

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2021

**LIBOR
ŠLEFR**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šlefr** Jméno: **Libor** Osobní číslo: **474823**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojirenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Dodatečná instalace tepelného čerpadla a fotovoltaických zdrojů energie do stávajícího RD

Název bakalářské práce anglicky:

Installation of the heat pump and photovoltaic energy sources to the existing family house

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte úpravu otopné soustavy a stavební konstrukce stávajícího rodinného domu pro optimální použití tepelného čerpadla s využitím fotovoltaických zdrojů energie pro zimní období a navrhněte elektrickou sálavou otopnou plochu pro vytápění v přechodném období s využitím fotovoltaických zdrojů energie. Cílem práce je automatický provoz otopné soustavy při zajištění tepelné pohody ve vytápěných místnostech a snížených nákladech na vytápění.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **22.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Praze dne:

.....

Libor Šlefr

Anotační list

Jméno autora:	Libor Šlefr
Název BP:	Dodatečná instalace tepelného čerpadla a fotovoltaických zdrojů energie do stávajícího rodinného domu
Anglický název:	Additional installation of heat pump and photovoltaic energy sources to the existing family house
Akademický rok:	2020/2021
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky/Energetika a procesní technika
Vedoucí BP:	Ing. Martin Neužil, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 76 Počet obrázků: 26 Počet tabulek: 24 Počet grafů: 6 Počet příloh: 8
Klíčová slova:	tepelná ztráta, fotovoltaika, fotovoltaický panel, tepelné čerpadlo, návratnost, topná soustava
Keywords:	heat loss, photovoltaics, photovoltaic panel, heat pump, payback period, heating system
Anotace:	Tato práce se zabývá optimalizací tepelných ztrát rodinného domu s přihlédnutím na optimální provoz tepelného čerpadla a využitím produkce elektřiny z fotovoltaické elektrárny.
Abstract:	This bachelor thesis deals with an optimization of heat losses of a family house, considering the optimal operation of the heat pump and the use of electricity production from a photovoltaic power plant.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce, panu Ing. Martinu Nežilovi, Ph.D., za odborné vedení a poskytnutí času a užitečných rad, které jsem mohl využít při zpracování mé bakalářské práce.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Výtah z technické zprávy stavebního projektu	11
3.	Energetická bilance RD	14
3.1	Orientační výpočet tepelných ztrát RD	14
3.2	Součinitelé prostupu tepla	15
3.3	Tepelné ztráty prostupem	16
3.4	Průběhy teplot v konstrukcích	18
3.5	Tepelná ztráta infiltrací	19
3.6	Celková tepelná ztráta.....	20
3.7	Redukovaná tepelná ztráta.....	20
4.	Návrh tepelné izolace	21
4.1	Průběhy teplot v konstrukci s přidanou izolací.....	24
5.	Výpočet tepelných ztrát podle místností.....	26
6.	Návrh velkoplošného sálavého topného systému	30
6.1	Návrh termostatů.....	36
7.	Úvod do fotovoltaického systému.....	38
7.1	Fotovoltaický jev	38
7.2	Solární článek.....	39
7.3	Obecné výhody a nevýhody solární (FV) energie	41
7.4	Konfigurace střechy.....	41
7.4.1	Porovnání různých sklonů FV krytiny	42
8.	Solární panely	44
8.1	Výhody	45
8.2	Nevýhody	45
9.	Fotovoltaické střešní tašky.....	46
9.1	Výhody	46
9.2	Nevýhody	46
10.	Fotovoltaická plechová krytina	48
10.1	Výhody	48
10.2	Nevýhody	48
11.	Návrh FV elektrárny	49
11.1	Porovnání FV krytin	53

12.	Návrh tepelného čerpadla	54
12.1	Návrh otopných těles.....	54
13.	Ekonomické zhodnocení rekonstrukce objektu	57
13.1	Souhrn cen	58
14.	Doba návratnosti	59
14.1	Úspora tepla	59
14.2	Úspora elektřiny	59
14.3	Státní dotace	59
15.	Shrnutí.....	62
16.	Závěr	63
17.	Použitá literatura	64
18.	Seznam příloh	67

Seznam symbolů a zkratek

Označení	Jednotka	Název veličiny
RD		Rodinný dům
FV		Fotovoltaika
FVE		Fotovoltaická elektrárna
NP		Nadzemní podlaží
t_i	°C	Vnitřní výpočtová teplota
t_e	°C	Vnější oblastní výpočtová teplota
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
α_i	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěn a podlahy
α_e	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně stěn a střechy
α_s	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla na stropě 2. NP a suterénu
TUV		Teplá užitková voda
U	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla
ČSN		Česká technická norma (Česká soustava norem)
EN		Evropská norma
R_T	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor konstrukce
R_i	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
R_e	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_N	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor vícevrstvé konstrukce
s	m	Tloušťka konstrukční vrstvy
Q_{z_p}	W	Tepelná ztráta prostupem
S	m^2	Plocha konstrukce (stěny, okna...)
n	h^{-1}	Intenzita výměny vzduchu
c	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Měrná tepelná kapacita vzduchu
ρ	$kg \cdot m^{-3}$	Hustota vzduchu
V	m^3	Objem místností
$\dot{V}_{inf} = \dot{V}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	Infiltrační objemový tok vzduchu
\dot{M}	$kg \cdot s^{-1}$	Infiltrační hmotnostní tok vzduchu
$Q_{z_{inf}}$	W	Tepelná ztráta infiltrací
Δt	°C	Rozdíl teplot (vnitřní – vnější)
Q_z	W	Celková tepelná ztráta
$Q_{z_{red}}$	W	Redukovaná tepelná ztráta
$t_{\phi_{stř}}$	°C	Průměrná střední teplota vzduchu v měsíci
λ_{iz}	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti tepelně izolační vrstvy ????
R_{iz}	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor tepelně izolační vrstvy
P_p	$W \cdot m^{-2}$	Plošný výkon topné stropní fólie
$P_{p_{F1006}}$	$W \cdot m^{-2}$	Plošný výkon topné podlahové fólie
b	m	Šířka topné fólie
b_a	m	Aktivní šířka topné fólie
SDK		Sádrokarton

A	m^2	Plocha topné fólie
L	m	Délka topné fólie
P	W	Výkon topné stropní fólie
P_{F1006}	W	Výkon topné podlahové fólie
I	$W \cdot m^{-2}$	Intenzita dopadajícího slunečního záření
C	m^2	Plocha jednoho FV panelu
η	-	Účinnost FV panelů
m	-	Počet FV panelů
B0	$^{\circ}C$	Teplota země pro tepelné čerpadlo ($0^{\circ}C$)
W45	$^{\circ}C$	Teplota ohřáté vody vystupující z čerpadla ($45^{\circ}C$)
P_w	W	Tepelný výkon tepelného čerpadla
P_t	W	Tepelný výkon otopného tělesa
3f		Třífázový (střídač)
C-F	$K\check{c} \cdot rok^{-1}$	Cash flow (peněžní tok, roční zisk)
NPV		Net present value (čistá současná hodnota)

1. Úvod

„Dnešní projektování klade čím dál větší důraz na energetickou náročnost budov a výstavbu pasivních domů. Tato kvalitní výstavba vyžaduje komplexní řešení všech jejích součástí tak, aby spolu i každá samostatně měly co nejnižší nároky na dodávanou energii. Základem je kvalitní obálka budovy řešená s ohledem na požadavky na konstrukci ze všech pohledů, ať již se jedná o vytápění, tepelnou stabilitu v zimním období, zvukový útlum, statiku atd“ [1].

Cílem práce je spočítat energetickou bilanci skutečného rodinného domu, navrhnout jeho zateplení pro snížení tepelných ztrát a pro tyto snížené ztráty navrhnout optimální způsob vytápění domu.

Podle tepelných ztrát v zimním období se navrhne tepelné čerpadlo a v případě potřeby se uzpůsobí stávající teplovodní otopná soustava s otopnými tělesy.

Pro přechodné období se podle tepelných ztrát nejchladnějšího měsíce přechodného období navrhne vytápění pomocí velkoplošných elektrických sálavých fólií umístěných ve stropě nebo podlaze. Dále práce přiblíží princip fotovoltaiky (FV) a fotovoltaické střešní krytiny. Po zvolení nejvhodnější FV krytiny pro počítaný objekt se navrhne její instalovaný výkon, který by pokryl tepelné a některé elektrické potřeby budovy v přechodném období.

