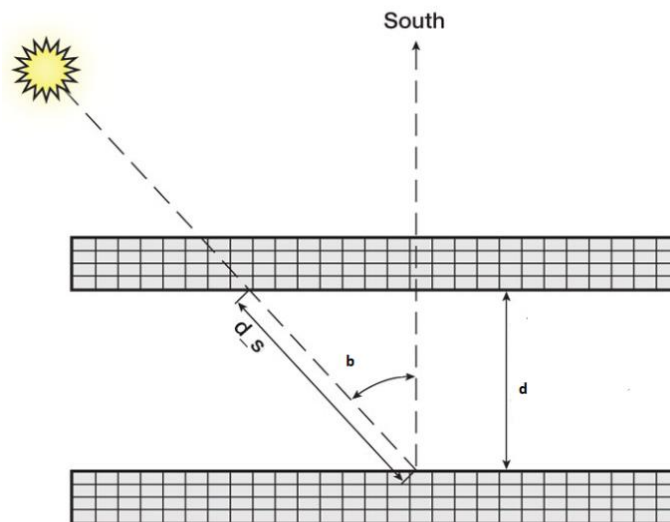
Čas	Úhel slunce nad obzorem [°]	Azimut [°]
1	-61	-29
2	-55	-52
3	-46	-70
4	-37	-83
5	-27	-85
6	-18	-74
7	-9	-64
8	-1	-53
9	6	-41
10	12	-28
11	15	-14
12	17	0
13	15	14
14	12	28
15	6	41
16	-1	53
17	-9	64
18	-18	74
19	-27	85
20	-37	83
21	-46	70
22	-55	52
23	-61	29
24	-63	0

Nyní je nutné určit, jaké zastínění je přípustné. Při volbě nulového zastínění by se na střechu objektu vešla jenom jedna řada panelů, takový návrh není ekonomicky výhodný. Vhodný kompromis představuje návrh částečného zastínění do 11 h, kdy je slunce 15° nad obzorem. V přechodných ročních obdobích tento úhel nastává již mezi 7–8 hodinou a panely tak budou již v tuto hodinu generovat maximální možné množství energie, a zároveň je možné při této volbě umístit na střechu objektu další řadu panelů, jak bude následujícími výpočty dokázáno.

Při volbě nezastíněného panelu, když je slunce 15° nad obzorem by vzdálenost mezi panely byla vypočtena dle vzorce:

$$d_s = \frac{h}{\operatorname{tg} h_s} \quad (62)$$

kde d_s je vzdálenost mezi panely a h_s je úhel slunce nad obzorem. Tato vzdálenost však platí pro případ, kdy má slunce sluneční azimut rovný nule. Je nutné provést korekci na azimut. Slunce bude v návrhový čas pod úhlem b od přímky k jihu, jak znázorňuje následující obrázek.



Obr. 28 Minimální vzdálenost řad panelů [64]

Skutečná minimální vzdálenost mezi řadami panelů tak bude přepočtena pomocí azimutu následujícím vztahem:

$$d = \cos b \cdot d_s \quad (63)$$

Tato vzdálenost pak vychází 3,489 m. Při této vzdálenosti je možné na střechu objektu umístit dvě řady panelů. Na šířku je možné umístit na střechu 5 panelů v řadě. Maximální možný počet panelů umístěný na střechu 2.NP je tedy 10. Další panely by bylo možné umístit na střechu 1.NP, ta je však využívána jako terasa objektu, navíc by docházelo k zastínění vlivem

2.NP. Další panely by bylo možné umístit na vnější stěny objektu. Toto řešení však přináší technické komplikace. Panely s jiným sklonem musí být zapojeny do další větve, protože budou pod jiným napětím, střídač takového systému musí mít tedy MPPT regulátory pro dvě větve a investiční náklady takového střídače jsou vyšší. Panely pod sklonem 90° zároveň generují menší množství elektrické energie. Obvodové zdi musí být také přizpůsobeny pro instalaci. Z těchto důvodů bude v této práci zvoleno umístění panelů pouze na střechu 2.NP a výsledný počet panelů je tedy 10. Zisky elektrické energie 10 panelů vypočtené z hodinových časových intervalů v průběhu celého roku byly sečteny po jednotlivých měsících a jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 53 Zisky elektrické energie

Měsíc	Vyrobená elektrická energie [kWh]
Leden	121,92
Únor	198,54
Březen	360,55
Duben	358,54
Květen	376,75
Červen	493,11
Červenec	444,36
Srpen	355,64
Září	305,91
Říjen	173,72
Listopad	84,68
Prosinec	76,10
Celkem	3349,80

8 Vzduchotechnika v rodinných domech

Pro zajištění optimálního hygienického prostředí v rodinných domech je důležitou součástí technického řešení budovy i zajištění výměny vnitřního vzduchu v požadované míře. Negativní vliv na lidské zdraví mají látky jako CO_2 , těkavé organické látky (VOC) nebo i nadměrné množství vodní páry. Dalším faktorem, který ovlivňuje řešení vzduchotechnického systému, jsou stále zvyšující se požadavky na tepelně technické vlastnosti budov a stavebních konstrukcí, v rámci kterých je také kladen důraz na neprůvzdušnost. V minulosti bylo částečné větrání zajištěno také infiltrací okenními spárami a netěsnostmi, nicméně novější konstrukce již mají mnohem lepší neprůvzdušnost a větrání tak dle normy nemůže být zajištěno touto cestou. Nové budovy by tak měly mít zajištěnou řízenou výměnu vzduchu, aby se předešlo zvýšené koncentraci škodlivin, vlhkosti a plísní. Doporučené větrání budov určuje norma ČSN EN 15665/Z1 [65] [66] platná od roku 2011, která definuje pojem intenzita větrání, což je poměr objemového přiváděného čerstvého venkovního toku vzduchu ku objemu vnitřního větraného prostoru. Hlavním účelem vzduchotechnických systémů dle této normy je řízený trvalý přísun venkovního vzduchu a minimální intenzita větrání o přibližné hodnotě $0,3 \text{ h}^{-1}$ pro obytné místnosti, popřípadě hodnoty $0,5 - 0,7 \text{ h}^{-1}$ pro místnosti se zvýšenými nároky na kvalitu ovzduší. Alternativně může být přísun vzduchu vztažen na počet osob, avšak s podmínkou, že budou dodrženy hodnoty minimální intenzity větrání. V případě, kdy budovy nejsou po delší dobu užívány, je přípustné snížit intenzitu větrání na hodnotu $0,1 \text{ h}^{-1}$ objemu venkovního vzduchu ku vnitřnímu objemu celého domu. [65] [66]

Tab. 54 Požadavky na větrání obytných prostor dle normy ČSN EN 15665/Z1 [65] [66]

Požadavek	Trvalé větrání Průtok venkovního vzduchu		Nárazové větrání Průtok odsávaného vzduchu		
	Intenzita větrání [h^{-1}]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$]	Kuchyně [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Koupelny [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	WC [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Průtok odváděného vzduchu při trvalém větrání stanoveného dle tabulky výše odpovídá dle normy průtoku přiváděného vzduchu. Stejně tak odvod vzduchu z kuchyně odpovídá přiváděnému vzduchu, nicméně v případě poměru odváděného vzduchu z WC a koupelny (Hygienické zázemí) se dle normy doporučuje poměr 1:2. [65] [66]

Norma doporučuje přívod vzduchu do obytných místností (obývací pokoje, dětské pokoje, ložnice) a kuchyní, poté případný odvod z obytných místností do hygienického zázemí a konečný odvod vzduchu z budovy z prostor kuchyně a hygienického zázemí. Pro převod vzduchu z obytných místností do hygienického zázemí slouží takzvané převáděcí otvory (spáry pod dveřmi, stěnové otvory). Převáděcí otvory se doporučuje dimenzovat na rychlost proudění v čistém průřezu $w < 0,5$ m/s. V kuchyních by se nad varnými plochami měly instalovat odsávací zákryty (digestoře) včetně filtrů pro nárazové větrání v případě potřeby. Odvod tohoto vzduchu by měl být realizován samostatným vzduchovodem. Odsávaný vzduch musí být z budovy vyveden v dostatečné vzdálenosti od nasávacího otvoru a od zdrojů přirozeného větrání, tedy od oken. [65] [66]

8.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání je zapříčiněno rozdílem tlaků, který může být způsoben působením sil venkovního větru nebo rozdílem vnitřních a venkovních teplot. V případě rozdílu tlaků vlivem větru je přetlak na návětrné straně domu, a naopak podtlak na závětrné straně budovy. Vzduch se pak do budovy dostává netěsnostmi v konstrukci a výměna vzduchu bude úměrná rychlosti větru. V případě rozdílných teplot, je pohyb vzduchu způsoben rozdílem tlaků vlivem rozdílných hustot při odlišných teplotách. Teplejší vzduch bude proudit vzhůru, zatímco chladnější vzduch se bude držet dole. Vlivem netěsností pak bude teplý vzduch unikat z budovy, což způsobí podtlak a sání studeného vzduchu z venkovního prostředí do budovy. V obou případech tak objem vyměněného vzduchu záleží na vnějších nekontrolovatelných faktorech a je velmi obtížné tuto hodnotu i změřit. Další nevýhodou je, že není možné použít systém rekuperace tepelné energie vnitřního vzduchu, a dochází tak k výrazným tepelným ztrátám. [67]

8.2 Nucené a řízené větrání

Rozlišujeme mezi pojmy řízeného větrání a nuceného větrání. V případě řízeného větrání je uživatelem určena doba větrání, ale není pod kontrolou množství vyměněného vzduchu, zatímco u nuceného větrání je pod kontrolou uživatele jak doba výměny, tak množství. Dále můžeme rozlišovat tři typy nuceného větrání, a to konkrétně podtlakové, hybridní a nucené rovnotlaké. [65] [67] [66]

8.2.1 Podtlakové větrání

U podtlakového větrání je ventilátor používán k odvodu vzduchu z budovy. Ventilátor může být jeden centrální, nebo více lokálních. Ventilátor musí mít dostatečný výkon k zajištění dostatečného odvodu vzduchu dle požadavků i s uvažováním tlakových ztrát v příváděcích otvorech a potrubích. Ventilátor by měl být vybaven regulací otáček, případně přívod vzduchu, který je realizován přívodními otvory, by měl mít nastavitelný průtok vzduchu. Přívodní otvory by měly být umístěné nad otopnými tělesy a v případě velkoplošného sálavého vytápění, jakým je například podlahové vytápění, je doporučeno umístit přívodní otvor pod stropem. Důvod umístění je zřejmý, a to, aby chladný vzduch proudící do místnosti byl zahříván a nezpůsobil tak lokální nepohodu v blízkosti přívodních otvorů. Přívodní otvory by také měly být vybaveny filtry a případně tlumiči hluku. [65] [66]

8.2.2 Hybridní větrání

Tento typ zajištění požadované výměny vzduchu se zakládá na již sofistikovanějším řešení a bere v potaz i provozní režim budovy. Účelem tohoto systému větrání je minimalizovat energetické ztráty při udržení maximální možné kvality ovzduší. Tento systém je kombinací přirozeného a nuceného větrání a regulace je založena na aktuálním požadavku přísunu čerstvého vzduchu pomocí měření koncentrace CO₂. [65] [66]

8.2.3 Nucené rovnotlaké větrání

Tento systém větrání se používá v místech, kde není vhodné použití podtlakového systému z důvodu nadměrného hluku nebo znečištění ovzduší v okolí objektu. Větrací jednotka na přívodu vzduchu z okolí by měla mít filtraci a predehřívání. Obvykle se používá rekuperační výměník na zpětné získávání tepla (ZZT). [65] [66]

8.3 Zpětné získávání tepla

Jako zpětné získávání tepla, se označuje využití tepla vzduchu odcházejícího z budovy k ohřevu vzduchu proudícího z venkovního prostoru do budovy. Zpětné získávání tepla nabývá na důležitosti spolu se zvýšenými nároky na energetickou efektivitu budov a je možné zpětně získat až 90 % energie, která by jinak byla vypuštěna do atmosféry. K přenosu tepla ve vzduchotechnice se obecně používají dva typy výměníků, rekuperační a regenerační.

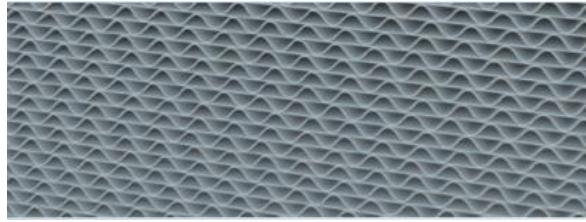
8.3.1 Rekuperační výměníky tepla ve vzduchotechnice

V rekuperačním výměníku je teplo přeneseno přímo z proudu teplého vzduchu do chladného, přičemž obě média jsou oddělena nepropustnou stěnou. Tento typ výměníků se obvykle používá v systémech s menšími průtoky vzduchu, typicky pro rodinné domy či menší provozní objekty. Výměníky mohou mít různé konstrukční provedení a také různé dělení. Je možné je dělit dle toku vzduchu na křížové, kde jsou toky navzájem kolmé a dále na výměníky s paralelními toky, kde jsou toky vzduchu navzájem rovnoběžné. Křížové výměníky mají účinnost 40–80 %, ale mohou být vylepšeny zvětšením plochy výměníku o část, kde jsou toky paralelní protiproudé. V takovém případě lze dosáhnout až 95 % účinnosti, avšak cena těchto výměníků je vzhledem k větší teplosměnné ploše a tedy i většímu množství materiálu vyšší. [68]

Mohou nastat podmínky, kdy je nevhodné výměník provozovat. Pro tyto případy je výměník osazený obtokem (bypassem), který přiváděný vzduch vede mimo výměník, tedy z venkovního prostředí přímo do budovy. [68]

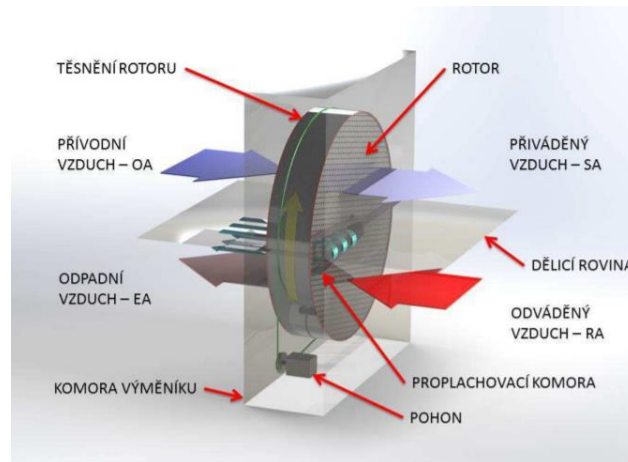
8.3.2 Regenerační výměníky tepla ve vzduchotechnice

V regeneračním výměníku ohřívá vzduch akumulaci látku a poté je vypuštěn do atmosféry. Akumulační látka poté přichází do kontaktu s chladným proudem vzduchu proudícím z venkovního prostoru a předává mu tepelnou energii. Následně je akumulaci látka opět přivedena do kontaktu s ohřátým vzduchem a proces se opakuje. Konstrukčně může být ve vzduchotechnice tento výměník řešen jako oběžné kolo poháněné elektromotorem. Rotor má kanálky, které mohou mít v průřezu různé tvary, ale nejčastějším provedením je kombinace rádlovaného a rovného plechu. Na následujícím obrázku je zobrazen profil rotoru.



Obr. 29 Profil rotoru [69]

Rotor výměníku je vyroben z hliníkové fólie pro lepší přenos tepla. V případě, že je výměník umístěn v agresivním prostředí, je hliníková fólie ještě pokryta epoxidovou vrstvou. Výměník může být také použit k regulaci vlhkosti. Pro přenos vlhkosti je na rotor nanesena látka umožňující přenos vlhkosti. Používá se například silika gel, který ovšem přenáší i případné pachy. Případně může být použitý Zeolit, který má v sobě dutiny o předem definovaných rozměrech, obvykle kolem $4 \cdot 10^{-10} \text{m}$, a je schopný přenášet vlhkost, ale ne pachy neboť molekuly nejběžnějších pachů mají velikost $7 \cdot 10^{-10} \text{m}$ a více. Výměníky, které nemají žádnou úpravu pro přenos vlhkosti, zpětně přenášejí cca 15 % vlhkosti z důvodu kondenzace vlhkosti z teplého vzduchu budovy na chladný povrch rotoru a následného přenosu vlhkosti do ohřívaného proudu vzduchu z venkovních prostor. Rotor je uložen v kuličkových, případně v kuželíkových ložiskách. Rám výměníku může být vyroben z pozinkovaného plechu spojeného šrouby, nýty, nebo je svařen. AC elektromotor je spojen s oběžným kolem pomocí řemenic a řemene. Otáčky mohou být konstantní nebo proměnné. Proměnné otáčky jsou nastavitelné pomocí frekvenčního měniče a obvykle se jejich hodnota pohybuje okolo $10\text{--}15 \text{ min}^{-1}$. Otáčky rotoru mohou a nemusí být regulovatelné automaticky. V případě automatického regulování je nutné do systému integrovat řídicí regulátor. Regulace otáček se používá k regulaci výkonu výměníku, nicméně regulace výkonu je omezená, protože cca 80 % nominálního výkonu výměníku je dosaženo již při minimálních otáčkách. Výměníky dosahují poměrně dobrých účinností pohybujících se okolo 80–90 %. Na dalším obrázku je rotační regenerační ZZT výměník. [70] [71] [69]



Obr. 30 Rotační regenerační výměník tepla [72]

9 Návrh vzduchotechnického systému

9.1 Technický popis rozvodů vzduchu

Navržený vzduchotechnický systém bude rovnotlaký s nuceným přívodem a odvodem vzduchu. Rozvodové potrubí bude mít kruhový průřez o průměru 160 mm. Systém bude mít také zpětné získávání tepla pomocí rekuperačního výměníku umístěného v rekuperační jednotce.

Celkem budou použity dva vzduchové okruhy pro obě nadzemní podlaží zvlášť. Vzduch obou okruhů bude nasáván z okolí do hybridních fotovoltaických panelů umístěných na střeše (jeden okruh do 5 panelů – spodní podlaží a druhý okruh do 5 panelů – horní podlaží). Vzduch bude předeříván teplem produkovaným panely. Poté bude vzduch veden do vnitřní části objektu. Rozvodové potrubí bude ve venkovní části objektu izolováno. Aby se zamezilo zatékání vody do skladby střechy, bude vedení vzduchu napojeno na obvodovou stěnu. Poté bude vzduch nasáván do rekuperační jednotky. V rekuperační jednotce je nasávaný čerstvý vzduch ohříván odpadním odsávaným vzduchem z vnitřní části objektu. Součástí rekuperačních jednotek jsou i ventilátory, které zajišťují nucený tok vzduchu. Rekuperační jednotky jsou umístěné v hygienických zařízeních, kde není omezení z hlediska emisí hluku. V 1. NP bude jednotka umístěna v podhledu, který bude v hygienickém zařízení vytvořen. V 2. NP bude jednotka umístěna v SDK podhledu, který je již součástí objektu a stejným způsobem budou řešeny i rozvody vzduchu ve vnitřní části objektu. V rekuperační jednotce

bude také vzduch filtrován. Z rekuperační jednotky bude vzduch veden do rozváděcí komory a z ní do stěn jednotlivých místností objektu. V hygienických zařízeních a v kuchyni bude vzduch odsáván. Odsávání vzduchu z hygienických zařízení bude řešeno jako podstropní. V kuchyni bude odsávání umístěno ve stěně a nebude propojeno s lokálním odsáváním v digestoři, protože takové řešení by značně zvyšovalo nároky na údržbu i provozní náklady. Jako vnitřní koncové prvky rozvodů vzduchu budou talířové ventily.