Celá rekonstrukce bude na závěr finančně ohodnocena a spočítá se doba její návratnosti.

2. Výťah z technické zprávy stavebního projektu

Jedná se o třípodlažní RD výstavby z roku 1970 vytápěný elektrokotlem a situovaný rohem balkónu na jih (úhlopříčka půdorysu končí u vchodových dveří do RD), což je důležité pro návrh FVE. První podlaží (suterén) má sníženou výšku a je částečně pod úrovní terénu. Suterén je nevytápěný, tj. nepočítáme tepelnou ztrátu obvodovými stěnami a podlahou do okolí. Teplotu v nevytápěném suterénu uvažujeme 5 °C. V přízemí (1. NP) je umístěna samostatná bytová jednotka, kterou tvoří obývací pokoj, ložnice, chodba, předsíň, kuchyň, špajz a koupelna s WC. V 1. patře (2. NP) je umístěna druhá samostatná bytová jednotka, kterou tvoří stejná sestava místností.

Vnitřní výpočtová teplota $t_i = 22 \text{ °C}$ (24 °C v koupelně)

Vnější oblastní výpočtová teplota: $t_e = -12 \text{ °C}$

Půdorysné rozměry stavby: 7,765 m x 11,85 m [Příloha 1]

Konstrukční výška podlaží – přízemí a 1. patro: 3 m [Příloha 3]

Čistá výška místností podlaží – přízemí a 1. patro: 2,65 m

Konstrukční výška podlaží – suterén: 2,5 m

Čistá výška místností podlaží – suterén: 2,15 m

Skladba svislých ochlazovaných stěn (vrstvy seřazeny od vnější po vnitřní):

- 1) Omítka vnější vápenno-cementová 2,5 cm, souč. tepelné vodivosti $\lambda = 0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 2) Škvárobetonové tvárnice 45 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,74 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 3) Omítka vnitřní vápenná 2,5 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Okna venkovní ochlazovaná: Plastová zdvojená – bez tepelného zrcadla

Dveře venkovní ochlazované: Plastové částečně prosklené

Skladba ochlazované střechy (vrstvy od vrchní ke spodní):

- 1) Asfaltové pásy 2 x IPA 400, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,21 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 2) Škvárový beton spádovaný – střední tloušťka 53 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 3) Provětrávaná vzduchová mezera 5 cm pro odvod difundované vlhkosti, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 4) Litý železobetonový monolit 21,5 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Skladba ochlazované podlahy 1.NP (vrstvy od vrchní ke spodní):

- 1) Laminátová podlaha – vrchní vrstva, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,21 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 2) Vyrovnávací betonový potěr 6 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 3) Separační fólie 0,1 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 4) Izolace proti kročejovému hluku 6 cm, součinitel tepel. vodivosti $\lambda = 0,06 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 5) Lítý železobetonový monolit 21,5 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Skladba neochlazované podlahy 2.NP:

- 1) Laminátová podlaha – vrchní vrstva, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,21 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 2) Vyrovnávací betonový potěr, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 3) Separační fólie 0,3 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 4) Izolace proti kročejovému hluku 6 cm, součinitel tepel. vodivosti $\lambda = 0,06 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- 5) Lítý železobetonový monolit 21,5 cm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

- Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně stěn a podlahy: $\alpha_i = 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel přestupu tepla na vnější straně stěn a střechy: $\alpha_e = 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Součinitel přestupu tepla na stropě 2. NP a suterénu $\alpha_s = 6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$



Obrázek 1 Pohled na dům z jižní strany [Internetová mapová aplikace Mapy Google]



Obrázek 2 Pohled na dům z JV strany [Internetová mapová aplikace Mapy Google]

3. Energetická bilance RD

Energetickou náročnost rodinného domu tvoří spotřeba energie na vytápění, spotřeba energie na ohřev teplé užitkové vody (TUV), spotřeba elektrické energie domácnosti, a hlavně tepelné ztráty budovy. Energetická náročnost budovy se dá snížit aktivním a pasivním způsobem. Pasivní způsob znamená snahu o maximální snížení energetických a tepelných úniků, například velkým důrazem na izolaci domu a rekuperaci energií. Aktivní přístup znamená například instalaci zařízení, která budou vyrábět více energie, jako jsou solární panely, tašky a plechy. Tento přístup snižuje energetickou náročnost, protože vyrábí vlastní energii a díky tomu je dodáváno méně energie ze sítě.

Cílem práce je použít přístupy oba. Částečně pasivně a částečně aktivně snížit energetickou náročnost budovy, aby vyhovovala legislativou předepsaným požadavkům. Nejdříve je třeba vypočítat tepelné ztráty objektu, objekt dostatečně zaizolovat a navrhnout fotovoltaický systém.

3.1 Orientační výpočet tepelných ztrát RD

K vypočtení celkové tepelné ztráty objektu je potřeba vypočítat tepelnou ztrátu prostupem a tepelnou ztrátu infiltrací. K šíření tepla prostupem dochází teplosměnnou obálkou budovy neboli obvodovými stěnami, střechou a podlahou. Pro každou vnější konstrukci se nejdříve musí vypočítat součinitel prostupu tepla a z něho daná tepelná ztráta. Výpočty budou prováděny zvlášť pro svislé ochlazované stěny, okna a dveře balkonové, dveře vchodové, střechu a podlahu.

„Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí U v $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ vyjadřuje průměrné množství tepla, které proteče $1 m^2$ plochy jednotlivé konstrukce při teplotním rozdílu $1 K$. Je to tepelná vlastnost celé jednotlivé konstrukce charakterizující její skladbu a detailní vnitřní uspořádání. U -hodnota jednotlivé konstrukce vždy zahrnuje vliv tepelných mostů, které se v rámci konstrukce vyskytují. Obvyklou příčinou tepelných mostů v konstrukci jsou různé nepravidelnosti v materiálech a tvarech proti ideální skladbě rovnoběžných vrstev konstrukce, jako jsou například napříč konstrukcí procházející kovové spojovací prvky, překlady, sloupy, příčle aj“ [1].

Pro zjednodušený výpočet (hrubý odhad) tepelné ztráty objektu s ústředním vytápěním byla použita původní česká norma ČSN 06 0210 a ČSN 73 0540, všechny používané výpočty vycházejí z postupů v daných normách. Celková tepelná ztráta se vypočte pouze pro obálku budovy. Ve výpočtu je použit zjednodušený postup se zanedbáním tepelných zisků a s uvažováním venkovní oblastní výpočtové teploty $t_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Z celkové tepelné ztráty budovy se vypočte tepelná ztráta redukováná pro jarní a podzimní měsíce podle průměrných teplot vzduchu daných měsíců.

Pro největší redukovanou ztrátu se navrhne fotovoltaický systém, který v jarních a podzimních měsících zvládne zajistit potřeby tepla budovy a částečně elektrickou spotřebu domácnosti.

Pro zimní měsíce není výkon fotovoltaiky rozhodující kvůli krátké době slunečního svitu a silnému zastínění přímé sluneční radiace vlivem oblačnosti, mlh atd. Plocha fotovoltaické elektrárny by v tomto případě vycházela příliš velká, a tudíž i investičně drahá. Pro tyto měsíce se předpokládá vytápění standardní otopnou soustavou.

3.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je v normě ČSN 06 0210 značen jako k , ale pro soulad s normami EN z oblasti tepelné techniky se používá nové označení U v $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ a vypočte se jako převrácená hodnota tepelného odporu konstrukce R_T při tepelném toku směrem z vnitřního do venkovního prostředí. Tepelný odpor konstrukce ochlazovaných stěn R_T se skládá ze součtu tepelného odporu při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_i , tepelného odporu při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_e a tepelného odporu vícevrstvé konstrukce R_N .

Odpory při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce se vypočtou jako převrácené hodnoty součinitelů přestupu tepla α_i a α_e .

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i}, m^2 \cdot K \cdot W^{-1} \quad (3.2.1)$$

$$R_e = \frac{1}{\alpha_e}, m^2 \cdot K \cdot W^{-1} \quad (3.2.2)$$

Pro vícevrstvé konstrukce se stejnorodými (homogenními) vrstvami platí:

$$R_N = \sum \frac{s}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}, m^2 \cdot K \cdot W^{-1}, \quad (3.2.3)$$

kde s je tloušťka vrstvy v metrech a λ součinitel tepelné vodivosti dané vrstvy v $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Pro tepelný odpor svislých ochlazovaných stěn platí:

$$R_N = \sum_{i=1}^3 \frac{s_i}{\lambda_i}, m^2 \cdot K \cdot W^{-1} \quad (3.2.4)$$

$$\begin{aligned}
 U_{stěn} &= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_e + R_N + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^3 \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}} & (3.2.5) \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0,025}{0,9} + \frac{0,45}{0,74} + \frac{0,025}{0,7} + \frac{1}{8}} \\
 &= 1,19 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}
 \end{aligned}$$

Součinitel prostupu tepla u plastových oken a balkonových dveří se uvažuje:

$$U_{oken} = 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

a u plastových venkovních částečně prosklených dveří:

$$U_{dveří} = 1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 U_{střechy} &= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_e + R_N + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^4 \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}} & (3.2.6) \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0,008}{0,21} + \frac{0,53}{0,9} + \frac{0,05}{0,1} + \frac{0,215}{1,6} + \frac{1}{6}} = 0,68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{podlahy} &= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_e + R_N + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_s} + \sum_{i=1}^5 \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}} & (3.2.7) \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{6} + \frac{0,215}{1,6} + \frac{0,06}{0,06} + \frac{0,001}{0,16} + \frac{0,064}{1,2} + \frac{0,01}{0,21} + \frac{1}{8}} \\
 &= 0,65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}
 \end{aligned}$$

3.3 Tepelné ztráty prostupem

Tepelné ztráty prostupem Q_{z_p} ve W pro danou plochu se vždy vypočtou jako součin součinitele prostupu tepla U , dané plochy S v m^2 [přílohy 1, 3, 4] a rozdílu teplot na obou stranách dané plochy v K. Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí se zanedbá, protože u všech vnitřních stěn se uvažuje stejná teplota. Přirážka na urychlení zátopy se zanedbá také, protože se předpokládá nepřetržité vytápění. Poslední přirážkou je přirážka na světovou stranu, která se pro zjednodušení výpočtu také zanedbá. U všech přirážek uvažujeme, že jsou rovny 1 a výpočet prostupu tepla se tedy nezmění.

U stavebních prvků jako okna a dveře se zadávají konstrukční rozměry. Stejně tak je tomu u stěn, protože se počítá tepelná ztráta objektu obálkovou metodou. V případě výpočtu tepelné ztráty budovy obálkovou metodou se uvažují rozměry venkovní.

Pro výpočet ploch všech stavebních konstrukcí a prvků se použijí rozměry z projektové dokumentace uvedené v přílohách.

$$S_{oken} = 28 \cdot 0,6 \cdot 1,2 + 2 \cdot 0,6 \cdot 1,97 = 22,524 \text{ m}^2$$

$$S_{dveří} = 2 \cdot 0,9 \cdot 1,97 = 3,546 \text{ m}^2$$

$$S_{stěn} = 2 \cdot (7,765 + 11,85) \cdot 6 - S_{oken} - S_{dveří} = 209,31 \text{ m}^2$$

$$S_{střechy} = 7,765 \cdot 11,85 - 1,65 \cdot 4,95 - 1,9 \cdot 5,3 = 73,78 \text{ m}^2$$

$$S_{podlahy} = 7,765 \cdot 11,85 - 1,65 \cdot 4,95 - 1,9 \cdot 2,42 = 79,25 \text{ m}^2$$

$$Q_{zp}^{oken} = U_{oken} \cdot S_{oken} \cdot (t_i - t_e) = 2 \cdot 22,524 \cdot (22 - (-12)) \quad (3.3.1)$$

$$= 1\,531,6 \text{ W}$$

$$Q_{zp}^{dveří} = U_{dveří} \cdot S_{dveří} \cdot (t_i - t_e) = 1,5 \cdot 3,546 \cdot (22 - (-12)) \quad (3.3.2)$$

$$= 180,9 \text{ W}$$

$$Q_{zp}^{stěn} = U_{stěn} \cdot S_{stěn} \cdot (t_i - t_e) = 1,19 \cdot 209,31 \cdot (22 - (-12)) \quad (3.3.3)$$

$$= 8\,468,7 \text{ W}$$

$$Q_{zp}^{střechy} = U_{střechy} \cdot S_{střechy} \cdot (t_i - t_e) \quad (3.3.4)$$

$$= 0,68 \cdot 73,78 \cdot (22 - (-12)) = 1\,705,8 \text{ W}$$

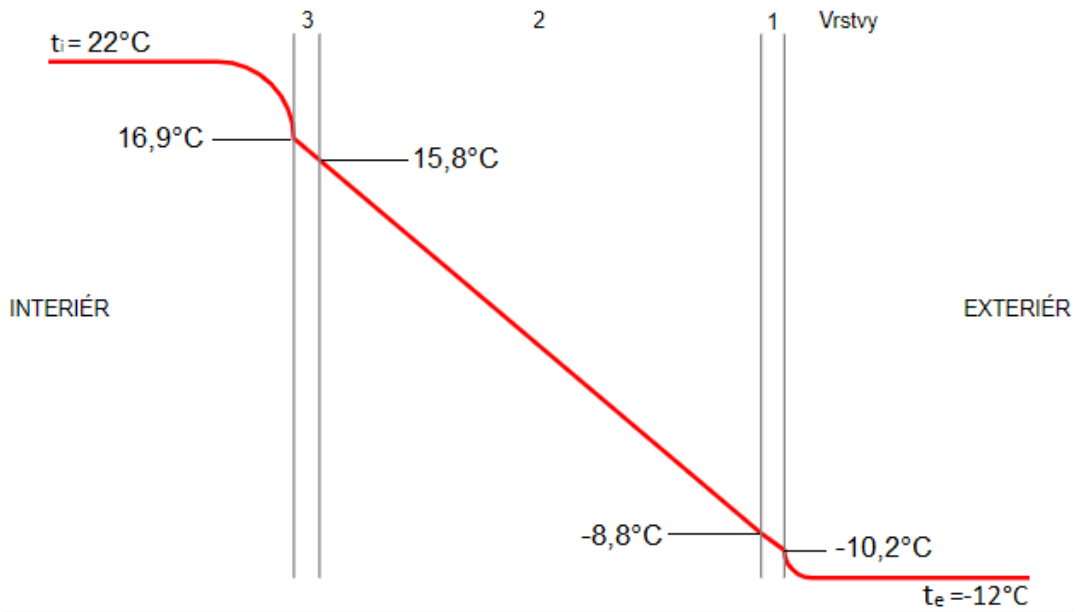
$$Q_{zp}^{podlahy} = U_{podlahy} \cdot S_{podlahy} \cdot (t_i - t_e) = 0,65 \cdot 79,25 \cdot (22 - 5) \quad (3.3.5)$$

$$= 875,7 \text{ W}$$

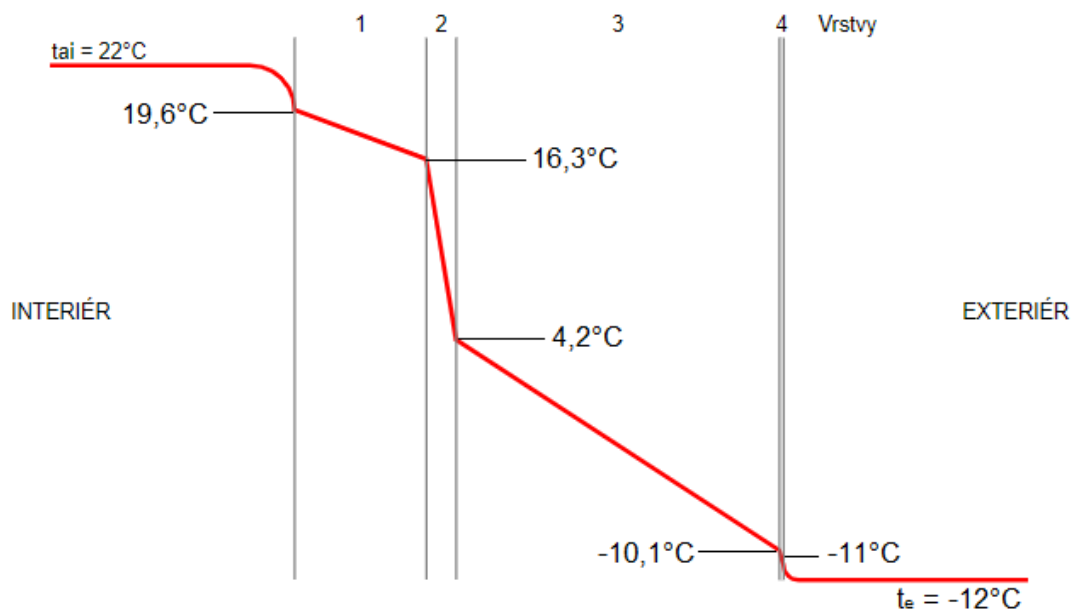
Tabulka 1 Souhrn vypočtených hodnot

	$R_T [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	$U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	$S [m^2]$	$Q_{zp} [W]$
Okna a balkonové dveře	0,5	2	22,524	1 531,6
Vchodové dveře	0,67	1,5	3,546	180,9
Stěny	0,84	1,19	211,083	8 468,7
Střecha	1,47	0,68	73,78	1 705,8
Podlaha	1,54	0,65	79,25	875,7
			Celkem	12 762,7