V následující tabulce je rozepsaná výměna vzduchu pro jednotlivé místnosti rodinného domu. Výměna vzduchu je navržena dle normy, tedy $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 m^3 objemu místnosti. Důležitá je také rychlost proudění v potrubí. Pokud je rychlost v potrubí příliš vysoká, dochází k vibračním potrubí a tím k nežádoucím emisím hluku. Rychlost proudění vzduchu by v obytných místnostech neměla překročit $1,5 \text{ m/s}$.

Tab. 55 Přehled požadované výměny vzduchu

Označení místnosti	Funkce místnosti	V místnosti [m ³]	Výměna - Trvalé větrání, průtok vzduchu [m ³ /h]	Rychlost vzduchu v potrubí [m/s]
1.NP				
1.01	Zádveří	10,494	3,148	0,145
1.02	WC	5,724	1,717	0,079
1.03	Kuchyně	20,034	6,010	0,277
1.04	Obývací pokoj	88,243	26,473	1,219
1.05	Chodba	9,401	2,820	0,130
1.06	Technická místnost	8,448	2,534	0,117
1.08	Koupelna	12,164	3,649	0,168
1.09	Pokoj	27,825	8,348	0,384
1.10	Ložnice	40,346	12,104	0,557
Celkem za 1. NP		222,679	66,804	3,076
2.NP				
2.01	Chodba	11,443	3,433	0,047
2.02	Koupelna	12,764	3,829	0,053
2.03	Zádveří	8,904	2,671	0,037
2.04	Pokoj	29,942	8,983	0,124
2.05	Ložnice	36,110	10,833	0,150
2.06	Pokoj	18,730	5,619	0,078
2.07	Šatna	5,128	1,538	0,021
Celkem za 2. NP		123,020	36,906	0,510
Celkem budova		345,700	103,710	

9.2 Ověření funkčnosti ventilátorů

Ventilátor musí být dimenzovaný tak, aby byly pokryty tlakové ztráty potrubí. Postup je navržen dle [73] a [74]. Rekuperační výměník obsahuje dva ventilátory, jeden pro přívod a jeden pro odvod vzduchu. Vhodnost návrhu vyplývá z důvodu delších rozvodů přívodního potrubí a tedy větších tlakových ztrát. Ověření a příslušné charakteristiky budou provedeny pro 1.NP i 2.NP, ale postup bude uvedený jen pro přívod vzduchu do 1.NP.

V tabulce níže jsou uvedeny hodnoty, které budou při výpočtu použity.

Tab. 56 Vstupní hodnoty výpočtu ventilátoru

Průměr potrubí d_{VZT}	0,16	m
Délka potrubí l	31,476	m
Drsnost potrubí k	0,15	m
Hustota vzduchu ρ	1,269	kg/m ³
Průměrná teplota vzduchu	9,84	°C
Rychlost proudění vzduchu w	1,464	m/s
Viskozita kinematická ν	0,0000133	m ² /s

9.2.1 Ztráta třením v potrubí

Prvním krokem je výpočet Reynoldsova čísla dle vzorce:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = 18\,502 \quad (64)$$

Dle Reynoldsova čísla je proudění turbulentní. Pomocí Moodyho rovnice uvedené v [75], která je platná pro Reynoldsova čísla od 4000 do 10^8 , bude dále vypočten součinitel tření v potrubí

$$\lambda_{VZT} = 0,0055 \cdot \left(1 + \left(2 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{k}{D} \right) + \left(\frac{10^6}{Re} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \right) = 0,152 \quad (65)$$

Ztráta třením v potrubí bude poté vypočítána pomocí následujícího vztahu:

$$\Delta p_{tř} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 44,8 \text{ Pa} \quad (66)$$

9.2.2 Ztráta místními odpory

Pro výpočet tlakových ztrát místními odpory je nutné znát součinitele místních ztrát ζ . Tyto hodnoty byly voleny z [76] pro koleno a pro rekuperační křížový výměník ze studie [77]. Součinitel pro rozdělovač byl odhadnutý. Hodnoty těchto součinitelů jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 57 Součinitele místních ztrát

Prvek	ζ [1]	Počet prvků
Koleno°	0,5	13
Výměník	20	1
Rozdělovač	10	2

Tlaková ztráta je poté dána rovnicí:

$$\Delta p_{mo} = \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (67)$$

Celková ztráta potrubí je dána součtem třecí ztráty potrubí a ztráty místními odpory.

9.2.3 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě

Pro vykreslení charakteristiky ventilátoru a potrubní sítě a posouzení vhodnosti návrhu ventilátoru je nutné vyjádřit celkovou tlakovou ztrátu v závislosti na objemovém průtoku potrubím. V rovnici celkové tlakové ztráty

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho + \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (68)$$

bude dosazeno za rychlost z rovnice

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot w \quad (69)$$

a výsledná rovnice závislosti celkové tlakové ztráty na objemovém průtoku potrubím je následující:

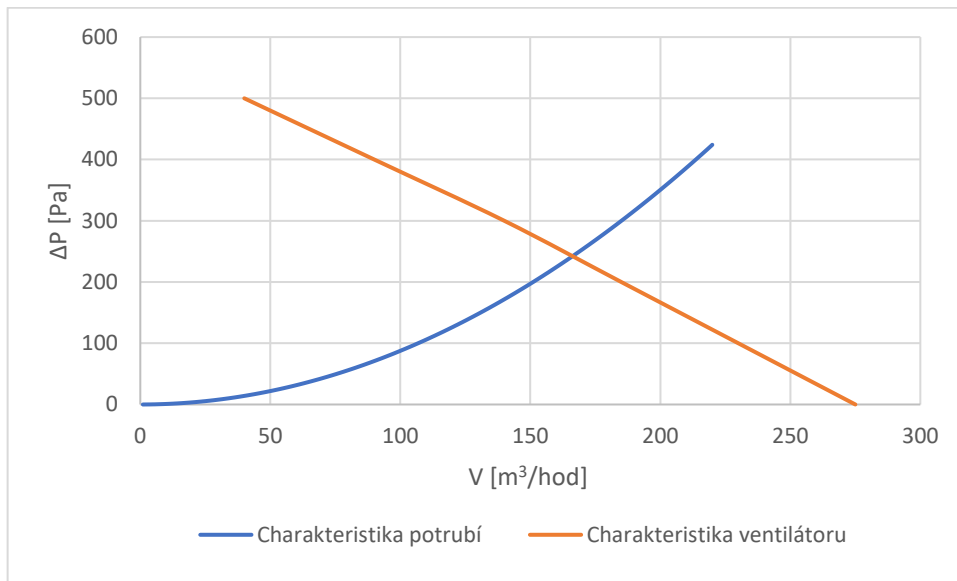
$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{8 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d^4} \cdot V^2 \quad (70)$$

Tímto je dána charakteristika potrubí. Charakteristika ventilátoru je dána od výrobce [78] a hodnoty jsou uvedeny níže.

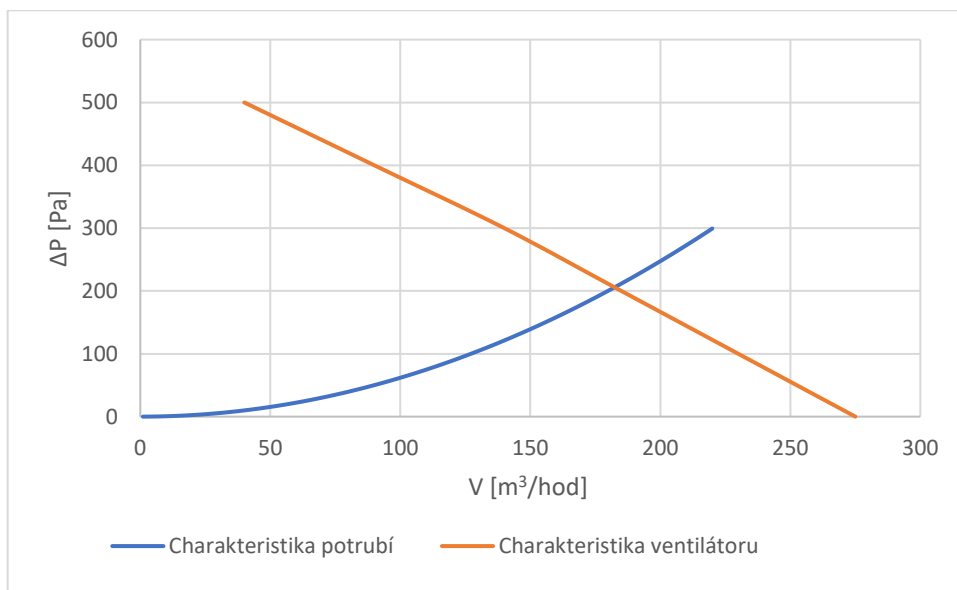
Tab. 58 Charakteristika ventilátoru

Objemový tok vzduchu	40	90	140	185	230	275
Tlaková rezerva	500	400	300	200	100	0

Výsledné posouzení návrhu je poté patrné z následujících obrázků.



Obr. 31 Charakteristika přívodního potrubí 1.NP a ventilátoru



Obr. 32 Charakteristika přívodního potrubí 2.NP a ventilátoru

V místě průsečíku křivek je pracovní bod ventilátoru pro posuzovaný systém. Ventilátor by byl schopný pohánět větší množství vzduchu, než je potřeba a návrh tedy má i určitou rezervu. Pro dosažení požadovaného průtoku může být vzduch škrcen regulačními klapkami. Při tomto způsobu regulace dochází ke ztrátám. Z energetického hlediska je optimální řídit otáčky ventilátoru, čímž se změní charakteristika ventilátoru a příslušný pracovní bod dle požadovaného průtoku. Dle výrobce je možné řídit otáčky ventilátoru v rekuperačním výměníku a pracovní bod tak bude přizpůsoben požadovanému průtoku.

9.3 Komponenty vzduchotechnického systému

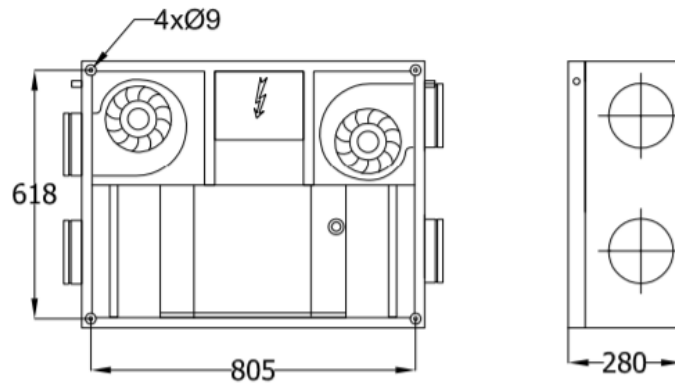
Komponenty jsou převzaty z [78]. Venkovní koncový prvek bude protidešťová stříška zobrazená na obrázku níže.



Obr. 33 Protidešťová stříška [78]

Dalším prvkem je rekuperační jednotka. Rekuperační jednotka bude použita zvlášť pro každé nadzemní podlaží, celkem tedy 2 kusy. Rekuperační jednotky obsahují protiproudý rekuperační výměník včetně by-passu, ventilátory poháněné pomocí EC synchronních elektromotorů. Tyto motory jsou použity kvůli vysoké životnosti, nízké hlučnosti a nižším investičním nákladům. V rekuperační jednotce dochází ke kondenzaci vody při ochlazení teplého vzduchu z vnitřního prostředí. Součástí rekuperační jednotky je tedy také odvod kondenzátu ze stěn výměníku do kanalizace.

Další součástí rekuperační jednotky jsou filtry. Filtry vzduchotechniky se dělí do tříd v závislosti na požadované filtrační schopnosti. Pro použití v běžných rodinných domech, které nejsou výrazně zatížené smogem, nebo v případech, kdy osoby obývající rodinný dům nejsou silně alergické na pyly, je doporučeno instalovat filtry třídy G4. Tyto filtry jsou schopné zachytit nečistoty jako listí, hmyz a v omezené míře i pyly a mlhy. Filtry jsou konstrukčně rámečkové a jejich výměna je potřeba za 2-3 měsíce. Výkres rekuperační jednotky je zobrazen níže.

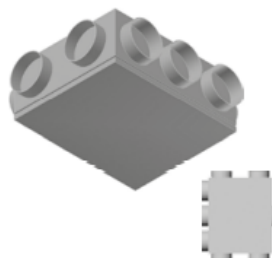


Obr. 34 Rekuperační jednotka[78]

Tab. 59 Parametry rekuperační jednotky[78]

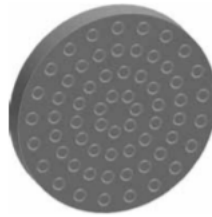
Průtok vzduchu	0–230	m ³ /hod
Akustický výkon do okolí	55	dB
Účinnost rekuperace	80	%
Šířka	850	mm
Výška	660	mm
Průměr přípojovacích hrdel	160	mm
Hmotnost	20	kg
Napájení	230	V
Použitý filtr	G4	-
Odvod kondenzátu	6x14	mm

K rozdělení tras uvnitř objektu budou použity rozdělovací komory. Nepoužité výduchy budou zavřeny koncovým uzavíracím prvkem.



Obr. 35 Rozdělovací komora [78]

Regulace průtoku v jednotlivých potrubních trasách bude zajištěna regulačními vložkami.



Obr. 36 Regulační vložka [78]

Jako koncové prvky vnitřní části odtahu a přívodu vzduchu budou použity standardní talířové ventily. Prvek přívodu čerstvého vzduchu je na obrázku níže vlevo. Prvek odvodu vzduchu je na obrázku níže vpravo.



Obr. 37 Koncové prvky [78]

10 Přepočít energetické bilance pro systém s rekuperací

Dále bude vypočtena energetická bilance při využití rekuperace.

Je uvažována intenzita větrání 0,3 1/h, tedy stejná intenzita jako pro případ bez rekuperace. Rekuperace je rovnotlaká a hmotnostní průtok je stejný pro přírodní i odpadní vzduch. Nejprve bude vypočtena výstupní teplota z rekuperačního výměníku pro návrhovou venkovní teplotu -15°C . Účinnost rekuperačního výměníku η_{rv} je uvažována jako 50 %. Výstupní teplota čerstvého vzduchu je poté vypočtena dle následujícího vzorce:

$$T_{reko} = \eta_{rv} \cdot (T_{rekin} - T_a) + T_a = 2,7^{\circ}\text{C} \quad (71)$$

Z databáze PVGIS byly získány venkovní teploty v hodinových intervalech pro celý rok a také průměrné teploty za jednotlivé měsíce. Z těchto hodnot pak byla, jak v hodinových, tak i v měsíčních intervalech, vypočtena výstupní teplota z rekuperace. Byla uvažována konstantní střední vnitřní teplota vzduchu $20,35^{\circ}\text{C}$. Níže jsou uvedeny výstupní teploty z rekuperace v měsíčních intervalech.

Tab. 60 Měsíční teploty vzduchu na výstupu z rekuperace

Měsíc	Průměrná teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Teplota z rekuperace [$^{\circ}\text{C}$]
Leden	1	10,7
Únor	2,3	11,3
Březen	7,1	13,7
Duben	10,3	15,3
Květen	12,1	16,2
Červen	16,8	18,6
Červenec	19,1	19,7
Srpen	16,1	18,2
Září	14,2	17,3
Říjen	10,5	15,4
Listopad	6	13,2
Prosinec	2,3	11,3

Poté byly vypočteny tepelné zisky z rekuperace v hodinových intervalech pro celý rok. Hodinové tepelné zisky byly vypočteny zvlášť pro 1.NP a 2.NP dle příslušných objemových toků vzduchu dle vzorce:

$$Q_{Reku} = V_{vzd} \cdot \rho_{vzd} \cdot c_{p_{vzd}} \cdot (t_p - t_o) \cdot t \quad (72)$$

kde V_{vzd} je objemový tok pro příslušné podlaží, t_o venkovní teplota v příslušném čase a t je čas, přičemž výpočtový model je po hodinových intervalech.

Výsledné tepelné zisky byly poté sečteny a v přehledech pro jednotlivá podlaží po jednotlivých měsících jsou zobrazeny níže. Dále je pro porovnání zobrazena potřeba tepla bez rekuperace a úspora, kterou implementace rekuperace vzduchu přináší. V letních měsících není objekt vytápěn a proto nebudou uvažovány úspory při použití rekuperace.

Tab. 61 Porovnání potřeby tepla systému s rekuperací a bez rekuperace v 1. NP

Měsíc	Dodané teplo [kWh]	Potřeba tepla bez rekuperace [kWh]	Potřeba tepla s rekuperací [kWh]	Úspora tepla systému s rekuperací [%]
Leden	166,12	926,93	760,81	18%
Únor	136,66	780,99	644,33	17%
Březen	113,05	634,79	521,74	18%
Duben	83,08	419,40	336,32	20%
Květen	69,97	280,56	210,58	25%
Červen	0	0	0	0%
Červenec	0	0	0	0%
Srpen	0	0	0	0%
Září	49,68	95,08	45,40	52%
Říjen	80,73	380,61	299,88	21%
Listopad	113,62	665,30	551,67	17%
Prosinec	154,98	864,67	709,70	18%
Celkem	967,89	5048,34	4080,45	19%

Pro druhé podlaží je bilance zobrazena v následující tabulce:

Tab. 62 Porovnání potřeby tepla systému s rekuperací a bez rekuperace v 2. NP

Měsíc	Dodané teplo [kWh]	Potřeba tepla bez rekuperace [kWh]	Potřeba tepla s rekuperací [kWh]	Úspora tepla systému s rekuperací [%]
Leden	91,77	551,72	459,95	17%
Únor	75,50	464,86	389,36	16%
Březen	62,45	377,84	315,38	17%
Duben	45,90	249,64	203,74	18%
Květen	38,66	166,99	128,34	23%
Červen	0	0	0,00	0%
Červenec	0	0	0,00	0%
Srpen	0	0	0,00	0%
Září	27,45	56,60	29,15	48%
Říjen	44,60	226,55	181,95	20%
Listopad	62,77	395,99	333,22	16%
Prosinec	85,62	514,67	429,05	17%
Celkem	534,71	3004,85	2470,14	18%

Nyní budou porovnány spotřeby elektrické energie pro varianty s rekuperací a bez rekuperace. Spotřeba elektrické energie pro systém s rekuperací byla vypočtena stejným způsobem, jako pro referenční variantu bez rekuperace dle příslušného zdroje vytápění. V 1.NP je spotřeba elektrické energie vypočítána z provozu tepelného čerpadla a v přehledu níže není tedy zahrnuta část, kterou pokrývají elektrické topné kabely. V 2.NP je již spotřeba elektrické energie vypočtena pouze pro elektrické topné fólie, které jsou v 2.NP jediným zdrojem vytápění.

Porovnání spotřeb elektrické energie na vytápění v 1.NP je uvedeno v tabulce níže.