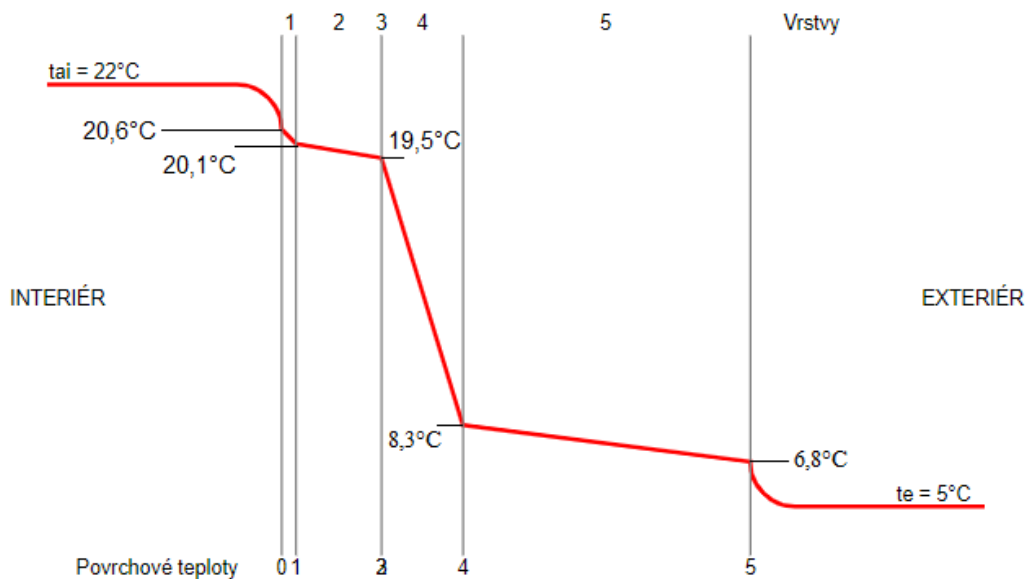
3.4 Průběhy teplot v konstrukcích



Graf 1 Průběh teplot ve svislých obvodových stěnách [2]



Graf 2 Průběh teplot ve střeše budovy [2]



Graf 3 Průběh teplot v podlaze přízemí [2]

3.5 Tepelná ztráta infilrací

Tepelná ztráta infilrací $Q_{z_{inf}}$ [W] se spočítá pomocí intenzity výměny vzduchu n [-], která určuje, kolikrát za hodinu bude vyměněn objem místností větracím vzduchem. Do hodnoty $n = 1 - 1,5$ se předpokládá, že lze tepelnou ztrátu ještě krýt otopným tělesem a při intenzitách větších ($n > 1,5$) se doporučuje použít teplovzdušné vytápění [3]. Pro tyto výpočty se předpokládá minimální větrání, a tudíž nízká hodnota intenzity výměny vzduchu, konkrétně $n = 0,5 \text{ h}^{-1} = 0,5/3600 \text{ s}^{-1}$.

Tabulka 2 Vlastnosti vzduchu při teplotě -12 °C [4, 5]

Měrná tepelná kapacita	c	1 008	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Hustota	ρ	1,334	$kg \cdot m^{-3}$

Objem místností

$$V = 6 \cdot 7,765 \cdot 11,85 - 1,65 \cdot 4,95 \cdot 6 - 1,9 \cdot 5,3 \cdot 3 - 1,9 \cdot 2,42 \cdot 3 = 459,08 \text{ m}^3$$

Objemový tok infiltrační

$$\dot{V}_{inf} = \dot{V} = V \cdot n = 459,08 \cdot \frac{0,5}{3600} = 0,064 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (3.5.1)$$

$$Q_{zinf} = \dot{M} \cdot c \cdot \Delta t = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) \quad (3.5.2)$$

$$= 0,064 \cdot 1,334 \cdot 1008 \cdot (22 - (-12)) = 2\,915,1 \text{ W}$$

3.6 Celková tepelná ztráta

Celková orientační tepelná ztráta objektu Q_z se vypočte jako suma všech jednotlivých ztrát. $Q_z = Q_z^{-12}$, protože tepelná ztráta byla počítána pro vnější teplotu $-12 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_z = \sum Q_{zp} + Q_{zinf} = 12\,762,7 + 2\,915,1 = 15\,677,8 \doteq 15\,678 \text{ W} \quad (3.6.1)$$

3.7 Redukovaná tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta se dále přepočte na ztráty redukované podle jarních a podzimních měsíců a jejich průměrných středních teplot vzduchu $t_{\phi_{stř}}$ ve $^\circ\text{C}$. Stávající dům se nachází poblíž Ústí nad Labem a zdejší průměrné střední teploty jsou uvedeny v Tabulka 3. Jedná se o dlouhodobý normál teploty vzduchu za několik posledních let.

$$Q_{zred} = Q_z^{-12} \cdot \frac{t_i - t_{\phi_{stř}}}{t_i - t_e} \quad (3.7.1)$$

Příklad výpočtu pro měsíc březen:

$$Q_{zred}^{3,4} = Q_z^{-12} \cdot \frac{t_i - t_{\phi_{stř}}}{t_i - t_e} = 15678 \cdot \frac{22 - 3,4}{22 - (-12)} = 8\,576,7 \text{ W} \quad (3.7.2)$$

Tabulka 3 Redukované tepelné ztráty jarních a podzimních měsíců [6]

Pořadí měsíce	Měsíc	$t_{\phi_{stř}} [^\circ\text{C}]$	$Q_{zred} [\text{W}]$
3.	Březen	3,4	8 576,7
4.	Duben	8,2	6 363,3
5.	Květen	13,2	4 057,8
9.	Září	13	4 150,0
10.	Říjen	8,2	6 363,3
11.	Listopad	3	8 761,1

4. Návrh tepelné izolace

Z Tabulka 3 je patrné, že největší tepelné ztráty z uvažovaných měsíců vycházejí pro měsíc listopad. Pro takto vysoké tepelné ztráty by návrh vytápění a fotovoltaického systému nebyl výhodný. Pro možný návrh FV systému a sálavých topných fólií je nejdříve nutné objekt tepelně zaizolovat.

Aby budova splňovala současné legislativní požadavky, je nutné všechny ochlazované stěny zateplit izolací a snížit tak tepelnou ztrátu budovy a součinitele prostupu tepla. K zateplení se použije minerální vlna s uvažovaným součinitelem tepelné vodivosti $\lambda_{iz} = 0,0425 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Tato hodnota již zahrnuje uvažované stárnutí materiálu a zhoršení jeho tepelně izolačních vlastností v čase o 25 % jeho původní udávané hodnoty výrobcem [Příloha 8].

Podle stávajících legislativních požadavků součinitelé prostupu tepla konstrukce nevyhovují požadovaným hodnotám dle ČSN 73 0540-2:2011. Požadovaná hodnota U_N , doporučená hodnota U_{rec} a doporučená hodnota pro pasivní budovy U_{pas} se každá liší a liší se také pro obvodové stěny, střechu i podlahu. Všechny hodnoty pro danou konstrukci se nacházejí v Tabulka 4. Pro splnění požadované hodnoty součinitele prostupu tepla je třeba spočítat dostatečnou tloušťku přídavné izolace. To znamená nejdříve vypočítat dostatečný odpor při prostupu tepla konstrukce R_T . Pro maximální snížení tepelných ztrát se izolační vrstvy vypočtou ze součinitele tepelné vodivosti pro pasivní domy. Parametry oken a dveří se nijak nezmění, neboť jejich výměna není součástí uvažované rekonstrukce.

Tabulka 4 Součinitelé prostupu tepla konstrukce [7]

	$U_{současné}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U_N [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U_{rec} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	U_{pas} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Stěny	1,19	0,3	0,25	0,18 – 0,12
Střecha	0,68	0,24	0,16	0,15 – 0,1
Podlaha	0,65	0,6	0,4	0,3 – 0,2

Například pro svislé ochlazované obvodové stěny je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní domy $U_{pas} = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ [7]. Tato hodnota odpovídá novému tepelnému odporu při prostupu tepla $R_T = 5,56 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$. Současný odpor při prostupu tepla stěn je $0,84 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$. Zbývající odpor připadá izolační vrstvě.

$$R_{iz} = R_T - R_{současný} = 5,56 - 0,84 = 4,72, \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1} \quad (4.1)$$

Tepelný odpor nové fasády s perlíčkou a vrstvou lepidla se z důvodu nepatrných hodnot a také pro větší bezpečnost výpočtu zanedbá.

Z vypočtených hodnot se nyní vyjádří minimální potřebná tloušťka izolační vrstvy.

$$s_{izolace} = \lambda_{iz} \cdot R_{iz} = 0,0425 \cdot 4,72 = 0,2 \text{ m} \quad (4.2)$$

Pro kontrolu se nyní vypočte nový součinitel prostupu tepla s již přidanou izolační vrstvou.

$$\begin{aligned} U_{stěn} &= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_e + R_N + R_i} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^4 \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (4.3) \\ &= \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0,2}{0,0425} + \frac{0,025}{0,9} + \frac{0,45}{0,74} + \frac{0,025}{0,7} + \frac{1}{8}} \\ &= 0,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Nový součinitel prostupu tepla odpovídá požadované hodnotě a konstrukce tedy vyhovuje předepsaným hodnotám dle ČSN 73 0540-2:2011.

Tabulka 5 Postup výpočtu izolačních vrstev

	$\lambda_{iz} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	$R_{T_{\text{současný}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	$R_{T_{\text{potřebný}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	$R_{iz} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	$s_{izolace} [\text{m}]$
Stěny	0,0425	0,84	5,56	4,72	0,2
Střecha	0,0425	1,47	10	8,53	0,36
Podlaha	0,0425	1,54	5	3,46	0,15

Z výpočtů vyplývá, že pro vyhovění požadovaným součinitelům prostupu tepla je potřeba zateplit všechny počítané části konstrukce. Pro zateplení svislých obvodových stěn a podlahy je zapotřebí přibližně stejná tloušťka izolace s rozdílem několika centimetrů, pro zateplení střechy je zapotřebí tloušťka izolace výrazně vyšší (viz Tabulka 5). Vzhledem k současným malým venkovním špaletám, které jsou pouze 0,1 m široké, lze akceptovat přídatnou tepelnou izolaci o tloušťce 0,2 m.

S těmito izolačními vrstvami se může spočítat nová tepelná ztráta v zimním období a z ní nové redukované tepelné ztráty pro období přechodné. Tepelné ztráty infiltrací a prostupem dveřmi a okny zůstanou stejné.

$$\begin{aligned} Q_{zp}^{stěn} &= U_{stěn} \cdot S_{stěn} \cdot (t_i - t_e) = 0,18 \cdot 209,31 \cdot (22 - (-12)) \quad (4.4) \\ &= 1\,281 \text{ W} \end{aligned}$$

$$Q_{zp}^{střechy} = U_{střechy} \cdot S_{střechy} \cdot (t_i - t_e) \quad (4.5)$$

$$= 0,1 \cdot 73,78 \cdot (22 - (-12)) = 250,9 \text{ W}$$

$$Q_{zp}^{podlahy} = U_{podlahy} \cdot S_{podlahy} \cdot (t_i - t_e) = 0,2 \cdot 79,25 \cdot (22 - 5) \quad (4.6)$$

$$= 269,5 \text{ W}$$

Tabulka 6 Souhrn vypočtených hodnot a součinitelů s uvažovanou novou izolační vrstvou

	$R_T [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	$U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	$S [m^2]$	$Q_{zp}^{před} [W]$	$Q_{zp}^{po} [W]$
Okna a balkonové dveře	0,5	2	22,524	1 531,6	1 531,6
Vchodové dveře	0,67	1,5	3,546	180,9	180,9
Stěny	5,56	0,18	211,083	8 468,7	1 281
Střecha	10	0,1	73,78	1 705,8	250,9
Podlaha	5	0,2	79,25	875,7	269,5
			celkem	12 762,7	3 513,8

$$Q_z = \sum Q_{zp} + Q_{zinf} = 3513,8 + 2 915,1 = 6 428,9 \doteq 6 429 \text{ W} \quad (4.7)$$

Celková tepelná ztráta po zateplení vyšla 6 429 W pro zimní období. Vzorcem pro redukovanou ztrátu se opět přepočte na tepelné ztráty pro jednotlivé měsíce v přechodném období. Příklad výpočtu pro měsíc březen:

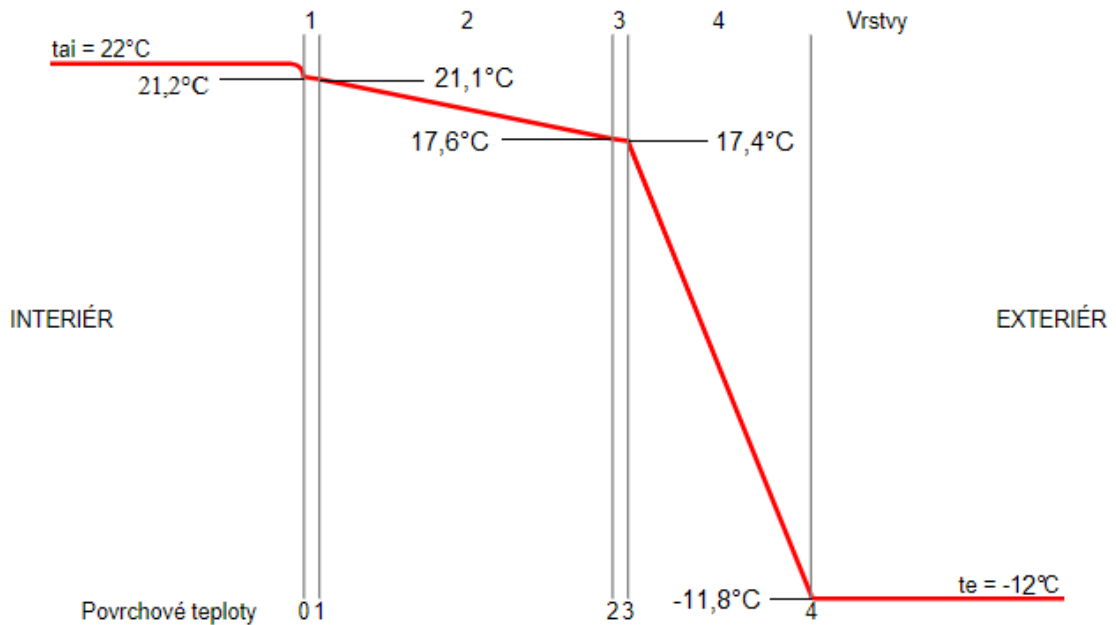
$$Q_{zred}^{3,4} = Q_z^{-12} \cdot \frac{t_i - t_{\emptyset_{stř}}}{t_i - t_e} = 6 429 \cdot \frac{22 - 3,4}{22 - (-12)} = 3 517 \text{ W} \quad (4.8)$$

Tabulka 7 Nové redukované tepelné ztráty jarních a podzimních měsíců [6]