Tab. 63 Spotřeba elektrické energie na vytápění, systém s rekuperací a bez rekuperace v 1.NP

Měsíc	Spotřeba elektrické energie referenční varianty [kWh]	Spotřeba elektrické energie systému s rekuperací [kWh]	Úspora elektrické energie s rekuperací [%]
Leden	237,67	195,08	18%
Únor	200,25	165,21	17%
Březen	162,77	133,78	18%
Duben	107,54	86,24	20%
Květen	71,94	54,00	25%
Červen	0	0	0%
Červenec	0	0	0%
Srpen	0	0	0%
Září	24,38	11,64	52%
Říjen	97,59	76,89	21%
Listopad	170,59	141,45	17%
Prosinec	221,71	181,97	18%
Celkem	1294,45	1046,27	19%

Porovnání spotřeb elektrické energie na vytápění v 2.NP je poté uvedeno níže.

Tab. 64 Spotřeba elektrické energie na vytápění, systém s rekuperací a bez rekuperace ve 2.NP

Měsíc	Spotřeba elektrické energie referenční varianty [kWh]	Spotřeba elektrické energie systému s rekuperací [kWh]	Úspora elektrické energie s rekuperací [%]
Leden	557,30	464,60	17%
Únor	469,56	393,29	16%
Březen	381,65	318,57	17%
Duben	252,16	205,80	18%
Květen	168,68	129,63	23%
Červen	0	0,00	0%
Červenec	0	0,00	0%
Srpen	0	0,00	0%
Září	57,17	29,44	48%
Říjen	228,83	183,79	20%
Listopad	399,99	336,59	16%
Prosinec	519,87	433,38	17%
Celkem	3035,21	2495,09	18%

Porovnání celkové spotřeby elektrické energie v objektu varianty bez rekuperace s variantou s rekuperací je uvedeno níže. Varianta bez rekuperace je označena jako referenční varianta. V porovnání je započítána veškerá spotřeba elektrické energie objektu včetně pohonu ventilátorů rekuperace, což je důvod záporných hodnot úspor v letních měsících, kdy je zajištěna nucená výměna vzduchu, ale není potřeba vytápění. Rekuperační výměník je v režimu by-passu a jak již bylo patrné z předchozích tabulek, není dosaženo žádných energetických ani finančních úspor. Výhodou využití nuceného rozvodu vzduchu i v těchto měsících je však zajištění optimálního přísunu čerstvého vzduchu a filtrace vzduchu proti škodlivým látkám a pylům, což zvyšuje kvalitu vzduchu ve vnitřním prostředí objektu.

Tab. 65 Celková spotřeba elektrické energie systému s rekuperací a bez rekuperace

Měsíc	Celková spotřeba elektřiny referenční varianty [kWh]	Celková spotřeba elektřiny s rekuperací [kWh]	Úspora varianty s rekuperací [%]
Leden	1480,58	1259,06	15%
Únor	1270,52	1089,00	14%
Březen	1169,13	1030,64	12%
Duben	950,96	864,94	9%
Květen	827,59	772,47	7%
Červen	523,56	562,36	-7%
Červenec	559,29	599,38	-7%
Srpen	538,20	578,29	-7%
Září	618,06	603,45	2%
Říjen	937,59	860,06	8%
Listopad	1184,81	1040,41	12%
Prosinec	1408,16	1204,20	14%
Celkem	11468,45	10464,27	9%

11 Výpočet tepelných energetických zisků z panelů

Provedeme výpočet energie ohřátého vzduchu z hybridního panelu. Nejprve použijeme následující empirické vzorce ke stanovení fyzikálních vlastností vzduchu, ty byly publikovány v [79] a předpokládají lineární změnu veličin s měnící se teplotou.

Tepelná kapacita bude vypočtena dle rovnice:

$$C_p = 1,0057 + 0,000066 \cdot (T_a - 27) \quad (73)$$

Hustota pak bude vypočtena pomocí vzorce:

$$\rho = 1,1774 - 0,00359 \cdot (T_a - 27) \tag{74}$$

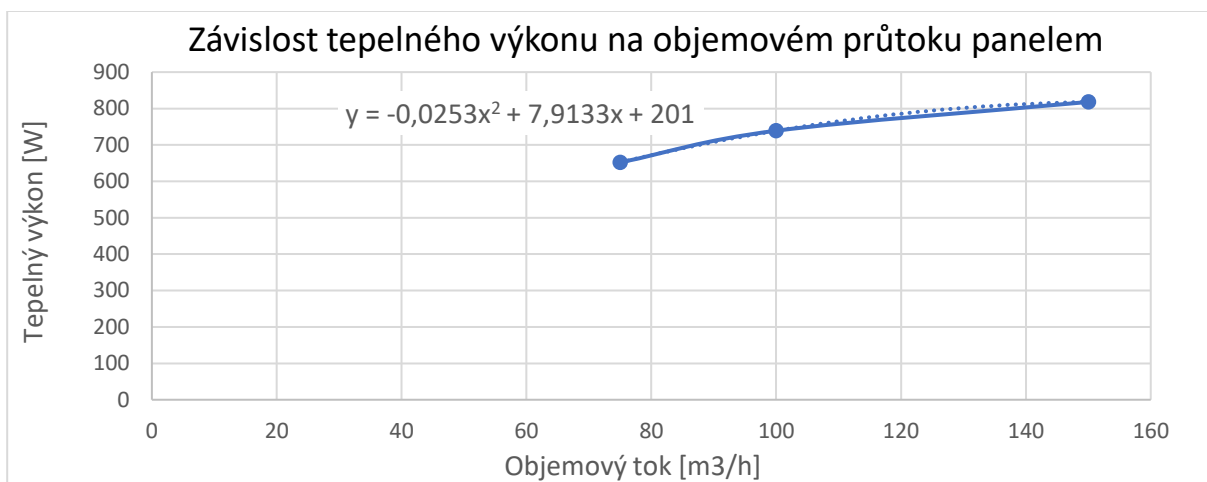
Hodinové hodnoty solárního záření G a vstupní teploty vzduchu T_{panin} , které byly uvažovány jako venkovní teploty, byly získány z databáze PVGIS. Při výpočtech je uvažován steady state stav, tedy $dQ/dt = 0$.

Ke zjištění teploty, na kterou soustava panelů ohřeje vzduch nasávaný z venkovního prostředí, je nutné znát fyzikální parametry panelu. Výrobce uvádí následující parametry pro jeden panel, který byl testován dle Normy EN ISO 9806 [80] a který byl vystaven záření 1000 W/m^2 , přičemž teplota okolního vzduchu byla 30°C .

Tab. 66 Parametry panelu udávané výrobcem [81]

V [m ³ /h]	75	100	150
Q [W]	652	739	818

Pro hodnoty zadané výrobcem byla sestrojena křivka výkonu v závislosti na objemovém průtoku a byla vygenerována rovnice aproximace popisující tuto závislost. Tato křivka je zobrazena níže.



Obr. 38 Závislost tepelného výkonu na objemovém průtoku panelem

Do této rovnice byly dosazeny požadované průtoky vzduchu, pro 1.NP - $66,8 \text{ m}^3/\text{hod}$ a pro 2.NP - $36,9 \text{ m}^3/\text{hod}$, a byl tak získán výkon jednoho samotného panelu, 617 W pro 1.NP a 459 W pro 2.NP.

Dále je možné určit účinnost tohoto panelu pomocí následujícího vzorce:

$$\eta_{th} = \frac{Q}{G \cdot A} = \frac{617}{1000 \cdot 1,63} = 37,9\% \quad (75)$$

Toto je obvyklá hodnota, kterou mívají ploché vzduchové kolektory, jak bylo ukázáno například ve studii Hematian [82], kde bylo dosaženo 42,2 % pro průtok vzduchu 72,63 m³/hod. Průtok vzduchu má tedy u vzduchových kolektorů velký vliv a se zvyšujícím se hmotnostním tokem se zvyšuje i účinnost panelů. Jak uvádí Poonam [83], je to způsobeno větším přenosem tepla z absorberu do proudu vzduchu, tím je absorber více ochlazován a dochází k menším tepelným ztrátám do okolí. Tepelná účinnost panelů výrazně klesá s nárůstem teploty, protože tím také rostou tepelné ztráty z panelu do okolí. Při vyšších teplotách rostou ztráty sáláním z panelů do okolí dle vzorce:

$$q_{sál} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_{povrch}^4 - T_{obloha}^4 \quad (76)$$

kde T_{povrch} je teplota povrchu panelu, T_{obloha} je teplota oblohy, ϵ je emisivita povrchu panelu a σ je Stefan–Boltzmannova konstanta.

Dále můžeme určit výstupní teplotu ohřátého vzduchu z panelu. Vzduch proudí do panelu z venkovního prostředí, a proto teplota na vstupu do panelu T_{panin} je rovna teplotě okolního vzduchu. Výstupní teplota je určena pomocí následujícího vzorce, je zobrazen výpočet pro 1.NP při venkovní teplotě 30°C:

$$T_{pano} = \frac{Q}{V \cdot \rho \cdot cp} + T_{panin} = \frac{617}{0,0186 \cdot 1,143 \cdot 1005,9} + 30 = 48,74 \text{ °C} \quad (77)$$

11.1.1 Stanovení křivky účinnosti

Tepelnou účinnost panelů lze také charakterizovat rovnicí, kterou uvádí například Matuška ve své publikaci [13]:

$$\eta_{th} = F_R \cdot (\tau_{panel} \cdot \alpha_{absorbér}) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{(T_{panin} - T_a)}{G} \quad (78)$$

kde F_R je tepelný přenosový součinitel panelu, τ_{panel} je propustnost zasklení panelu, $\alpha_{absorbér}$ je pohltivost absorbéru, U_L je součinitel prostupu tepla panelu, T_{panin} je teplota vzduchu vstupujícího do panelu. Toto vyjádření vychází z amerických norem.

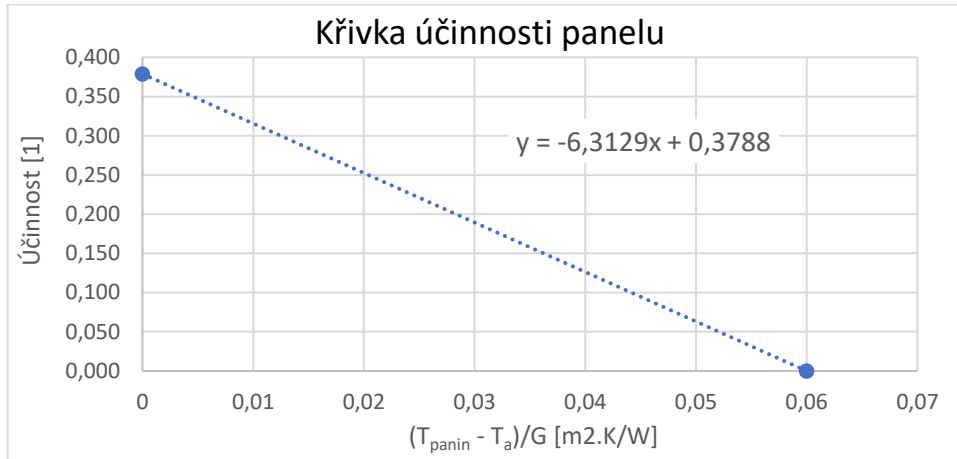
Norma EN ISO 9806 uvádí, že teplovzdušné panely, které nejsou navrhovány pro uzavřené okruhy musí být testovány vzduchem nasávaným z okolí. Pro vzduch nasávaný z okolí platí, že teplota vzduchu vstupujícího do panelu je rovna venkovní teplotě $T_{panin} = T_a$, a tedy člen $F_R \cdot U_L$, který vyjadřuje tepelné ztráty při vyšší vstupní teplotě, než je teplota okolí, je nulový. Tento stav představuje maximální účinnost panelu. Jak bylo vypočteno pro požadovaný průtok v 1. NP 66,8 m³/hod pro jeden panel, při kterém je nasáván vzduch o teplotě okolí, je tato účinnost 37,9 %. Pro 2.NP, tedy pro požadovaný průtok 36,9 m³/hod, je maximální účinnost panelu 28 %.

Dále od výrobce známe bod stagnace, což je stav, kdy má panel výkon a účinnost rovnou nule. Bod stagnace je 90 °C při záření 1000 W/m² a venkovní teplotě 30°C.

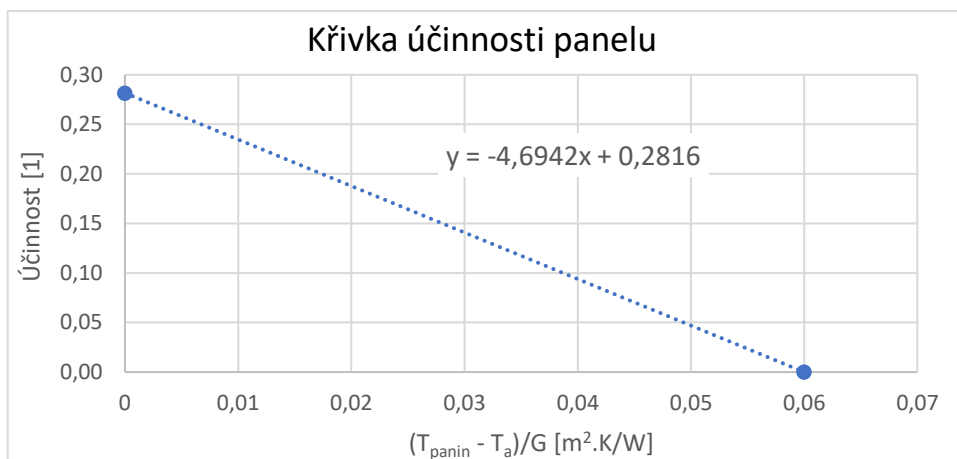
Z těchto dat můžeme stanovit křivky účinnosti. Křivka účinnosti je grafické znázornění účinnosti v závislosti na teplotním spádu a vztahuje se vždy k určité konstantní hodnotě průtoku, jelikož se změnou průtoku se změní i účinnost a v případě teplovzdušných systémů je tato závislost výrazná. Křivka účinnosti se stanoví v závislosti na různě vyjádřeném teplotním spádu. Jak uvádí Duffie [84], standardně se střední redukováný teplotní spád vyjadřuje jako rozdíl střední teploty absorbéru a teploty venkovní nebo jako rozdíl střední teploty teplonosné tekutiny a teploty okolí nebo jako rozdíl teploty teplonosné tekutiny na vstupu do panelu a teploty okolí. Při postupu v této práci bude využito posledního zmíněného vyjádření.

Potřebným parametrem pro sestavení křivky účinnosti je tedy poměr $(T_{panin} - T_a) / G$. Pro stagnační bod, tedy pro účinnost rovnou nule, tento poměr nabývá hodnoty 0,06 a pro účinnost, kdy $T_{panin} = T_a$, je tento poměr roven 0. Tyto hodnoty jsou zaneseny do grafu a proloženy lineární regresí. V praxi se obvykle naměří mnoho hodnot a lineární regrese pak určuje danou závislost s určitou odchylkou. V návrhovém případě jsou stanoveny krajní body křivky, což poskytuje přesnější výsledky.

Dále jsou zobrazeny křivky účinností pro variantu průtoku 66,8 m³/h a 36,9 m³/h.



Obr. 39 Křivka účinnosti - 66,8 m³/h



Obr. 40 Křivka účinnosti – 36,9 m³/h

Pomocí křivek je nyní možné vyjádřit účinnost panelu při zvýšené teplotě vzduchu na vstupu do panelu. Lineární regrese je matematicky vyjádřena a pro 66,8 m³/h má tvar:

$$y = 0,3788 - 6,3129 \cdot x \tag{79}$$

Pro 36,9 m³/h je poté rovnice:

$$y = 0,2816 - 4,6942 \cdot x \tag{80}$$

Tyto rovnice odpovídají vyjádření účinnosti uvedené v této kapitole a x je poměr $\frac{(T_{panin} - T_a)}{G}$. Je tedy možné stanovit tepelnou účinnost panelu na základě hodnot záření a teploty okolního vzduchu v hodinových intervalech pro celý rok z databáze PVGIS.

11.1.2 Zapojení panelů

U aplikací, kde jsou kolektory nebo panely použity za účelem ohřátí venkovního vzduchu do obytných či kancelářských budov, je průtok vzduchu dán hygienickou normou. Vzduchové kolektory či panely se však používají také například v průmyslu pro sušení. Výslednou teplotu na výstupu z panelů lze ovlivnit i způsobem zapojení panelů.

Zapojení rozvodu vzduchu panelů může být sériové, paralelní nebo sériově paralelní. Při sériovém zapojení panelů je dosaženo nejvyšší teploty na výstupu z pole panelů, objemový tok je však omezený maximálním možným průtokem jedním panelem. U paralelního zapojení je možné dosáhnout velkého celkového průtoku, výstupní teplota však bude v porovnání s ostatními variantami nejnižší. V sériově paralelním zapojení je pak dosaženo kompromisu mezi výstupní teplotou z panelů a průtokem.

Pro návrh systému v této práci bude zvoleno sériové zapojení 5 panelů do 1.NP a sériové zapojení 5 panelů do 2.NP. Ke stanovení účinností, výkonů a výstupních teplot z jednotlivých panelů zapojených do série je nutné panely počítat postupně jeden po druhém, kdy výstupní teplota z jednoho panelu, je vstupní teplotou následujícího panelu. Výpočet je proveden dále.

Výkon prvního panelu je stanoven od výrobce a účinnost je určena dle postupu z předchozí kapitoly. Pro výpočet parametrů druhého panelu je nejprve stanovena účinnost druhého panelu rovnicí:

$$\eta_{th} = 0,3788 - 6,3129 \cdot \frac{(T_{pano} - T_a)}{G} \quad (81)$$

respektive

$$\eta_{th} = 0,2816 - 4,6942 \cdot \frac{(T_{pano} - T_a)}{G} \quad (82)$$

kde T_{pano} je výstupní teplota z prvního panelu a zároveň vstupní teplota do druhého panelu.

Dále je vypočten výkon druhého panelu pomocí vzorce:

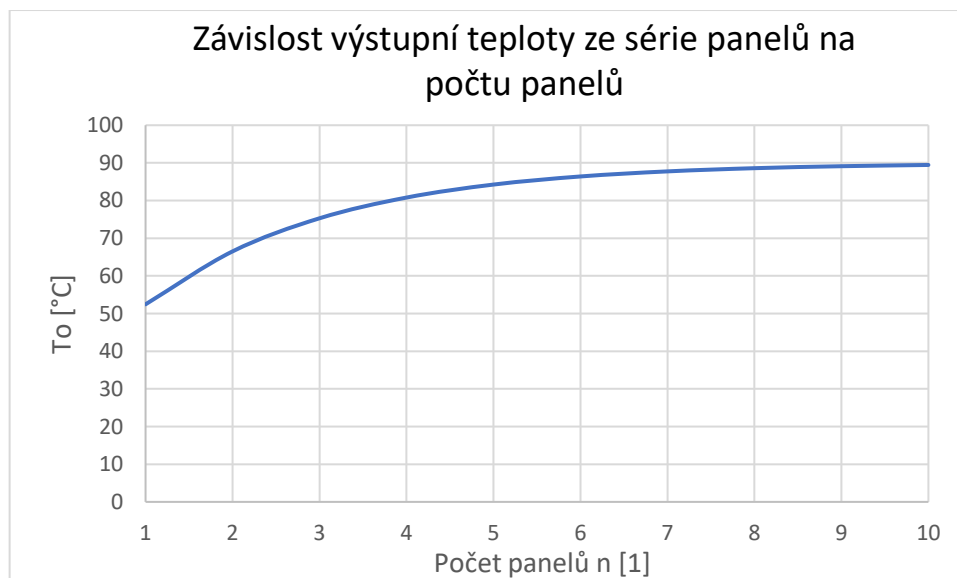
$$Q = \eta_{th} \cdot G \cdot A \quad (83)$$

Nakonec je určena výstupní teplota z druhého panelu pomocí vzorce:

$$T_{pano2} = \frac{Q}{V \cdot \rho \cdot cp} + T_{pani2} \quad (84)$$

Poté se postup opakuje pro další panel v sérii. Jak bylo zmíněno, účinnost panelů, a tedy i jejich výkon, se s nárůstem vstupní teploty postupně snižují.

Vlivem zapojení na výslednou teplotu z pole kolektorů se zabýval Rodriguez [85] a byla představena závislost výstupní teploty z panelů na počtu panelů. Tato křivka byla sestavena popsáním postupem i pro návrhovou sestavu panelů při sériovém zapojení, při podmínkách, kdy záření dosahuje 1000 W/m^2 a teplota okolního vzduchu je $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Křivka je zobrazena níže.



Obr. 41 Závislost výstupní teploty ze série panelů na počtu panelů

Křivka byla sestavena na sérii o deseti panelech a je patrné, že stagnační teplota je $90 \text{ }^\circ\text{C}$ při uvažované venkovní teplotě $30 \text{ }^\circ\text{C}$, jak uváděl výrobce panelu. Při této teplotě jsou tepelné ztráty tak velké, že nedochází k dalšímu ohřevu vzduchu na vyšší teploty. Toto je důvodem, proč jsou v této práci navrženy dva oddělené okruhy. Jeden okruh dodává teplo 1.NP a druhý 2.NP.

11.1.3 Zapojení panelu s rekuperační jednotkou

Zapojení teplovzdušných kolektorů může být i v kombinaci s rekuperační jednotkou. V případě zapojení bez rekuperační jednotky má při slunečných dnech ohřev vzduchu vysokou účinnost a systém může částečně hradit i tepelné ztráty prostupem. Naopak při nízkých hodnotách záření systém nepřináší žádné úspory. Při kombinaci rekuperační jednotky a teplovzdušných kolektorů mohou být panely zařazeny před rekuperační jednotku a předehtívají vzduch, který se v rekuperační jednotce dohřívá. Nebo mohou být panely zařazeny za rekuperační jednotku a při nízkých hodnotách slunečního záření jsou by-passem obtékány, protože v těchto případech by docházelo ke ztrátám tepla v kolektoru. Speciálním případem je systém s nucenou cirkulací vzduchu v budově. Čerstvý venkovní vzduch je veden nejprve do rekuperační jednotky, z které proudí do obytných místností. Z obytných místností je vzduch odsáván a proudí buď na předehtát do solárních kolektorů v případech dobrých podmínek slunečního záření a poté je veden zpět do obytných místností. Nebo v případech špatných venkovních podmínek je veden přímo přes rekuperační jednotku, kde ohřívá venkovní přírodní vzduch. [86]

Z analýzy, kterou prováděl Matuška [86], vyplývá, že výsledná potřeba tepla na vytápění je nejmenší v případě poslední zmíněné varianty zapojení s cirkulačním systémem. Lehce nižší úsporu při vytápění vykazuje varianta zapojení rekuperační jednotky před solární kolektory. S malým rozdílem je poté energeticky méně výhodná varianta, kdy je venkovní vzduch nasáván přes solární kolektory a až poté do rekuperační jednotky. Solární kolektory a rekuperační jednotka si navzájem konkurují, protože při proudění předehtátého vzduchu ze solárních kolektorů je výkon rekuperační jednotky nižší, a naopak při proudění předehtátého vzduchu do panelu je z důvodů ukázaných v předchozích kapitolách účinnost kolektorů nižší.

Varianty, kdy je v systému pouze rekuperační jednotka nebo pouze kolektory, přinášejí relativně menší tepelné přínosy. Analýza ukázala, že výhodnější je použití systému s rekuperační jednotkou než systému se solárními kolektory, a to s celkem výrazným rozdílem. Důvodem je, že rekuperační jednotka je při trvalé výměně vzduchu v provozu neustále, zatímco solární kolektory jen při příznivých venkovních podmínkách.

Tato práce je ovšem zaměřená na potenciální zlepšení energetické bilance v přechodných obdobích, kdy může být vliv hybridních teplovzdušných panelů výrazný. Volbu varianty uspořádání kolektorů v kombinaci s rekuperační jednotkou velmi ovlivňuje praktická

realizace vedení vzduchovodu. Pokud má být vzduch veden nejprve do rekuperační jednotky, poté do panelů a poté opět dovnitř objektu, jsou nutné výrazné stavební zásahy do obvodových zdí. Tento způsob zapojení by byl lépe realizovatelný v domech s půdními prostory, kam je možné rekuperační jednotku umístit. Zvolena je tedy varianta, kdy je vzduch veden do hybridních kolektorů a poté do rekuperační jednotky.

11.1.4 Výpočet tepelných zisků z panelů a z rekuperace

Tepelné zisky budou vypočítány pro hodinové intervaly v průběhu celého roku. Venkovní teploty jsou získány z databáze PVGIS. Venkovní vzduch proudí do série panelů. Poté je postupem uvedeným v předchozí kapitole zjištěna nejprve účinnost prvního panelu v závislosti na teplotě na vstupu do panelu, poté je vypočten výkon příslušného panelu, a nakonec výstupní teplota. Tato teplota je poté použita k výpočtu účinnosti, výkonu a výstupní teploty druhého panelu. Tento postup je proveden pro sérii 5 panelů v 1.NP a ve 2.NP pro každou hodinu v roce. Vzduch poté proudí do rekuperační jednotky. Je uvažováno použití automatické regulace, kdy, pokud je teplota vzduchu proudícího ze série panelů dovnitř vyšší, než teplota odpadního vzduchu, je sepnut by-pass uvnitř rekuperačního výměníku a vzduch neprochází rekuperačním výměníkem. Pokud je výstupní teplota ze série panelů nižší, než je teplota odpadního vzduchu, tedy teplota vzduchu zevnitř objektu, proudí vzduch přes rekuperační výměník. Výstupní teplota z posledního panelu je tedy vstupní teplotou do rekuperačního výměníku. Poté bude vypočtena teplota čerstvého vzduchu na výstupu z rekuperačního výměníku T_{reko} , tedy teplota vzduchu, který proudí do jednotlivých místností, pomocí následujícího vzorce:

$$T_{reko} = \eta_{rv} \cdot (T_{reko1} - T_a) + T_{pano5} \quad (85)$$

Ve vzorci značí T_{reko1} teplý odpadní vzduch, T_a značí teplotu venkovního vzduchu, což je minimální teplota, na kterou je možné odpadní vzduch ochladit a předat toto teplo přívodnímu vzduchu. Z takto získané přívodní teploty vzduchu, který proudí do objektu, je poté vypočteno celkové teplo dodané soustavou panelů a rekuperačního výměníku.

$$Q_{dod} = V \cdot \rho \cdot cp \cdot (T_{reko} - T_a) \quad (86)$$

Výsledné hodinové tepelné zisky byly pro přehlednost sečteny a uspořádány dle jednotlivých měsíců. Je uvažováno, že v letních měsících bude proud vzduchu z panelů regulační klapkou směřován zpět do venkovního prostředí, protože není potřeba objekt vytápět.

Tabulka níže ukazuje tepelné zisky v měsíčních intervalech a porovnání potřeby tepla referenční varianty a varianty se zapojením panelů a rekuperace.

Tab. 67 Tepelná bilance systému s panely a rekuperací 1.NP

Měsíc	Dodané teplo [kWh]	Potřeba tepla bez rekuperace a bez panelů [kWh]	Potřeba tepla s panely a rekuperací [kWh]
Leden	209,28	926,93	717,65
Únor	211,58	780,99	569,42
Březen	262,09	634,79	372,70
Duben	236,35	419,40	183,05
Květen	233,49	280,56	47,07
Červen	260,56	0	0
Červenec	230,60	0	0
Srpen	201,33	0	0
Září	187,74	95,08	0
Říjen	155,01	380,61	225,60
Listopad	146,56	665,30	518,73
Prosinec	180,61	864,67	684,06
Celkem	1822,71	5048,34	3318,29

Tab. 68 Tepelná bilance systému s panely a rekuperací 2.NP

Měsíc	Dodané teplo [kWh]	Potřeba tepla bez rekuperace a bez panelů [kWh]	Potřeba tepla s panely a rekuperací [kWh]
Leden	116,74	551,72	439,37
Únor	118,80	464,86	349,55
Březen	148,30	377,84	231,86
Duben	134,11	249,64	116,69
Květen	132,66	166,99	34,68
Červen	148,77	0	0
Červenec	131,79	0	0
Srpen	114,79	0	0
Září	106,74	56,60	0
Říjen	87,35	226,55	140,60
Listopad	81,77	395,99	317,40
Prosinec	100,42	514,67	418,43
Celkem	1026,89	3004,85	2048,59

12 Přepočít energetické bilance systému s rekuperací a panely

Vlivem dodané tepelné energie a s ní spojenými úsporami tepla na vytápění se snižuje i spotřeba elektrické energie na vytápění objektu. Pokrytí potřeby vytápění zajišťované pomocí TČ, by nepřinášelo tak vysoké úspory, jelikož provoz TČ je úspornější, než ohřev vody v akumulacním zásobníku elektrickou topnou patronou, do které by panely dodávaly elektrickou energii. Vyrobena elektřina bude tedy nejprve použita k vytápění topnými foliemi v 2.NP. Pokud panely vyrobí více elektřiny, bude elektrická energie využita k ohřevu vody na požadovanou teplotu ze 45 °C na 55 °C v zásobníkovém ohříváči TUV topnou patronou. V letních měsících vyrobí panely ještě více elektrické energie, než je tato spotřeba, a proto bude tato elektrická energie využita na pokrytí spotřeby ventilátorů na větrání a spotřebičů. V tabulce níže je uvedena měsíční bilance spotřeby elektrické energie systému s rekuperací a s hybridními panely.

Tab. 69 Přehled spotřeby elektrické energie systému s rekuperací a panely

Měsíc	2.NP el. folie [kWh]	El. patrona aku zásobník TUV [kWh]	Nová spotřeba spotřebiče [kWh]	Nová měsíční spotřeba ventilátor [kWh]	Celková spotřeba elektřiny s rekuperací a panely [kWh]
Leden	317,46	72,84	411,3	49,74	1100,11
Únor	151,02	65,79	360,7	44,93	826,84
Březen	0,00	0,00	334,2	49,74	544,26
Duben	0,00	0,00	220,6	48,14	378,29
Květen	0,00	0,00	133,5	49,74	260,07
Červen	0,00	0,00	0,0	9,43	72,06
Červenec	0,00	0,00	42,8	49,74	157,28
Srpen	0,00	0,00	109,6	49,74	224,02
Září	0,00	0,00	146,6	48,14	257,39
Říjen	0,00	39,39	411,3	49,74	623,04
Listopad	232,72	70,49	380,4	48,14	927,37
Prosinec	342,33	72,84	400,8	49,74	1105,83
Celkem	1043,53	321,34	2951,93	547	6477

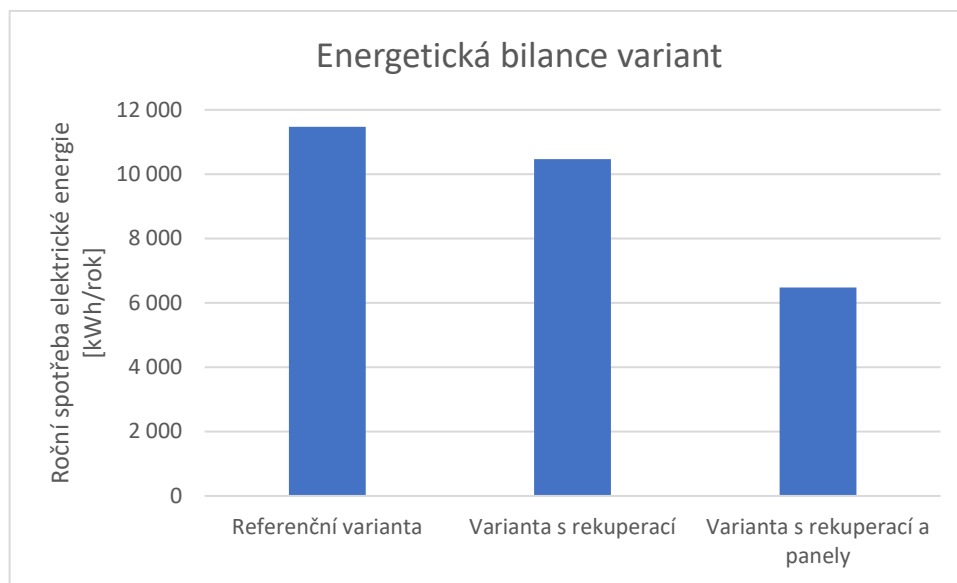
Dále bylo provedeno porovnání varianty s rekuperací a hybridními panely a referenční varianty.

Tab. 70 Porovnání referenční varianty a varianty s rekuperací a panely

Měsíc	Celková spotřeba elektřiny referenční varianta [kWh]	Celková spotřeba elektřiny s rekuperací a panely [kWh]	Úspora elektrické energie s rekuperací a panely [%]
Leden	1480,58	1100,11	26%
Únor	1270,52	826,84	35%
Březen	1169,13	544,26	53%
Duben	950,96	378,29	60%
Květen	827,59	260,07	69%
Červen	523,56	72,06	86%
Červenec	559,29	157,28	72%
Srpen	538,20	224,02	58%
Září	618,06	257,39	58%
Říjen	937,59	623,04	34%
Listopad	1184,81	927,37	22%
Prosinec	1408,16	1105,83	21%
Celkem	11468,45	6477	44%

13 Porovnání variant

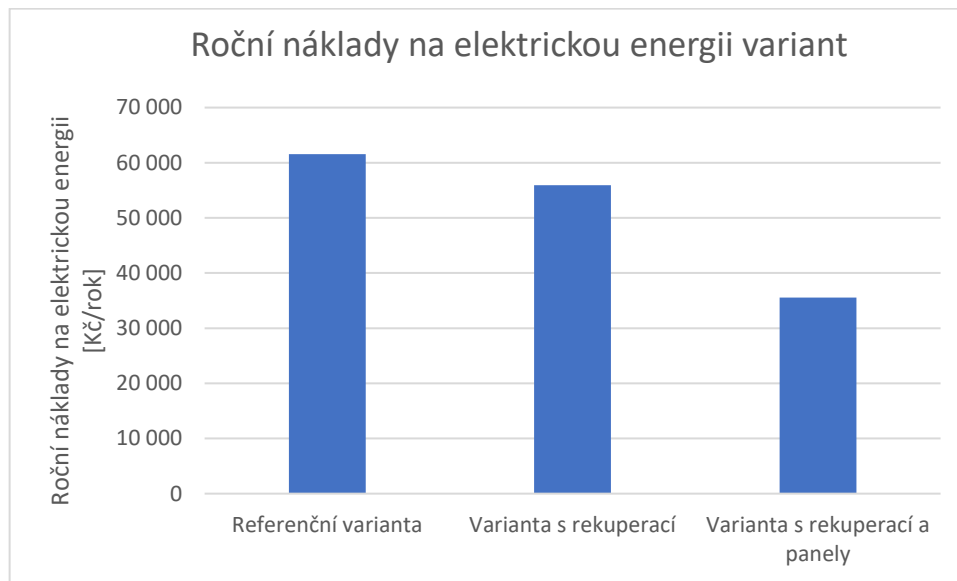
V následující kapitole bude provedeno energetické a finanční porovnání tří variant. První uvažovaná varianta je referenční, tedy varianta bez nuceného větrání a rekuperačního výměníku a bez hybridních panelů. Druhá uvažovaná varianta počítá s použitím rekuperačního výměníku a s nuceným větráním. Třetí varianta pak počítá s použitím větracího systému s rekuperačním výměníkem a s hybridními panely. Celkové roční energetické bilance pro tyto tři varianty jsou uvedené na následujícím obrázku:



Obr. 42 Porovnání spotřeby elektrické energie

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, úspora při implementaci rekuperace je 10 %. Pro třetí variantu je celková úspora elektrické energie 44 %.

Dalším důležitým krokem je finanční porovnání jednotlivých variant. Pro další výpočty budou potřebné údaje o cenách za elektřinu. Tyto jsou uvedeny v příloze 8 v ceníku společnosti E.ON. Při výpočtu bude pro první přiblížení použita střední cena mezi vysokým a nízkým tarifem ceníku z jara roku 2022. Rozdíl cen mezi nízkým a vysokým tarifem je nízký a uvažovat střední hodnotu pro výpočet je dostatečně relevantní. Grafické porovnání je uvedeno na dalším obrázku.



Obr. 43 Porovnání ročních nákladů na elektrickou energii

Roční spotřeba v referenční variantě je 61 568 Kč. Při využití systému s rekuperací je cena za roční spotřebu elektrické energie snížena na 55 904 Kč. Výraznou úsporu pak přináší kombinace rekuperační jednotky a hybridních panelů, kdy je cena za roční spotřebu elektrické energie 35 556 Kč.

13.1 Investiční náklady

V tabulce níže je uveden rozpis investičních nákladů na systém panelů a na vzduchotechnický systém. Ceny komponent jsou převzaty z ceníků výrobců a částky za instalaci a s ní spojenou práci jsou odhadnuté.

Tab. 71 Rozpis investičních nákladů

Komponenta	Jednotková cena [Kč/ks, Kč/m]	Počet ks	Celková cena
FV systém			
Panel	5 850,00 Kč	10	58 500 Kč
Střídač Měníč Fronius Symo 3.0-3-S 3000VA 4,3A	30 088,00 Kč	1	30 088 Kč
Rám na přichycení panelu	893,00 Kč	10	8 930 Kč
Baterie	103 000,00 Kč	1	103 000 Kč
Přepěťové ochrany	7 000,00 Kč		7 000 Kč
Elektrokabeláž	5 000,00 Kč		5 000 Kč
Instalace panelů a elektroinstalace	25 000,00 Kč		25 000 Kč
Celkem fotovoltaický systém			237 518 Kč
Vzduchotechnický systém			
Přímá trubka	218,00 Kč	48	10 439 Kč
Přímá trubka s tepelnou izolací	190,00 Kč	22	4 232 Kč
Koleno	172,00 Kč	30	5 160 Kč
Regulační klapka – ruční řízení	1 029,00 Kč	6	6 174 Kč
Rekuperační jednotka	36 808,00 Kč	2	73 616 Kč
Stříška	1 667,00 Kč	4	6 668 Kč
Koncové prvky	489,00 Kč	11	5 379 Kč
Distribuční box	5 862,00 Kč	5	29 310 Kč
Regulační vložka potrubí	72,00 Kč	11	792 Kč
Ventilátor	1 200,00 Kč	2	2 400 Kč
Instalace	20 000,00 Kč		20 000 Kč
Celkem vzduchotechnický systém			149 499 Kč
Celkem			401 688 Kč

13.2 Prostá doba návratnosti

Pro uvažované varianty budou vypočteny prosté doby návratnosti dle následujícího vzorce, kde N_{iv} jsou investiční náklady a N_{pv} jsou provozní náklady varianty s rekuperací nebo varianty s rekuperací a panely v závislosti na porovnávané variantě.

$$T_{spl} = \frac{N_{iv} - N_{iv0}}{N_{pv0} - N_{pv}} \quad (87)$$

Prostá doba návratnosti varianty pouze s rekuperací vychází 26,4 roků a varianty s rekuperací a panely 15,4 roků.