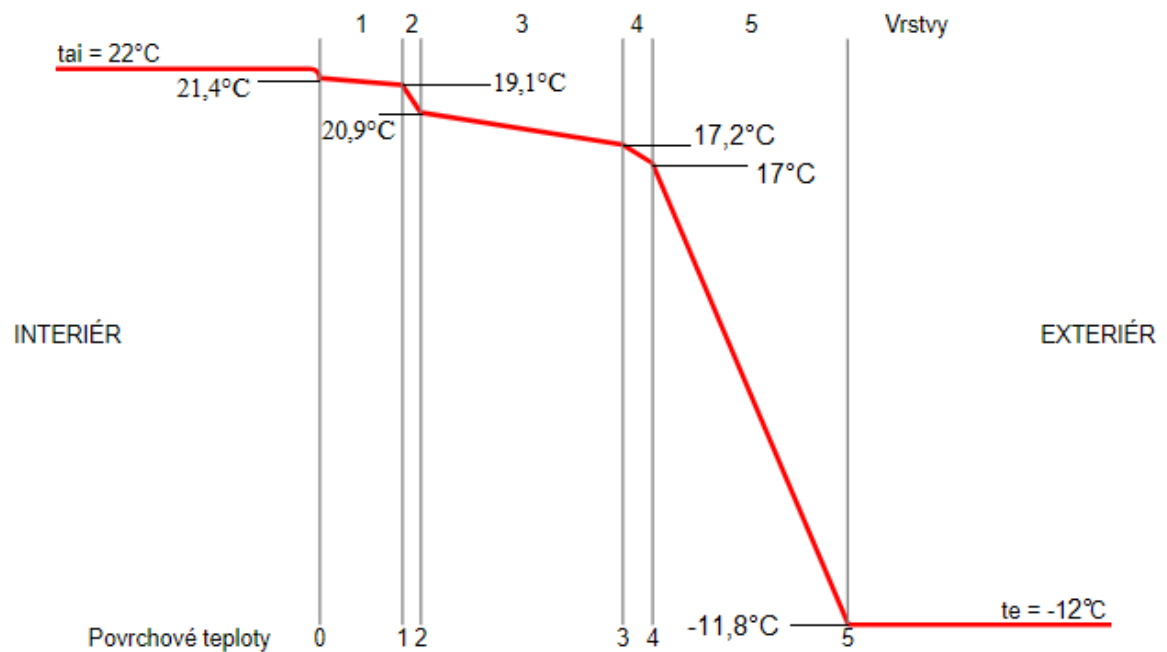
Pořadí měsíce	Měsíc	$Q_{zred} [W]$ Před zateplením	$Q_{zred} [W]$ Po zateplení
3.	Březen	8 576,7	3 517,0
4.	Duben	6 363,3	2 609,4
5.	Květen	4 057,8	1 663,9
9.	Září	4 150,0	1 701,8
10.	Říjen	6 363,3	2 609,4
11.	Listopad	8 761,1	3 592,6

Nová průměrná tepelná ztráta za měsíc listopad vyšla 3,6 kW, což je o více než 5 kW nižší tepelná ztráta díky zateplení budovy.

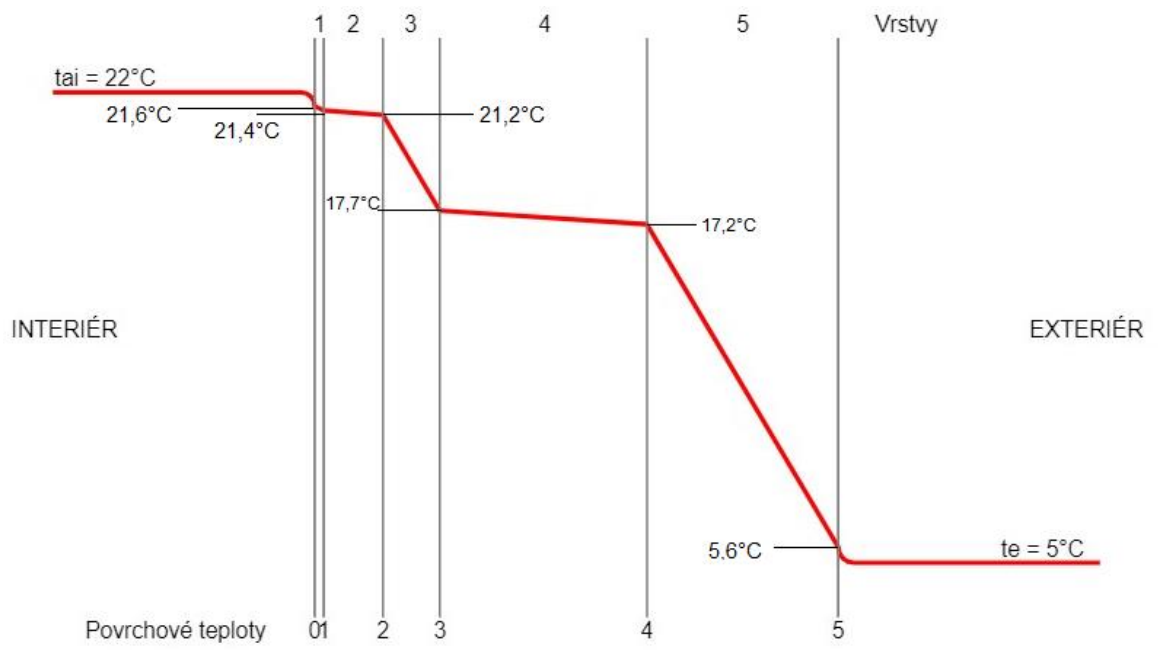
4.1 Průběhy teplot v konstrukci s přidanou izolací



Graf 4 Průběh teplot ve svislých obvodových stěnách s tepelnou izolací [2]



Graf 5 Průběh teplot ve střeše s tepelnou izolací [2]



Graf 6 Průběh teplot v podlaze s tepelnou izolací [2]

5. Výpočet tepelných ztrát podle místností

Dosavadní (pouze orientační) výpočty byly prováděny obálkovou metodou pro celou budovu. Pro návrh tepelného čerpadla, fotovoltaické elektrárny a vytápění domu v přechodném i zimním období je potřeba nejdříve spočítat tepelné ztráty jednotlivých místností. Podle tepelných ztrát místností se navrhne jejich vytápění.

Pro výpočty se použijí stejné parametry jako při orientačním výpočtu, to znamená venkovní výpočtovou teplotu -12 °C . Stejně jako v orientačním výpočtu se výsledek celkové tepelné ztráty pro uvažovanou venkovní teplotu -12 °C přepočte na redukovanou ztrátu pro jednotlivé měsíce v přechodném období. Nejvyšší ztráta opět vyjde pro měsíc listopad a podle této ztráty se navrhne velkoplošný sálavý topný systém. Předpokládá se, že velkoplošný sálavý systém je v zimním období pouze doplňkový. Během nejchladnějších měsíců (prosinec až únor) slouží k vytápění stávající soustava teplovodního vytápění s otopnými tělesy. V tuto dobu lze objekt vytápět s použitím obou otopných soustav k zajištění dobré tepelné pohody.

Místnosti jsou pojmenovány podle projektu a značeny trojmístným kódem dle ČSN 06 0210. K výpočtu jednotlivých místností byl použit software na webu tzbinfo pro výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210 [8]. Místnosti 104 a 204 (spíž) se uvažují jako nevytápěné místnosti s vnitřní teplotou 10 °C a u místností 105 a 205 (koupelna) se počítá s vnitřní výpočtovou teplotou 24 °C podle normy ČSN EN 12831.

Příklad výpočtu tepelných ztrát pro místnost 101:

Lokalita a vlastnosti budovy

Ústí nad Labem <input type="button" value="(Tabulka)"/>	Poloha budovy	Nechráněná <input 2"="" button"="" type="button" value="???</input></td> </tr> <tr> <td colspan="/> <input type="button" value="NASTAVIT TEPLOTU U STĚN"/>	Charakteristické číslo budovy B	8 Pa ^{0.67} <input button"="" type="button" value="??"/>	Přirážka p_2 na urychlení zátoku	0,1 <input 164="" 273="" 286"="" 469="" data-label="Section-Header" type="button" value="???</input></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <p>Místnost (u obálkové metody to jsou další vlastnosti budovy)</p>
---	---------------	---	---------------------------------	---	------------------------------------	---

Číslo a název místnosti	101	Obývací pokoj	
Zvětšení char. čísla budovy ΔB	0 Pa ^{0.67} <input button"="" type="button" value="NASTAVIT TEPLOTU U STĚN"/>		
Vnitřní výpočtová teplota t_i	22 °C (Tabulka)		
Orientace místnosti	JZ <input type="button" value="??"/>	=> přirážka p_3 = 0 <input button"="" type="button" value="??"/>	
Počet netěsných dveří	0 <input type="button" value="??"/>		
Charakteristické číslo místnosti M	0.7 <input 164="" 214="" 523="" 535"="" button"="" data-label="Section-Header" type="button" value="???</input></td> <td></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <p>Rozměry</p>		