13.3 Výpočet diskontované návratnosti

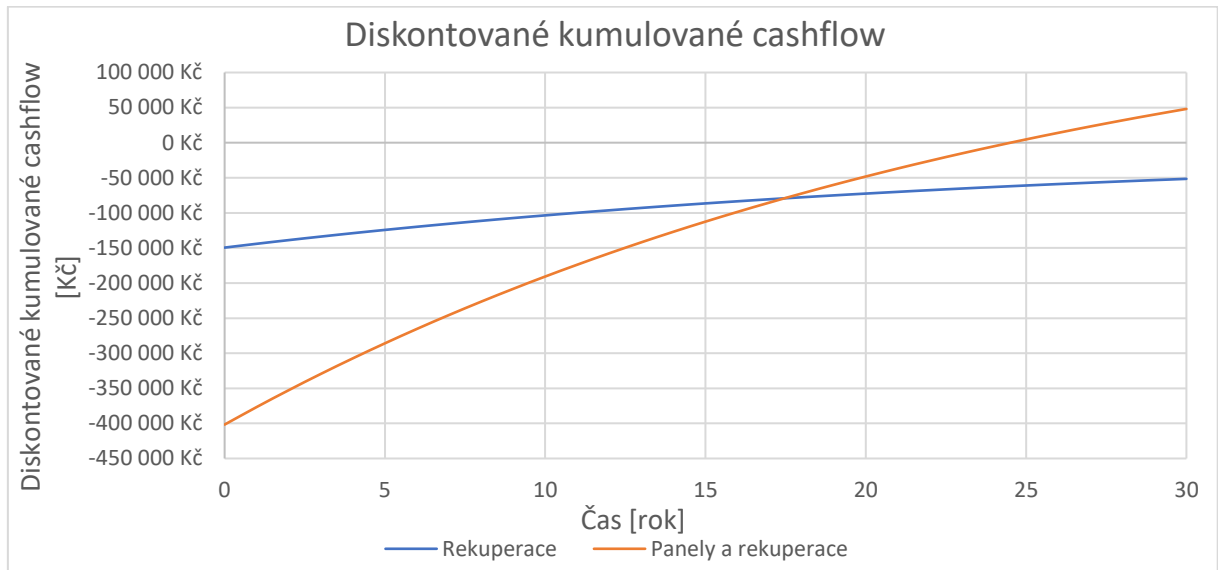
Dále bude vypočteno kumulované cashflow pro období porovnávání 30 let. Není uvažována půjčka domácnosti na investici. Cashflow CF_t značí příjmy z investice v jednotlivých letech. Diskontní sazba r je zvolena 4 % dle aktuální sazby ČNB. IN značí investiční náklady. NPV je poté vypočtena dle následujícího vztahu.

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_p} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \quad (88)$$

Výsledné hodnoty pro dobu porovnání jsou v následující tabulce a obrázku.

Tab. 72 Kumulované cashflow

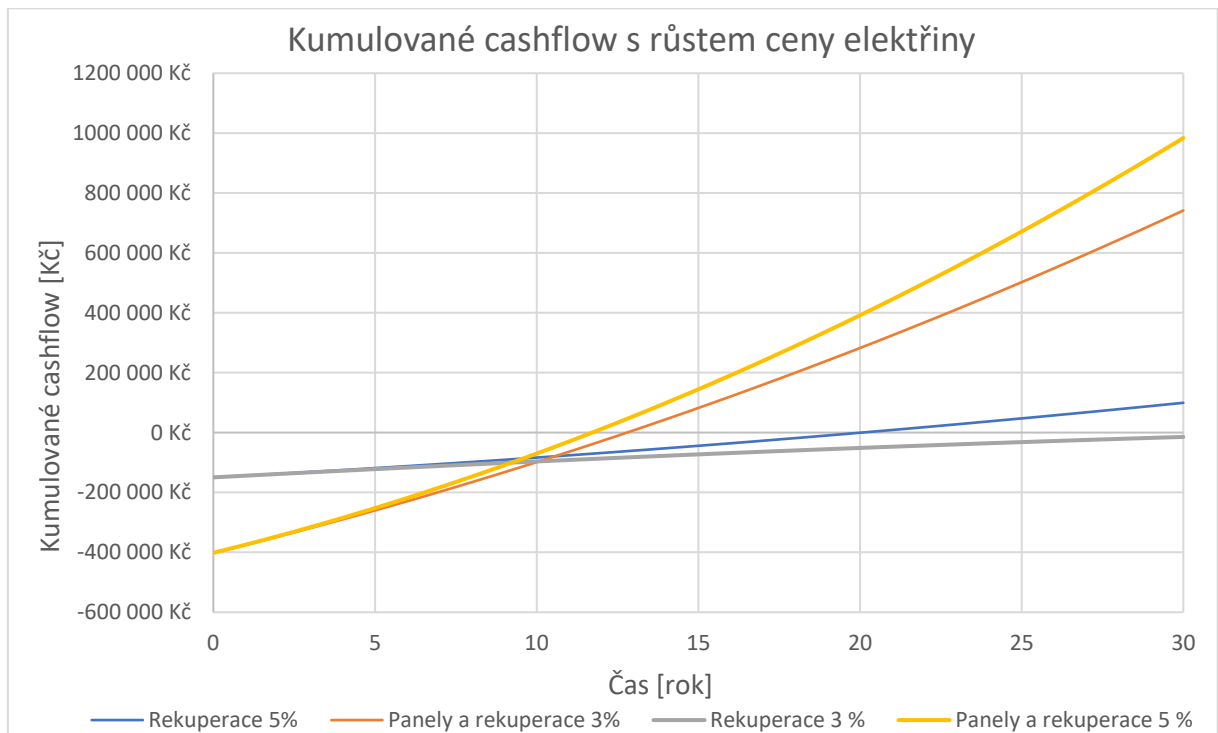
Rok	Nominální [Kč]		Diskontované [Kč]	
	Rekuperace	Panely a rekuperace	Rekuperace	Panely a rekuperace
0	-149 499 Kč	-401 688 Kč	-149 499 Kč	-401 688 Kč
1	-143 834 Kč	-375 676 Kč	-144 052 Kč	-376 676 Kč
2	-138 170 Kč	-349 664 Kč	-138 815 Kč	-352 627 Kč
3	-132 505 Kč	-323 651 Kč	-133 779 Kč	-329 502 Kč
4	-126 840 Kč	-297 639 Kč	-128 937 Kč	-307 266 Kč
5	-121 175 Kč	-271 627 Kč	-124 281 Kč	-285 886 Kč
6	-115 511 Kč	-245 615 Kč	-119 804 Kč	-265 328 Kč
7	-109 846 Kč	-219 602 Kč	-115 499 Kč	-245 561 Kč
8	-104 181 Kč	-193 590 Kč	-111 360 Kč	-226 554 Kč
9	-98 517 Kč	-167 578 Kč	-107 380 Kč	-208 279 Kč
10	-92 852 Kč	-141 566 Kč	-103 553 Kč	-190 706 Kč
11	-87 187 Kč	-115 554 Kč	-99 873 Kč	-173 809 Kč
12	-81 523 Kč	-89 541 Kč	-96 335 Kč	-157 561 Kč
13	-75 858 Kč	-63 529 Kč	-92 933 Kč	-141 939 Kč
14	-70 193 Kč	-37 517 Kč	-89 662 Kč	-126 918 Kč
15	-64 528 Kč	-11 505 Kč	-86 517 Kč	-112 474 Kč
16	-58 864 Kč	14 507 Kč	-83 492 Kč	-98 586 Kč
17	-53 199 Kč	40 520 Kč	-80 584 Kč	-85 232 Kč
18	-47 534 Kč	66 532 Kč	-77 788 Kč	-72 392 Kč
19	-41 870 Kč	92 544 Kč	-75 099 Kč	-60 045 Kč
20	-36 205 Kč	118 556 Kč	-72 514 Kč	-48 173 Kč
21	-30 540 Kč	144 569 Kč	-70 028 Kč	-36 758 Kč
22	-24 875 Kč	170 581 Kč	-67 638 Kč	-25 782 Kč
23	-19 211 Kč	196 593 Kč	-65 339 Kč	-15 229 Kč
24	-13 546 Kč	222 605 Kč	-63 129 Kč	-5 081 Kč
25	-7 881 Kč	248 617 Kč	-61 005 Kč	4 677 Kč
26	-2 217 Kč	274 630 Kč	-58 961 Kč	14 059 Kč
27	3 448 Kč	300 642 Kč	-56 997 Kč	23 081 Kč
28	9 113 Kč	326 654 Kč	-55 108 Kč	31 755 Kč
29	14 777 Kč	352 666 Kč	-53 291 Kč	40 096 Kč
30	20 442 Kč	378 679 Kč	-51 545 Kč	48 116 Kč



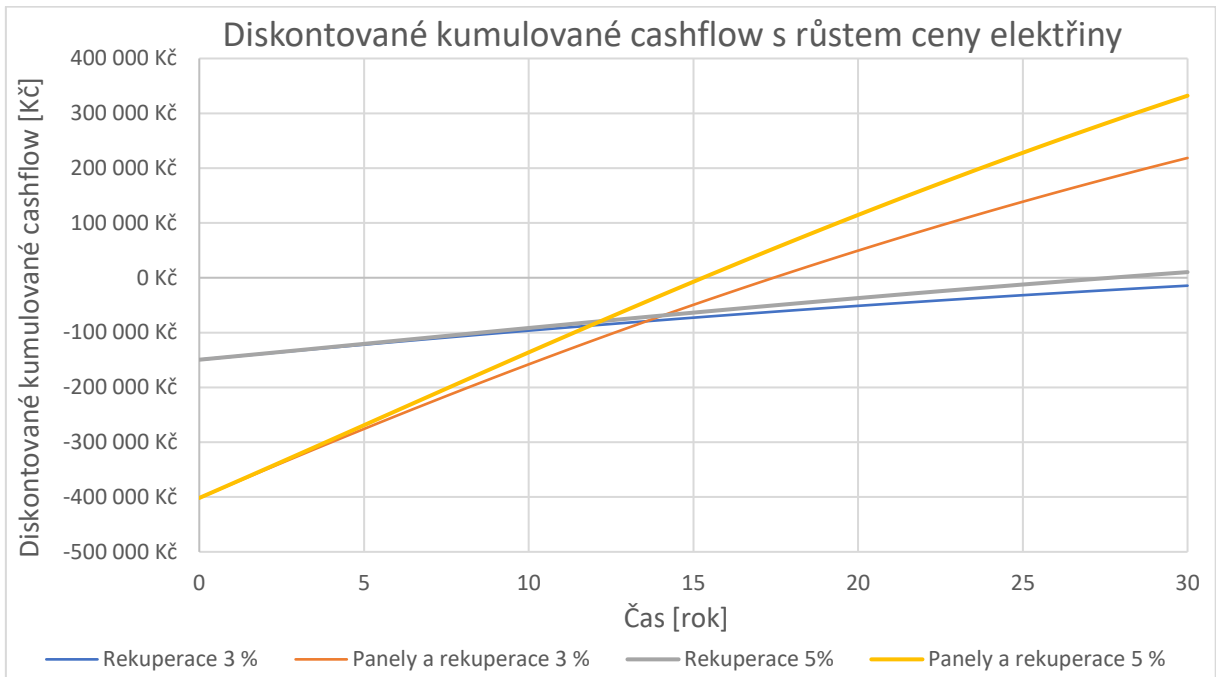
Obr. 44 Diskontované cashflow

13.4 Citlivostní analýza

Dále bude vypočteno ekonomické zhodnocení kumulovaného cashflow s diskontováním a bez diskontování u obou variant, při uvažování růstu cen elektrické energie o tři a pět procentních bodů každý rok. Vyhodnocení tohoto výpočtu je na obrázku níže.



Obr. 45 Kumulované cashflow se započtením růstu cen elektřiny – nominální



Obr. 46 Kumulované cashflow se započtením růstu cen elektřiny – diskontované

14 Závěr

V této práci byl představen koncept hybridních vzduchových fotovoltaicko-tepelných panelů v kombinaci se vzduchotechnikou na rodinném domě. Nejprve byla problematika popsána teoreticky a dále byl pro zvolený objekt proveden návrh nového vzduchotechnického systému a systému s hybridními panely. Pro objekt, na který je uvažována instalace těchto systémů, byly vypočteny tepelné ztráty a potřeba tepla. Tepelná ztráta byla 5,469 kW a roční potřeba tepla na vytápění objektu v původním referenčním stavu činila 8,734 MWh. Dále byl pro objekt navržen vhodný otopný systém. Jako tepelný zdroj bylo navrženo tepelné čerpadlo, které zajišťuje vytápění objektu v 1.NP a ohřev teplé vody. Bylo zvoleno tepelné čerpadlo o jmenovitém výkonu 6,9 kW a k němu navrženo teplovodní podlahové vytápění a akumulční zásobník ve dvou variantách o vypočtené kapacitě 193 l a 1206 l. Byla také provedena simulace chodu tepelného čerpadla pomocí sestaveného výpočtového modelu. V 2.NP zajišťují vytápění elektrické topné fólie. Bylo zakresleno schéma otopného systému.

Dále byl navržen vzduchotechnický systém s nuceným rovnotlakým větráním. Celková navržená výměna vzduchu v objektu byla pro optimální porovnání uvažována stejná jako v případě bez vzduchotechnického systému o minimální hodnotě 0,3 objemu místnosti za hodinu, což je minimální doporučená hodnota dle normy. Dále byly vypočteny energetické zisky při zapojení rekuperační jednotky pro hodinové intervaly v průběhu celého roku a bylo zakresleno schéma rozvodů vzduchotechniky.

Dalším návrhem byl systém s hybridními panely. Celkový zvolený počet panelů byl 10. Elektricky jsou panely zapojeny sériově do jednoho okruhu. Vzduchotechnicky jsou panely zapojeny do dvou okruhů po 5 panelech. Špičkový elektrický výkon jednoho panelu je 300 Wp. Pro panely byl na základě výpočtů vybrán střídač a lithiový akumulátor o kapacitě 9,6 kWh. Byly vypočteny hodinové energetické zisky pro celý rok a bylo zakresleno umístění panelů na střeše.

Byl proveden výpočet energetické a finanční bilance pro tři varianty. První varianta uvažovala zachování objektu ve stávajícím stavu. Ve druhé variantě bylo počítáno se vzduchotechnickým systémem s rekuperační jednotkou a v poslední třetí variantě bylo zahrnuto využití kombinace vzduchotechniky a hybridních panelů. Při výpočtu tepelných energetických zisků byla uvažována regulace, kdy, pokud je výstupní teplota z řady panelů vyšší než teplota uvnitř objektu, bude v rekuperačním výměníku sepnut by-pass a vzduch

bude proudit přímo do objektu. Pokud bude výstupní teplota z řady panelů nižší než teplota uvnitř objektu, bude vzduch ohříván i v rekuperačním výměníku vzduchotechnického systému.

Výsledky porovnání jednotlivých variant jsou následující. Spotřeba elektrické energie v referenční variantě činila 11 468 kWh za rok. Spotřeba u druhé varianty klesla na 10 464 kWh za rok a úspora tedy činila 9 %. Výraznější úspora byla dosažena u třetí varianty, kdy byla roční spotřeba elektrické energie objektu snížena na 6477 kWh, tedy o 44 % vůči referenční variantě.

Prosté doby návratnosti byly 26,4 let pro druhou variantu a 15,4 let pro třetí variantu. Dále byla vypočtena diskontovaná doba návratnosti s uvažovanou diskontní mírou 4 %. Druhá varianta s rekuperačním výměníkem nedosáhla za uvažovanou dobu 30 let návratnosti. Třetí varianta dosáhla návratnosti za necelých 25 let. Při uvažování růstu ceny elektrické energie o 3 % se návratnost třetí varianty snížila na necelých 18 let a při růstu ceny elektrické energie o 5 % nastává návratnost po necelých 16 letech. Druhá varianta nedosáhla návratnosti ani při jednom z uvedených růstů cen.

Je patrné, že investice do vzduchotechnického systému s rekuperačním výměníkem není z finančního hlediska výhodná a její přínos spočívá v lepší regulaci přísunu vzduchu a jeho lepší kvalitě díky filtraci. Ani investici do vzduchotechnického systému společně s hybridními panely při uvažované konfiguraci nelze považovat za příliš výhodnou, jelikož komponenty jako baterie či střídač bude potřeba během posuzovaných 30 let v určitém roce vyměnit, což ještě prodlouží návratnost investice. Lze však předpokládat, že výhodnou investicí by byl nákup hybridní fotovoltaiky u objektů, kde je již vzduchotechnický systém implementován.

15 Seznam použité literatury

- [1] Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, 2021: Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- [2] IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- [3] BYDLENÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ČÍSLECH. MMR [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.mmr.cz/getmedia/44278f53-e63a-4dc5-8694-922df2853088/BvCZ-online-CZ.pdf.aspx?ext=.pdf>
- [4] Kjótský protokol. Informační portál energetické gramotnosti [online]. 2018 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/kjotsky-protokol>
- [5] Pařížská dohoda. Informační portál energetické gramotnosti [online]. 2018 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/parizska-dohoda#article-top>
- [6] Státní energetická koncepce České republiky. MPO [online]. Praha, 2021, 2014 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>

- [7] How do Photovoltaics Work? Nasa Science [online]. USA, 2021 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>
- [8] Photovoltaic effect. Energy Education [online]. Calgary, 2015 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect
- [9] Diode operation. Energy Education [online]. Calgary, 2015 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Diode_operation
- [10] Emmanuel De Jaeger, Renewable and Non-Conventional Sources of Electrical Energy [Přednáška] Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain 2021 [cit. 2021-10-13].
- [11] Princip fotovoltaického článku. Elekrika [online]. 2009 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://elekrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>
- [12] STC and NOCT – Solar Panel Test Conditions Explained. Solar design guide [online]. 2021 [cit. 2021-10-13]. Dostupné z: <https://solardesignguide.com/stc-and-noct-solar-panel-test-conditions-explained/>
- [13] MATUŠKA, Tomáš. Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [14] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [15] Fabbri, Gianluca & NISTICÒ, ELEONORA & Santini, Ezio. (2005). Building Simulation Modeling Environments. 4., https://www.researchgate.net/publication/253938521_Building_Simulation_Modeling_Environments
- [16] Fill factor. Seaward [online]. 2021 [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://www.seaward.com/gb/support/solar/faqs/31170-what-is-the-pv-fill-factor/>
- [17] Sharma, Dinesh & Purohit, Ghanshyam. (2014). Analysis of the Effect of Fill Factor on the Efficiency of Solar PV System for Improved Design of MPPT.