Půdorysný rozměr a	5,65 m	Půdorysný rozměr b	5,7 m	Půdorysná plocha místnosti P	32.21 m ² <input 166="" 455="" 625="" 695"="" button"="" data-label="Form" type="button" value="???</input></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <table border="1"> <tr> <td>Teplota větracího vzduchu t_{vv}</td> <td>-12 °C <input radio"="" type="button" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input type="/> Intenzita výměny vzduchu n</td> <td>0.5 h⁻¹ <input "="" type="radio" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input checked="/> Objemový průtok</td> <td><input type="text"/> m³/h <input 361="" 681="" 708="" 724"="" data-label="Caption" type="button" value="???</input></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <p>Obrázek 3 Tepelná ztráta místnosti 101 (1) [8]</p> </td></tr></table>	Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-12 °C <input radio"="" type="button" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input type="/> Intenzita výměny vzduchu n	0.5 h ⁻¹ <input "="" type="radio" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input checked="/> Objemový průtok	<input type="text"/> m ³ /h <input 361="" 681="" 708="" 724"="" data-label="Caption" type="button" value="???</input></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <p>Obrázek 3 Tepelná ztráta místnosti 101 (1) [8]</p>
Teplota větracího vzduchu t_{vv}	-12 °C <input radio"="" type="button" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input type="/> Intenzita výměny vzduchu n	0.5 h ⁻¹ <input "="" type="radio" value="???</input></td> </tr> <tr> <td><input checked="/> Objemový průtok	<input type="text"/> m ³ /h <input 361="" 681="" 708="" 724"="" data-label="Caption" type="button" value="???</input></td> </tr> </table> </div> <div data-bbox="/> <p>Obrázek 3 Tepelná ztráta místnosti 101 (1) [8]</p>						

Parametry obálkové konstrukce (místnosti / budovy)

	Typ ??? konstr.	Počet	$t_{e,i}$??? [°C]	U ??? [W/m ² K]	Plocha konstrukce						Q_o [W]	Infiltrace		
					d ??? [m]	v ??? [m]	S ??? [m ²]	S_d ??? [m ²]	S_v ??? [m ²]	$S-S_d-S_v$ [m ²] ???		i_l (Tabulka) [m ³ /m.s.Pa ^{0.67}]	L ? [m]	
1.	vložit smazat	SO	1	-12	0,18	5,7	3	17,1	0	0	17,1	104,7	<input type="checkbox"/>	
2.	vložit smazat	SO	1	-12	0,18	5,65	3	16,95		3,6	13,35	81,7	<input type="checkbox"/>	
3.	vložit smazat	OZ	1	-12	2	2,4	1,5	3,6	0	0	3,6	244,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4
4.	vložit smazat	SO	1	-12	0,18	1,95	3	5,85		1,58	4,27	26,1	<input type="checkbox"/>	
5.	vložit smazat	DO	1	-12	2	0,8	1,97	1,58	0	0	1,58	107,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4
6.	vložit smazat	PDL	1	5	0,2	0	0	32,21	0	0	32,21	109,5	<input type="checkbox"/>	
7.	vložit smazat	SN	1	22	1,62	3,75	3	11,25	0	0	11,25	0	<input type="checkbox"/>	
8.	vložit smazat	SN	1	22	1,01	5,65	3	16,95	0	3,16	13,79	0	<input type="checkbox"/>	
9.	vložit smazat	DN	2	22	2	0,8	1,97	1,58	0	0	3,16	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0
10.	vložit smazat	STR	1	22	0,65	0	0	32,21	0	0	32,21	0	<input type="checkbox"/>	

Tepelná ztráta prostupem			Tepelná ztráta větráním / infilrací		
$\sum Q_o$	674 W	???	Tepelná ztráta infilrací Q_{inf} =	483 W	???
Průměrný součinitel prostupu tepla k_c	0.15 W/m ² K	???	Tepelná ztráta větracím vzduchem $Q_{v,v}$ =	0 W	???
Přirážka p_1	0.02	???	Tepelná ztráta větráním Q_v =	483 W	???
Přirážka p_2	0.1	???	Vypočtená intenzita výměny vzduchu $n_{vypočtená}$ =	0.46	???
Přirážka p_3	0	???			
Q_p	757 W	???			

Celková tepelná ztráta místnosti

Tepelná ztráta místnosti Q_c =	1240 W	???
Měrná tepelná ztráta místnosti q_c =	12.8 W/m ³	???

Obrázek 4 Tepelná ztráta místnosti č. 101 (2) [8]

Z výpočtu vyplývá tepelná ztráta obývacího pokoje při venkovní teplotě -12 °C $Q_z = 1240$ W. Takto se vypočtou tepelné ztráty všech místností a zanesou se do Tabulka 8. Také se do ní zanesou výsledky tepelných ztrát při průměrné venkovní teplotě nejchladnějšího měsíce přechodného období (listopadové 3 °C). Pro tuto teplotu se tepelná ztráta přepočte ze ztráty pro -12 °C pomocí vzorce pro redukovanou ztrátu.

$$Q_{z_{red}} = Q_z^{-12} \cdot \frac{22 - t_{\phi_{stř}}}{22 - (-12)}, W \quad (5.1)$$

Pro měsíc listopad a teplotu 3 °C:

$$Q_z^3 = 1240 \cdot \frac{22 - 3}{22 - (-12)} = 693 W \quad (5.2)$$

Tabulka 8 Tepelné ztráty jednotlivých místností [8]

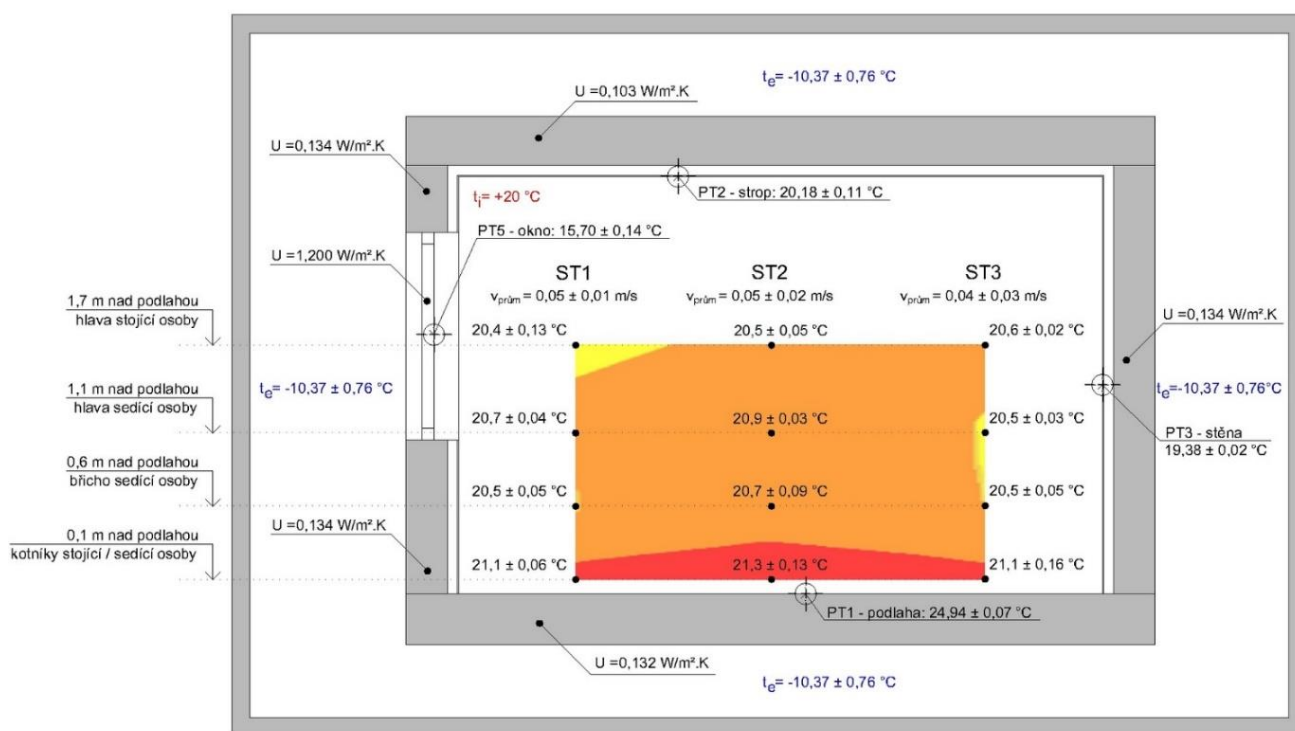
	místnost	název místnosti	Q_z^{-12} [W]	Q_z^3 [W]
1.NP	101	Obývací pokoj	1 240	693
	102	Ložnice	824	460
	103	Kuchyň	657	367
	104	Spíž	0	0
	105	Koupelna	670	374
	106	WC	179	100
	107	Hala	669	374
	108	Zádveří	689	385
2.NP	201	Obývací pokoj	1 240	693
	202	Ložnice	824	460
	203	Kuchyň	657	367
	204	Spíž	0	0
	205	Koupelna	670	374
	206	WC	179	100
	207	Hala	669	374
	208	Zádveří	689	385
		celkem	9 856	5 508