- [18] Simón Roa Díaz, A generalized theoretical approach for solar cells fill factors by using Shockley diode model and Lambert W-function: A review comparing theory and experimental data, *Physica B: Condensed Matter*, Volume 624, 2022, 413427, ISSN 0921-4526, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.413427>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921452621005901>)
- [19] SCHMIDT, Bernd. Thin film solar cells. Docplayer [online]. 2008 [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://docplayer.net/55372725-Thin-film-solar-cells.html>
- [20] William Shockley and Hans J. Queisser , "Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction Solar Cells", *Journal of Applied Physics* 32, 510-519 (1961) <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
- [21] Hailu, G.; Fung, A. Optimum Tilt Angle and Orientation of Photovoltaic Thermal System for Application in Greater Toronto Area, Canada. *Sustainability* 2019, 11(22), 6443; <https://doi.org/10.3390/su11226443>.
- [22] BECHNÍK, Bronislav. Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. TZBinfo [online]. 2014 [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [23] J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Solar panel orientation [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation. [Accessed: October 15, 2021].
- [24] Ankur Kumar Gupta, Tanmoy Maity, Anandakumar H, Yogesh Kumar Chauhan, An electromagnetic strategy to improve the performance of PV panel under partial shading, *Computers & Electrical Engineering*, Volume 90, 2021, 106896, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106896>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045790620307485>)
- [25] Shaharin Anwar Sulaiman, Atul Kumar Singh, Mior Maarof Mior Mokhtar, Mohammed A. Bou-Rabee, Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels, *Energy Procedia*, Volume 50, 2014, Pages 50-56, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.006>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214007425>)

- [26] V. Poulek, T. Matuška, M. Libra, E. Kachalouski, J. Sedláček, Influence of increased temperature on energy production of roof integrated PV panels, *Energy and Buildings*, Volume 166, 2018, Pages 418-425, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.063>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881733726X>)
- [27] How does temperature and irradiance affect I-V curves? Seaward [online]. 2021 [cit. 2021-10-20]. Dostupné z: <https://www.seaward.com/gb/support/solar/faqs/00797-how-does-temperature-and-irradiance-affect-i-v-curves/>
- [28] FRANKLIN, Ed. Solar Photovoltaic (PV) System Components [online]. In: . Tucson: The University of Arizona, 2018 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1742-2018.pdf>
- [29] Hrzina, Pavel (lektor), Fotovoltaické systémy připojené k elektrické síti [online] Praha ČVUT v Praze 2018 [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016_svs6a.pdf
- [30] Maik Naumann, Ralph Ch. Karl, Cong Nam Truong, Andreas Jossen, Holger C. Hesse, Lithium-ion Battery Cost Analysis in PV-household Application, *Energy Procedia*, Volume 73, 2015, Pages 37-47, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.555>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215013235>)
- [31] ŠPINA, Martin. Li-ion baterie: Porovnání nejpoužívanějších typů. *O Energetice* [online]. Třebíč [cit. 2022-01-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/li-ion-baterie-porovnani-nejpouzivanejsich-typu>
- [32] Ponnusamy, Manimekalai. (2013). An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems. *International Journal of Computer Applications*.
https://www.researchgate.net/publication/278670768_An_Overview_of_Batteries_for_Photovoltaic_PV_Systems
- [33] MATAJS, Vladimír. Virtuální baterie: podvod nebo zázrak?. *Solární Experti* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/virtualni-baterie-net-metering-porovnani-vyhodnosti/>
- [34] BUCHTA, Luboš. Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory – přehled. *TZBinfo* [online]. 2012 [cit. 2020-02-25]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9138-solarni-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-prehled>
- [35] POKORNÝ, Nikola a Tomáš MATUŠKA. Hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory ve světle nové statistiky. *TZBinfo* [online]. 2019 [cit. 2020-02-29]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/20002-hybridni-fotovoltaicko-tepelne-kolektory-ve-svetle-nove-statistiky>

- [36] Kim, Jt & Park, Se-Hyeon & Kim, Jun-Tae. (2014). Experimental Performance of a Photovoltaic-thermal Air Collector. Energy Procedia. 48. 888-894. 10.1016/j.egypro.2014.02.102.
- [37] HOLLICK, John. Method and apparatus for cooling ventilation air for a building. 2014. USA. US8827779B2. Zapsáno 2014-09-09.
- [38] John Molson School of Business Concordia University, Montreal [online]. In: . s. 1-2 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: https://www.solarwall.com/wp-content/uploads/2018/09/JohnMolsonConcordia_Y09_SolarWallCaseStudy.pdf
- [39] Statement of verification. <https://ec.europa.eu/> [online]. 2021 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/sites/default/files/etv/in20150089fr01e_-_cogenair_-_panels_with_combined_pv_and_solar_thermal_production_-_verification_statement_-_en.pdf
- [40] Installation of photovoltaic panels. Francie. FR2941478B1. Zapsáno 2011-02-11.
- [41] Existing PVT systems and solutions. SHC [online]. 2020, 2020, 94-97 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: doi:10.18777/ieashc-task60-2020-0001
- [42] Sumit Tiwari, Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari, PVT air collector integrated greenhouse dryers, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 90, 2018, Pages 142-159, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.043>.
- [43] ČSN 73 0540-2 (730540). Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. 10/2011. Praha: Centrum technické normalizace, 2011.
- [44] ČSN 06 0210 (060210). Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. 05/1994. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [45] MICHAL, Petr a Josef HODBOŤ. Zkušenosti s provozem tepelných čerpadel – díl 1. Počet startů. TZBinfo [online]. 2022 [cit. 2022-03-16]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23303-zkusenosti-s-provozem-tepelnych-cerpadel-dil-1>
- [46] BAŠTA, Jiří. Otopné plochy. Praha: ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2365-6.
- [47] VAVŘIČKA, Roman. Použité vzorce pro výpočty programu PV_1.1. Users.fs.cvut [online]. Praha, 2022, 2012 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/PV11.pdf>
- [48] ČSN EN 1264 (060315). Zabudované vodní velkoplošné otopné a chladičí soustavy. 11/2021. Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [49] Vyhláška č. 194/2007 Sb. Zakonyprolidi [online]. 2007 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-194>
- [50] ČSN EN 12831. Energetická náročnost budov. 10/2018. Praha: Český normalizační institut, 2018.

- [51] Informační list OKCE. Topenilevne [online]. 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-okce-200-4kw-p43864/>
- [52] Energy savings. European Commission [online]. 2014 [cit. 2021-10-25]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Guidance%20document_Lot%2026_Networked%20Standby_clean%20FIN.pdf
- [53] PVGIS. Ec.europa. [online]. European Union, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [54] ZMRHAL, Vladimír. Popis výpočtu tepelné zátěže klimatizovaných prostor podle ČSN. Users.fs.cvut [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf
- [55] ČSN 73 0548 (730548). Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Český normalizační institut, 1986.
- [56] Kenny, Robert & Huld, Thomas & Iglesias, Susana. (2006). Energy rating of PV modules based on PVGIS irradiance and temperature database. https://www.researchgate.net/publication/229044353_Energy_rating_of_PV_modules_based_on_PVGIS_irradiance_and_temperature_database
- [57] Olšan, T. & Marí Soucase, Bernabé & Libra, M.. (2018). Comparison of predicted and real parameters of PV systems in the Czech Republic and Spain. Agronomy Research. 16. 1150-1158. 10.15159/AR.18.033. <http://dx.doi.org/10.15159/ar.18.033>
- [58] HelioClim. Soda-pro [online]. MINES ParisTech, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.soda-pro.com/help/helioclim/helioclim-3-overview>
- [59] Fiche technique VSYS certifié et R-VOLT 300WC pose sur toiture. Systovi [online]. CARQUEFOU, 2021 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: https://www.systovi.com/wp-content/uploads/2021/06/FICHE_1.pdf
- [60] MATUŠKA, Tomáš. Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. TZBinfo [online]. 2016 [cit. 2022-01-27]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [61] Fudholi, Ahmad & Fazleena, Mariyam & Ridwan, Abrar & Yendra, R. & Desvina, Ari & Rahmadeni, Rahmadeni & Suyono, Tri & Sopian, Kamaruzzaman. (2019). Energy and exergy analysis of air based photovoltaic thermal (PVT) collector: a review. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 9. 109. 10.11591/ijece.v9i1.pp109-117.
- [62] Měnič Fronius Symo 3.0-3-S 3000VA 4,3A. Ecoproduct [online]. Kanianka, 2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://ecoproduct.cz/p/77908-menic-fronius-symo-3-0-3-s-3000va-4-3a-18193>
- [63] MATUŠKA, Tomáš. Fotovoltaika – systémy. Ústav Techniky Prostředí [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P8_FV_systemy.pdf

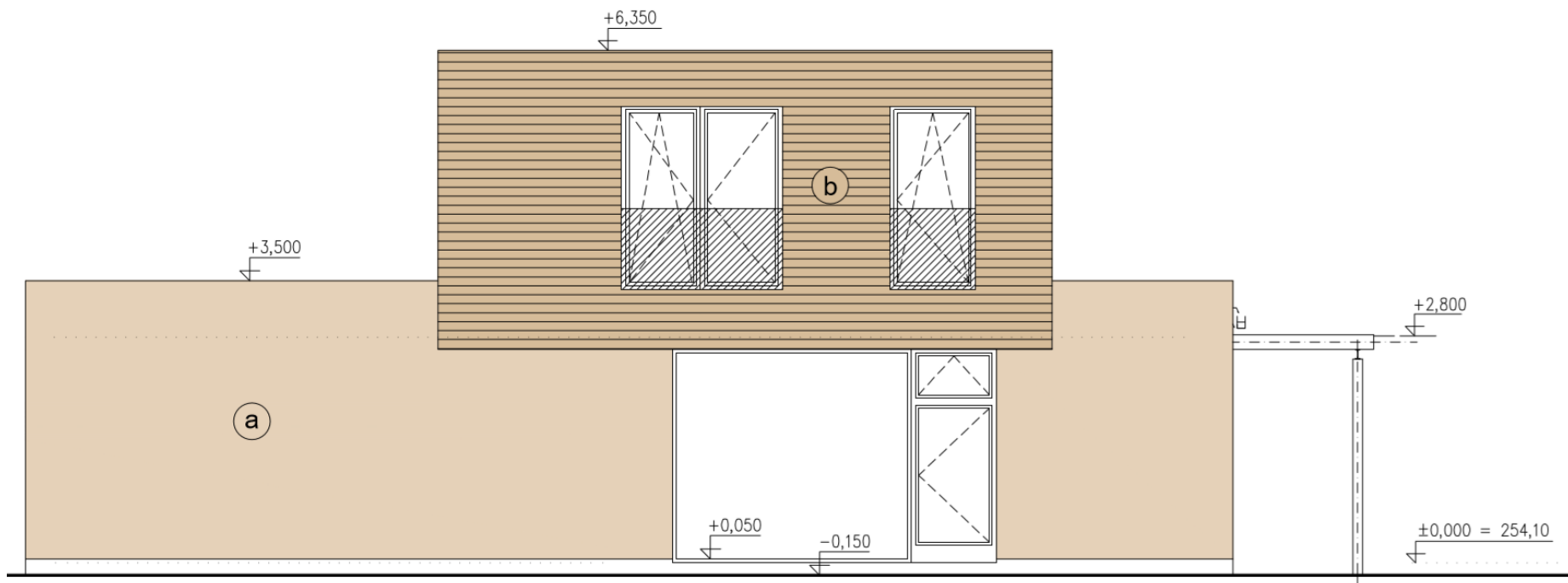
- [64] How to calculate inter-row spacing on ground or flat roof top solar plant. ESun Solar [online]. 2020 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <http://esunsolar.in/how-to-calculate-inter-row-spacing-on-ground-or-flat-roof-top-solar-plant/>
- [65] ZMRHAL, Vladimír a Petr ŠTÁVOVÁ. Nové požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy k ČSN EN 15665. Vytápění, větrání, instalace [online]. 2011, 2011(4), 184 - 186 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2011-04_p184.pdf
- [66] ČSN EN 15665/Z1. Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Z1. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2011.
- [67] ZIKÁN, Zdeněk. Zpětné získávání tepla a větrání objektů. TZBinfo [online]. 2021, 22.3.2010 [cit. 2021-11-13]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [68] LAIN, Miloš. Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I). TZBinfo [online]. 2006 [cit. 2021-11-16]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [69] ROTAČNÍ VÝMĚNÍKY TEPLA. Kastt [online]. Hradec Králové: KASTT, spol. s r.o., 2021 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://kastt.cz/wp-content/uploads/2017/11/Rotory.pdf>
- [70] POSTUPA, Martin a Vladimír ZMRHAL. Rotační výměníky a podmínky pro jejich bezporuchový provoz. Vytápění, větrání, instalace [online]. 2018, 2018(2), 100-104 [cit. 2021-11-14]. ISSN 1210-1389. Dostupné z: <https://docplayer.cz/188809941-Rotacni-vymeniky-a-podminky-pro-jejich-bezporuchovy-provoz.html>
- [71] Jakým způsobem pracuje rotační výměník tepla? Remak [online]. Rožnov pod Radhoštěm: REMAK, 2021 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: <https://www.remak.eu/cs/jakym-zpusobem-pracuje-rotacni-vymenik-tepla>
- [72] TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO ROTAČNÍ VÝMĚNÍKY ZZT. Kastt [online]. Hradec Králové: KASTT, spol. s r.o., 2017 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: https://kastt.cz/wp-content/uploads/2018/05/TECHNICKE_PODMINKY_RV_2017_v1.0.pdf
- [73] Projekční podklady a pomůcky - Výpočet tlakových ztrát při proudění tekutin potrubím. Tzb.fsv [online]. Praha [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=24>
- [74] ZMRHAL, Vladimír. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 2. část Ventilátory. Vetrani.tzb-info [online]. Praha, 2006 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3769-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-2-část>
- [75] Lotfi Zeghadnia, Jean Loup Robert, Bachir Achour, Explicit solutions for turbulent flow friction factor: A review, assessment and approaches classification, Ain Shams Engineering Journal, Volume 10, Issue 1, 2019, Pages 243-252, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.10.007>.
- [76] LABOUTKA, Karel. Hodnoty součinitelů místních ztrát - základní tvarovky v potrubí. Tzb-info [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zakladni-tvarovky-v-potrubi>

- [77] Václav Dvořák, Tomáš Vít, CAE methods for plate heat exchanger design, Energy Procedia, Volume 134, 2017, Pages 234-243, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.613>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217347471>)
- [78] Katalog prvků. Atrea [online]. Jablonec nad Nisou, 2015 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/ke-stazeni-divize-vetrani-teplovzduzne-vytapeni-rodinnych-domu-bytu>
- [79] Ong KS. Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure. Solar Energy 1995;55(2):93-109. SELECTED TOPICS in SYSTÉM
- [80] ČSN EN ISO 9806 (730304). Solární energie - Solární tepelné kolektory - Zkušební metody. 06/2018. Český normalizační institut, 2018.
- [81] Solar Aerovoltaic R-Volt. Solar-aerovoltaic [online]. Franice, 2017 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: http://solar-aerovoltaic.com/wp-content/uploads/2016/06/Brochure_R-VOLT_PLUS_ENG.pdf
- [82] Hematian, Amir. (2012). Experimental analysis of flat plate solar air collector efficiency. Indian Journal of Science and Technology. 5. 10.17485/ijst/2012/v5i8.3.
- [83] Poonam Rani, P.P. Tripathy, Thermal characteristics of a flat plate solar collector: Influence of air mass flow rate and correlation analysis among process parameters, Solar Energy, Volume 211, 2020, Pages 464-477, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.057>.
- [84] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [85] Martinez-Rodriguez G., Fuentes-Silva A.L., Picon-Nunez M., 2018, Targeting the Maximum Outlet Temperature of Solar Collectors , Chemical Engineering Transactions, 70, 1567-1572. <https://doi.org/10.3303/CET1870262>
- [86] MATUŠKA, Tomáš. Analýza využití solárních vzduchových kolektorů pro vytápění rodinného domu. TZBinfo [online]. 2018 [cit. 2022-02-12]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/teplovzduzne-vytapeni/17641-analyza-vyuziti-solarnich-vzduchovych-kolektoru-pro-vytapeni-rodinneho-domu>

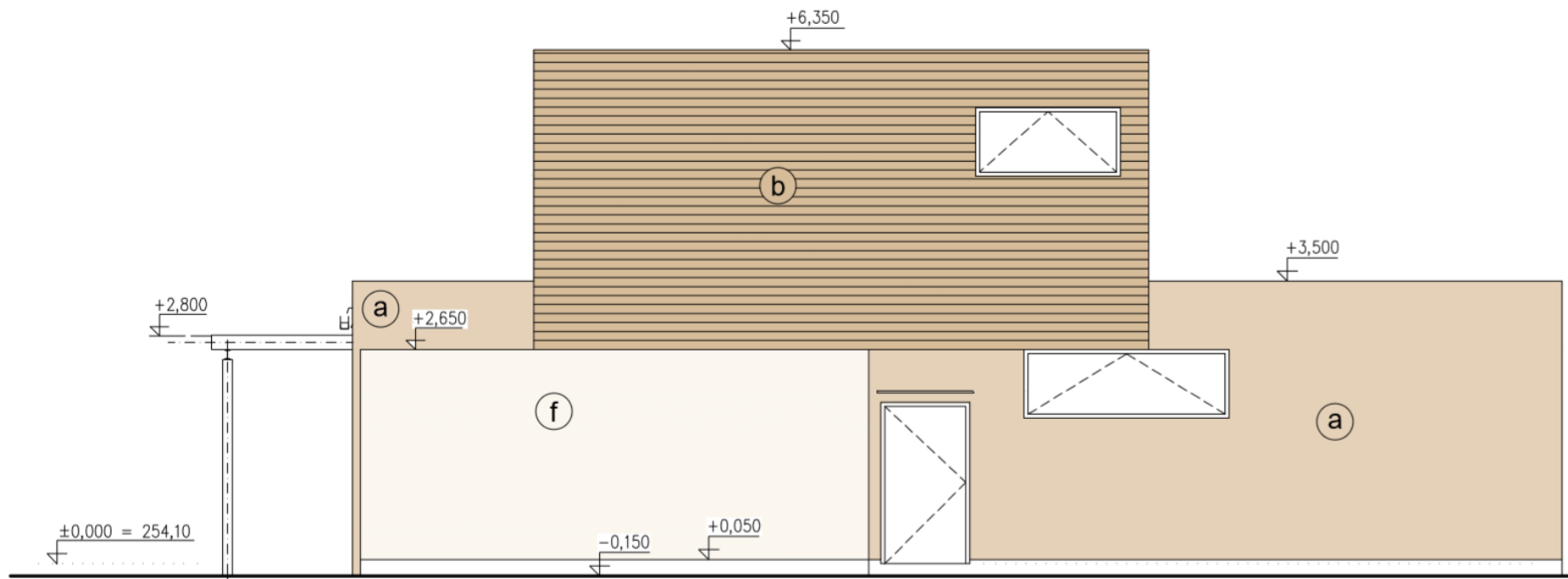
Seznam příloh

Příloha č.1	Pohledy objektu - Jižní pohled
Příloha č.2	Pohledy objektu – Severní pohled
Příloha č.3	Pohledy objektu – Východní pohled
Příloha č.4	Pohledy objektu – Západní pohled
Příloha č.5	Výkresová dokumentace – 1.NP
Příloha č.6	Výkresová dokumentace – 2.NP
Příloha č.7	Výkresová dokumentace – Řez objektem
Příloha č.8	Přehled ceníku E.ON – Jaro 2022
Příloha č.9	Přehled spotřeby elektrické energie spotřebičů rodinného domu ve všedním dnu
Příloha č.10	Přehled Spotřeby elektrické energie spotřebičů rodinného domu o víkendovém dnu
Příloha č.11	Schéma vzduchotechniky 1.NP
Příloha č.12	Schéma vzduchotechniky 1.NP - detail
Příloha č.13	Schéma vzduchotechniky 2.NP
Příloha č.14	Střecha
Příloha č.15	Otopná soustava

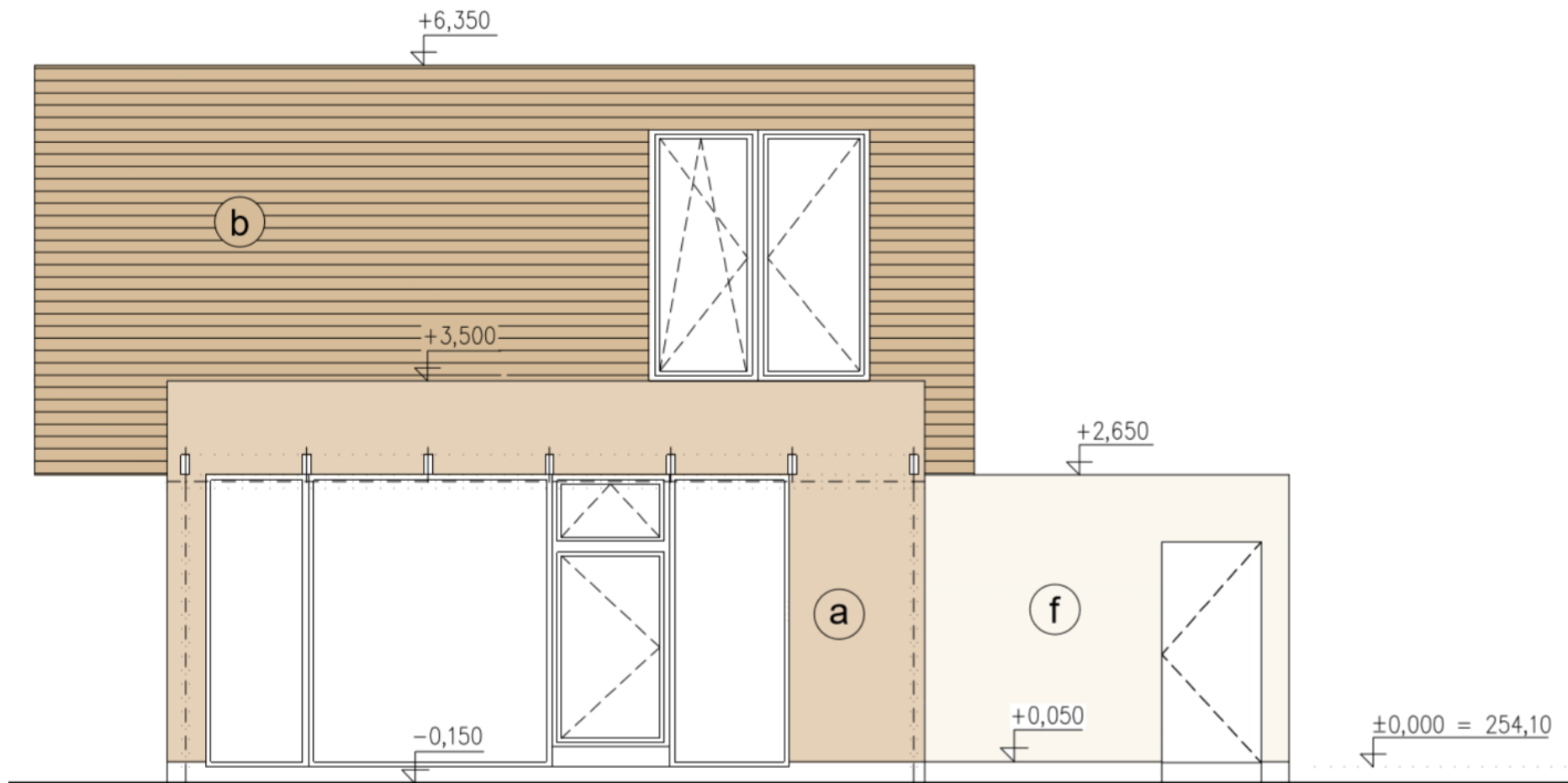
Příloha 1 Pohledy objektu – Jižní Pohled



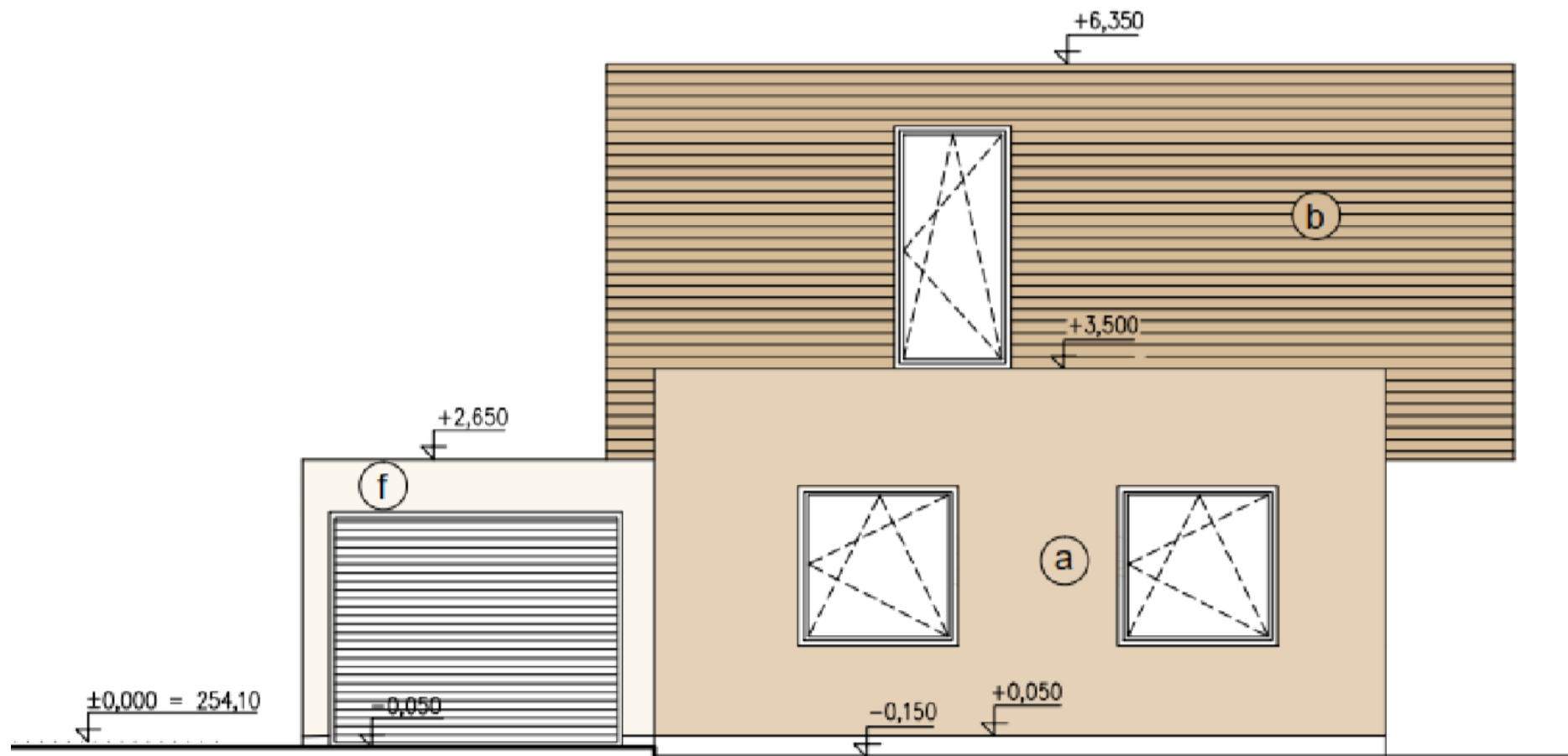
Příloha 2 Pohledy objektu – Severní pohled

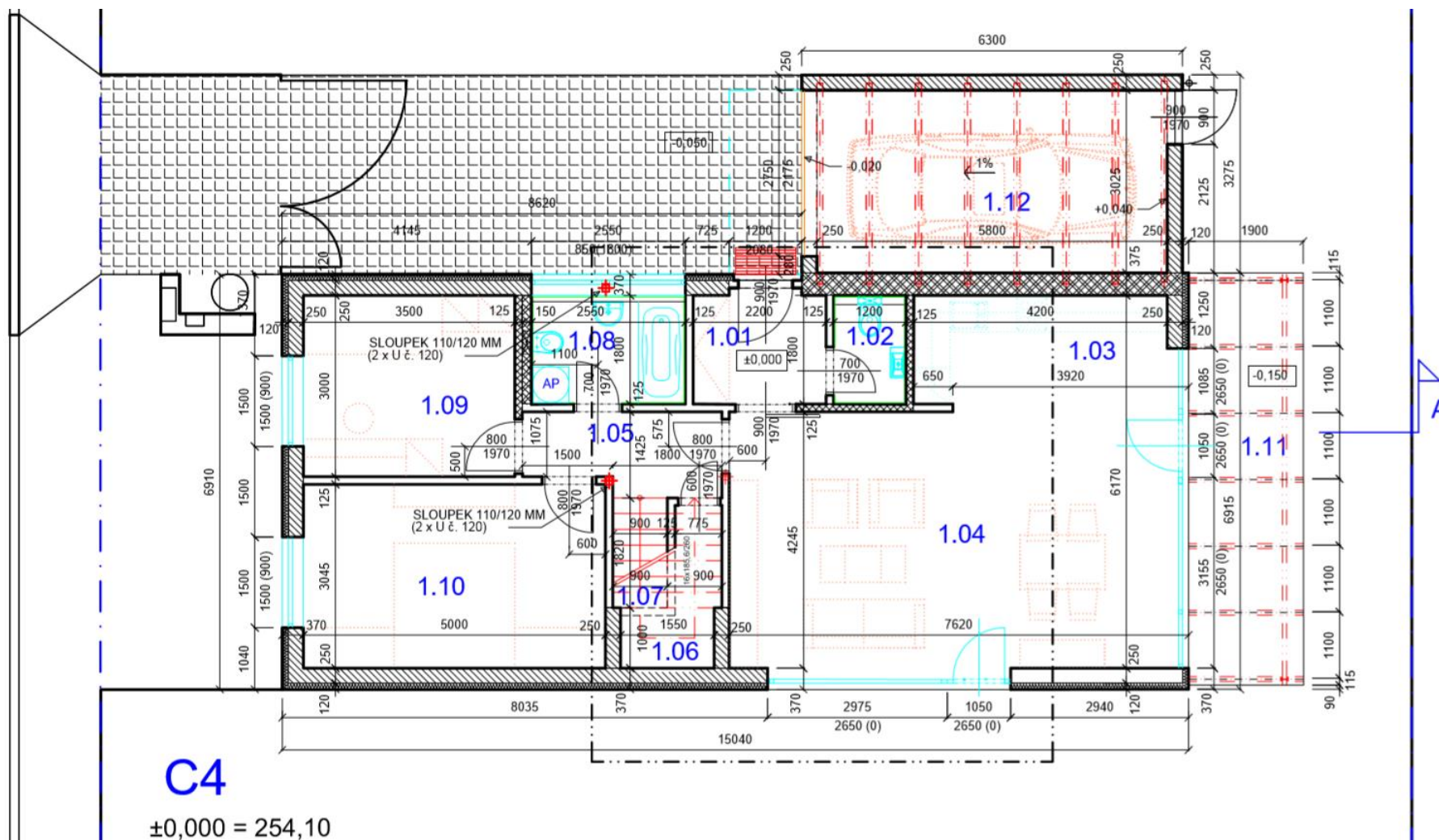


Příloha 3 Pohledy objektu – Východní pohled

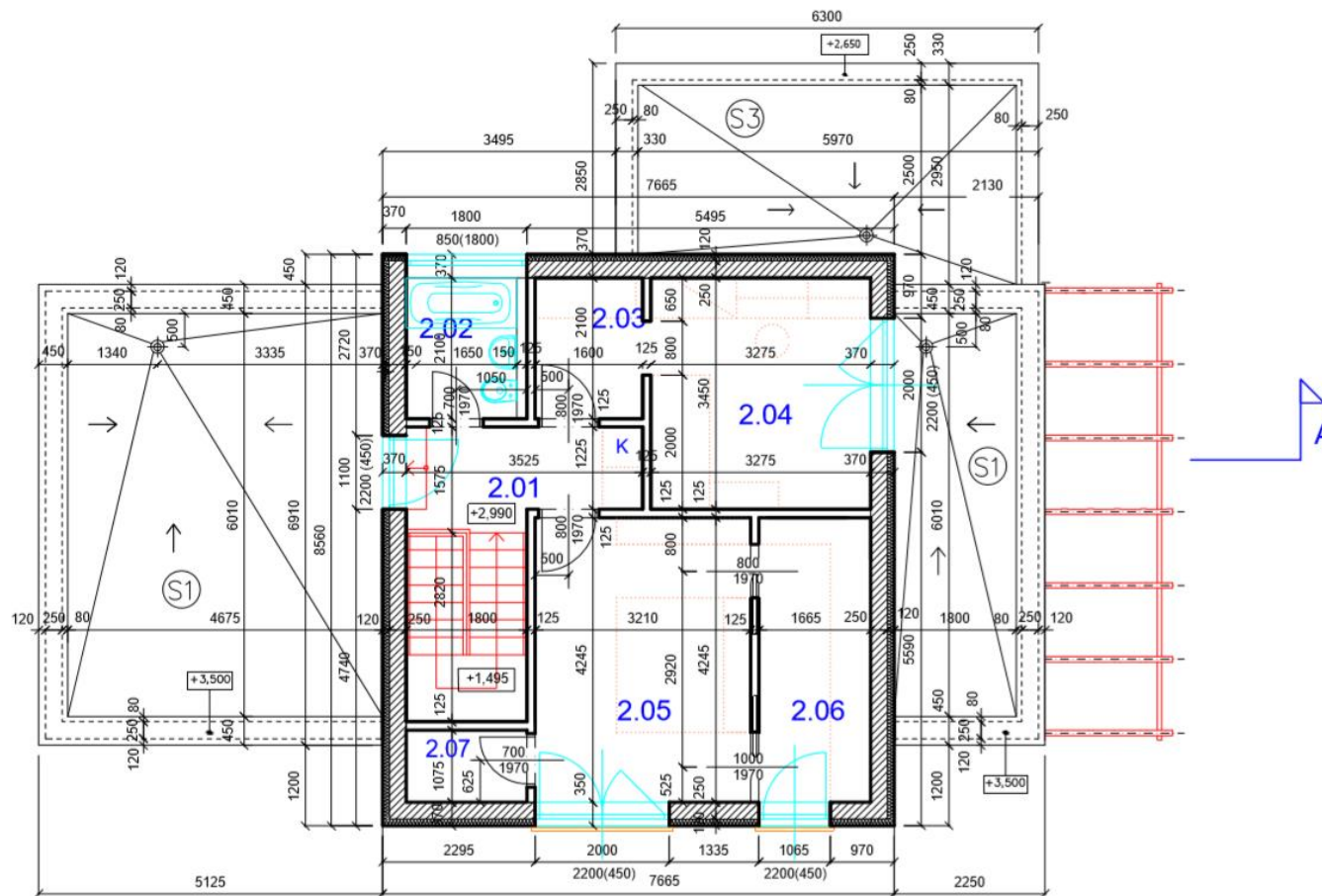


Příloha 4 Pohledy objektu – Západní pohled





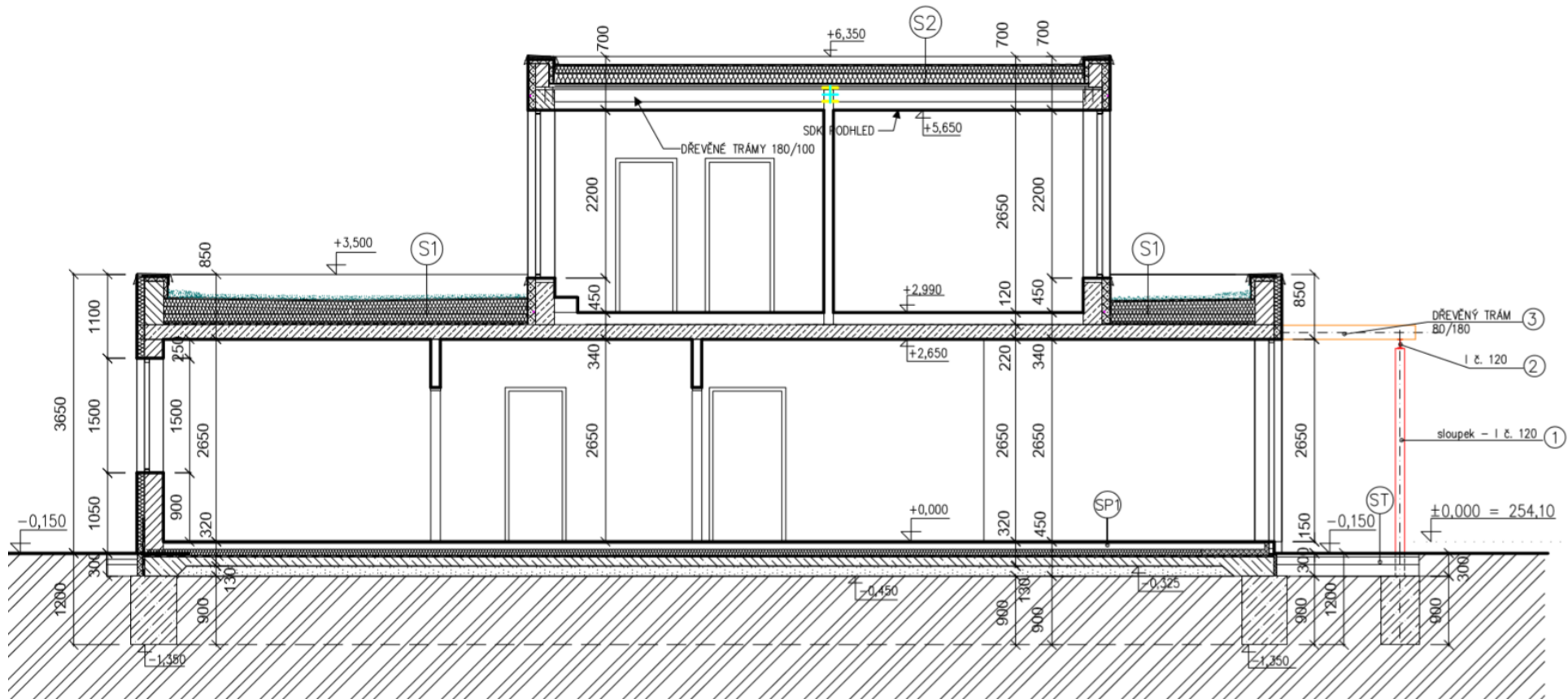
Příloha 6 Výkresová dokumentace – 2.NP



C4

±0,000 = 254,10

Příloha 7 Výkresová dokumentace – Řez objektem



Ceník E.ON			
ceny bez DPH	Položka	Jednotky	Cena
Neregulovaná složka	Cena ve vysokém tarifu (VT)	Kč/MWh	4906
	Cena v nízkém tarifu (NT)	Kč/MWh	4755
	Stálý měsíční plat	Kč/Měsíc	79
Regulovaná složka	Cena ve vysokém tarifu distribuce (VT)	Kč/MWh	238,57
	Cena v nízkém tarifu distribuce (NT)	Kč/MWh	189,26
	Jistič do 3x10 A a do 1x1,25 A včetně [Kč/měsíc]	Kč/Měsíc	128
	Daň z elektřiny	Kč/MWh	28,3
	Cena za systémové služby	Kč/MWh	113,53
	Cena za činnost operátora trhu (OTE)	Kč/Odběrné místo/měsíc	4,2
	Cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	dle Jističe v Kč/A/Měsíc	11,84
		dle spotřeby v Kč/MWh	495
Celková cena	Cena ve vysokém tarifu (VT)	Kč/MWh	5286,4
	Cena v nízkém tarifu (NT)	Kč/MWh	5086,09
	Měsíční platby	Kč/Měsíc	211,2
	Cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE)	Kč/A/měsíc	11,84

Příloha 9 Přehled spotřeby elektrické energie spotřebičů rodinného domu ve všedním dnu

Spotřebič	Příkon [W]	Délka provozního režimu VT [hod]	Délka stand-by režimu NT [hod]	Počet kusů [1]	Spotřeba [Wh]
Obytné místnosti					
Elektronický budík	3	24	0	4	288
PC, Externí disk	300	1	0	2	600
Minivěž	30	1	23	1	53
Nabíječka na telefon, tablet	1	1	0	5	5
Rádio	10	2	22	2	84
Router	12	24	0	1	288
LED televize	70	2	22	1	162
Kuchyně					
Elektrická trouba	2800	0,5	0	1	1400
Kávovar	1000	0,3	23,7	1	323,7
Lednička a mrazák	800	4	0	1	3200
Kuchyňský robot	400	0,1	0	1	40
Mikrovlnná trouba	1000	0,1	23,9	1	123,9
Mixér	700	0,1	0	1	70
Myčka	1400	1	0	1	1400
Sklokeramická varná deska	2400	0,3	0	1	720
Toustovač	800	0,2	0	1	160
Varná konvice	2000	0,1	0	1	200
Topinkovač	850	0,1	0	1	85

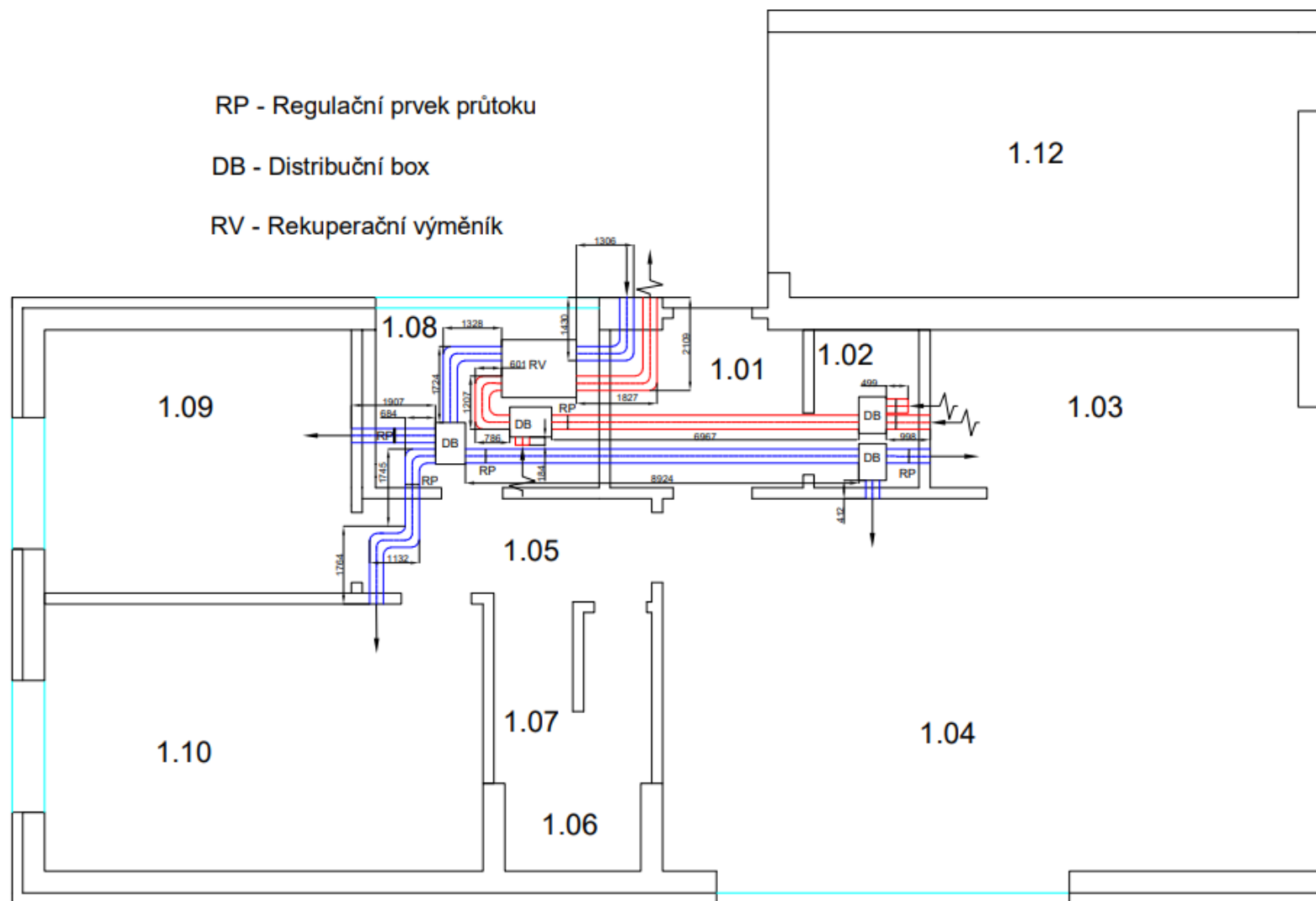
Spotřebič	Příkon [W]	Délka provozního režimu VT [hod]	Délka stand-by režimu NT [hod]	Počet kusů [1]	Spotřeba [Wh]
Koupelna					
Elektrický kartáček	10	0,1	0	4	4
Fén	1500	0,1	0	1	150
Holící strojek	6	0,1		1	0,6
Pračka	2200	1	0	1	2200
Osvětlení					
Stolní lampa	11	1,5	22,5	4	156
Úsporné žárovky	15	1	0	10	150
Ostatní spotřebiče					
Vysavač	900	0,1	0	1	90
Žehlička	1000	0,2	0	1	200

Příloha 10 Přehled Spotřeby elektrické energie spotřebičů rodinného domu o víkendovém dnu

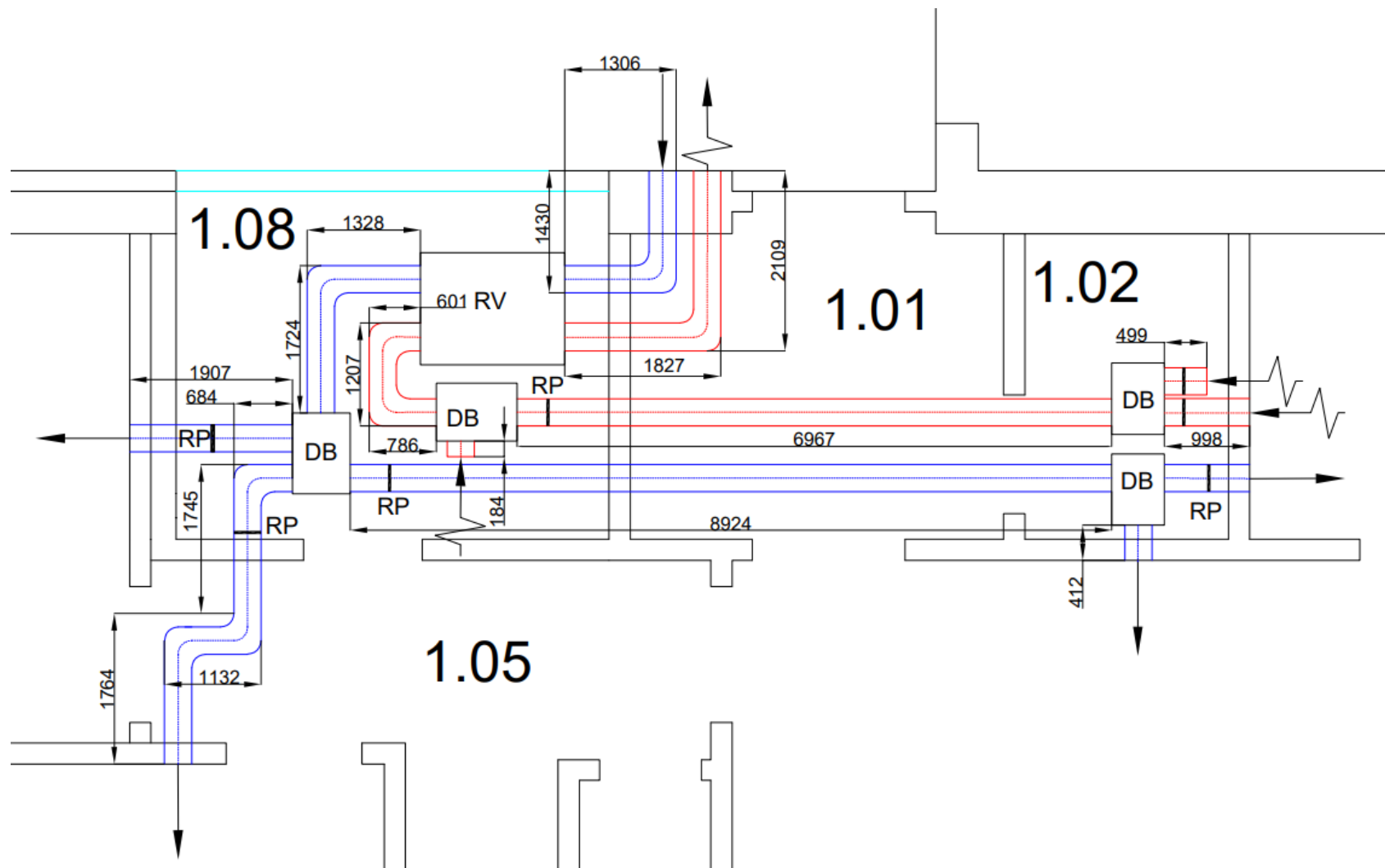
Spotřebič	Příkon [W]	Délka provozního režimu [hod]	Délka stand-by režimu [hod]	Počet kusů [1]	Spotřeba [Wh]
Obytné místnosti					
Elektronický budík	3	24	0	4	288
Externí disk	300	1	0	2	600
Minivěž	30	3	23	1	113
Nabíječka na telefon, tablet	10	1	0	5	50
Rádio	10	3	22	2	104
Router	12	24	0	1	288
LED televize	70	4	22	1	302
Kuchyně					
Elektrická trouba	2800	2	0	1	5600
Kávovar	1000	0,8	23,2	1	823,2
Lednička a mrazák	800	4	0	1	3200
Kuchyňský robot	400	0,3	0	1	120
Mikrovlnná trouba	1000	0,4	23,6	1	423,6
Mixér	700	0,2	0	1	140
Myčka	1400	1	0	1	1400
Sklokeramická varná deska	2400	1	0	1	2400
Toustovač	800	0,3	0	1	240
Varná konvice	2000	0,3	0	1	600
Topinkovač	850	0,2	0	1	170

Spotřebič	Příkon [W]	Délka provozního režimu [hod]	Délka stand-by režimu [hod]	Počet kusů [1]	Spotřeba [Wh]
Koupelna					
Elektrický kartáček	10	0,1	0	4	4
Fén	1500	0,1	0	1	150
Holící strojek	6	0,1		1	0,6
Pračka	2200	1	0	1	2200
Osvětlení					
Stolní lampa	11	1,5	22,5	4	156
Úsporné žárovky	15	5	0	10	750
Ostatní spotřebiče					
Vysavač	900	0,1	0	1	90
Žehlička	1000	0,2	0	1	200

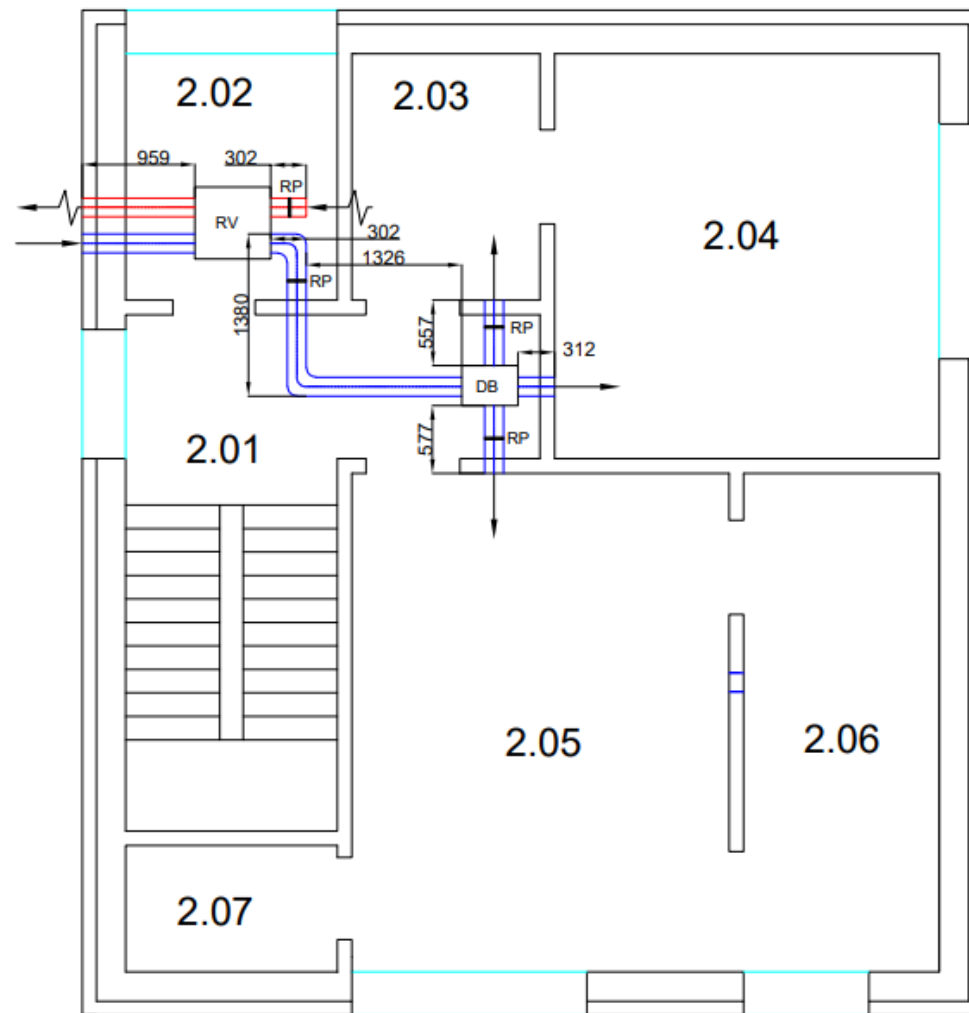
Příloha 11 Schéma vzduchotechniky 1.NP



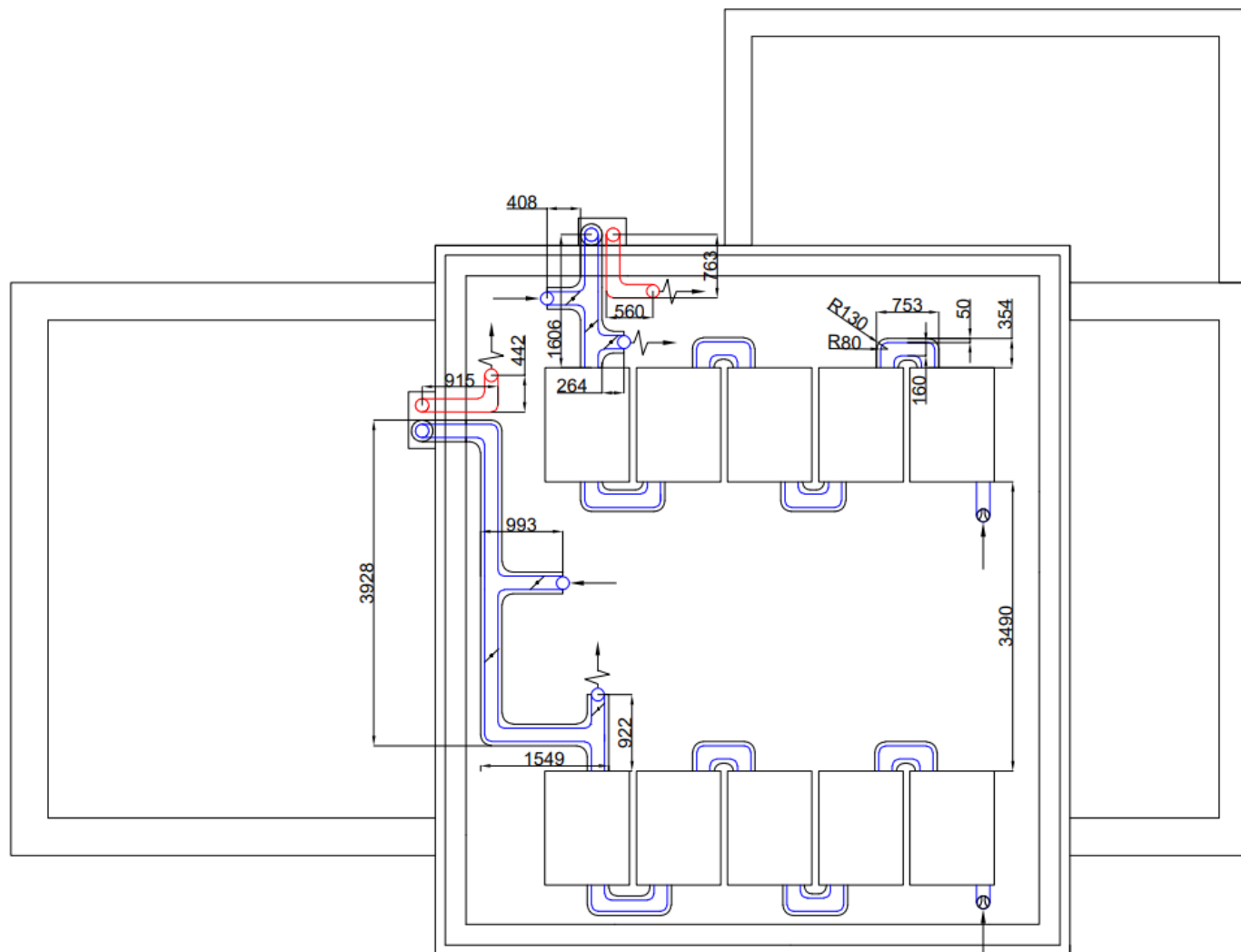
Příloha 12 Schéma vzduchotechniky 1.NP - detail



Příloha 13 Schéma vzduchotechniky 2.NP



Příloha 14 Střecha



Příloha 15 Otopná soustava