6. Návrh velkoplošného sálavého topného systému

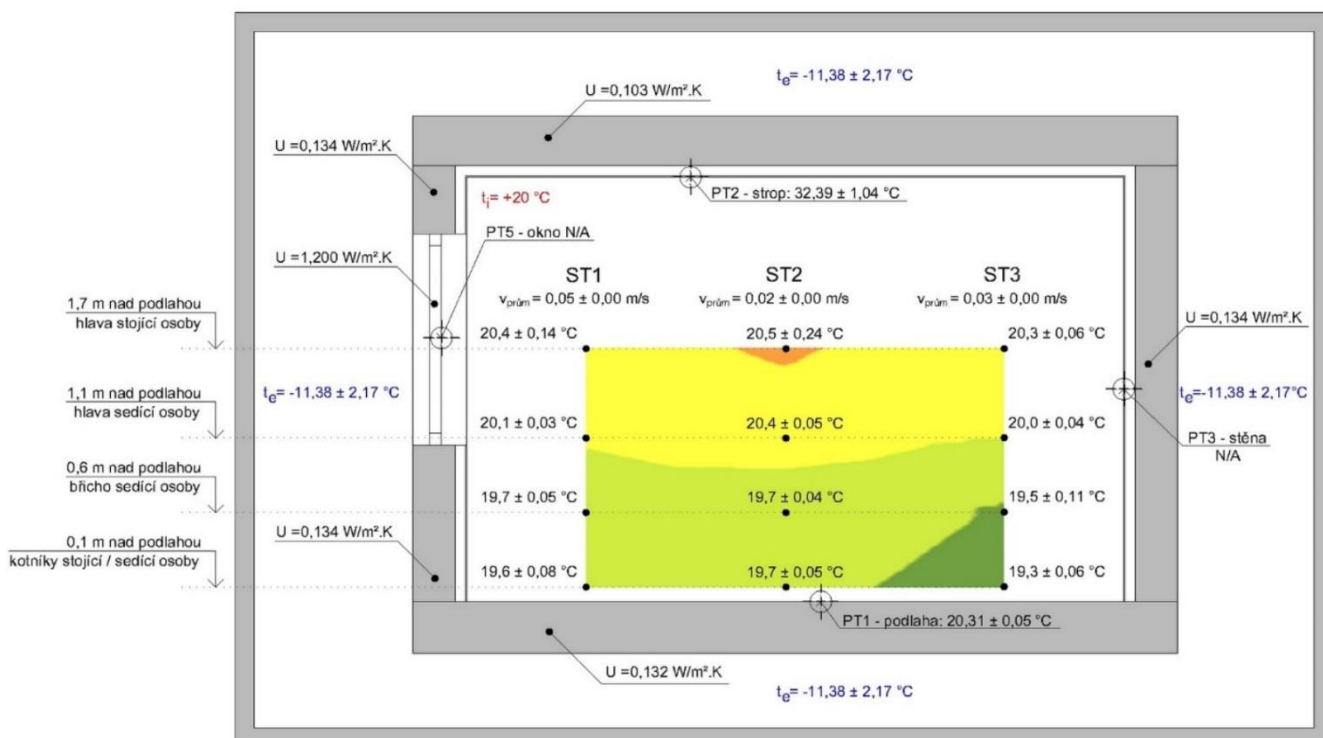
„U vytápění budov lze pozorovat měnící se trendy v popularitě jednotlivých systémů. Jedním z takových příkladů jsou velkoplošné topné systémy, které se v současné době s použitím moderních technologií dají velice snadno realizovat. Do dané skupiny se řadí podlahové a stropní vytápění, které má oproti klasickému konvekčnímu systému hned několik výhod. Velkoplošné systémy vykazují výrazně rovnoměrnější rozložení teplot v místnosti, což má vliv i na provozní náklady. Praktickou výhodou je příznivý vliv na komfort (podlaha není studená), ale také umístění, neboť velkoplošný sálavý systém nijak nepřekáží a v případě stropního a podlahového vytápění není ani vidět“ [9].

Tento systém zajistí dobrou tepelnou pohodu při nižší teplotě vzduchu oproti konvenčnímu vytápění a také zajistí nižší spotřebu energie na vytápění.

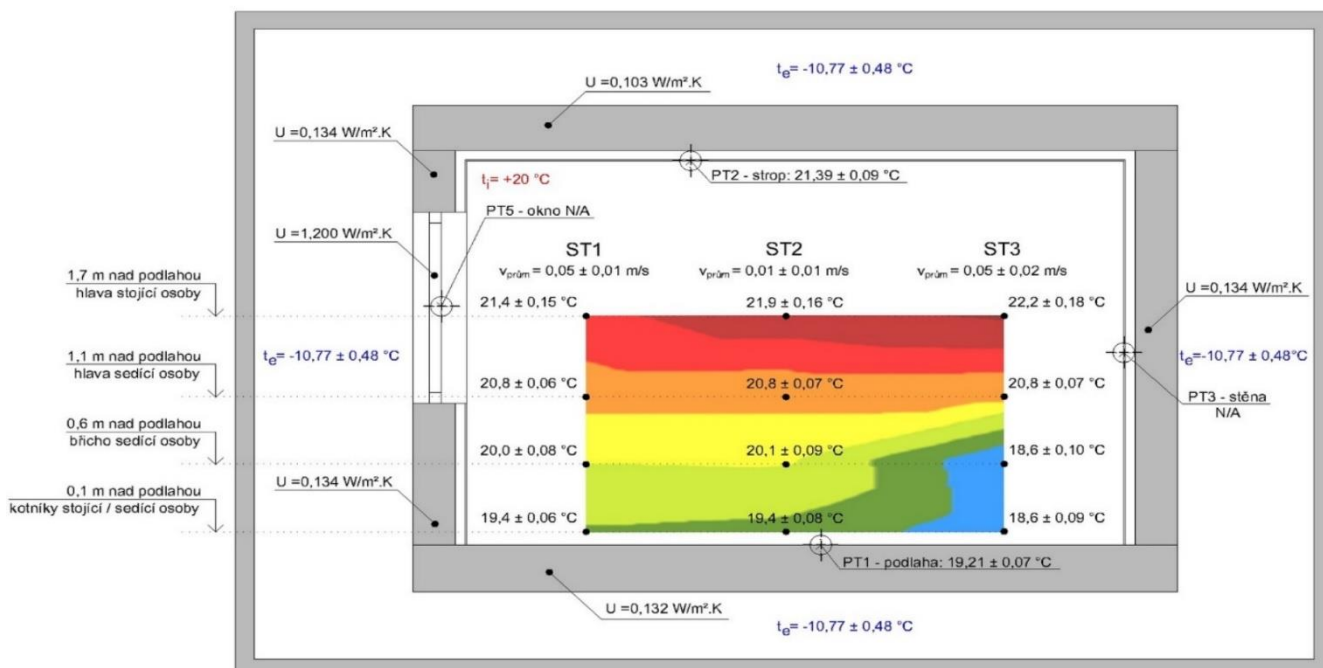
Následující obrázky znázorňují rozložení teplot v místnostech vytápěných různými způsoby vytápění.



Obrázek 5 Rozložení teplotního pole pro podlahové vytápění [UCEEB při ČVUT Praha]



Obrázek 6 Rozložení teplotního pole stropního vytápění [UCEEB při ČVUT Praha]



Obrázek 7 Rozložení teplotního pole konvekčního vytápění s otopnými tělesy [UCEEB při ČVUT Praha]

Z obrázků je vidět, že oba sálavé systémy (podlahové i stropní vytápění) si jsou velmi podobné. U obou systémů je rozložení teplot v místnosti zcela rovnoměrné. Požadovaná teplota v místnosti je zajištěna při povrchových teplotách 25 °C u podlahového a 33 °C u stropního vytápění.

Podlahové vytápění oproti stropnímu zajistí vyšší povrchovou teplotu podlahy, ale jeho nevýhodou je například omezení v rozmísťování nábytku, aby vyhřívaná část podlahy nebyla zakrytá. Takovou nevýhodu stropní vytápění nemá, ale při jeho volbě je potřeba použít sádkartonové podhledy.

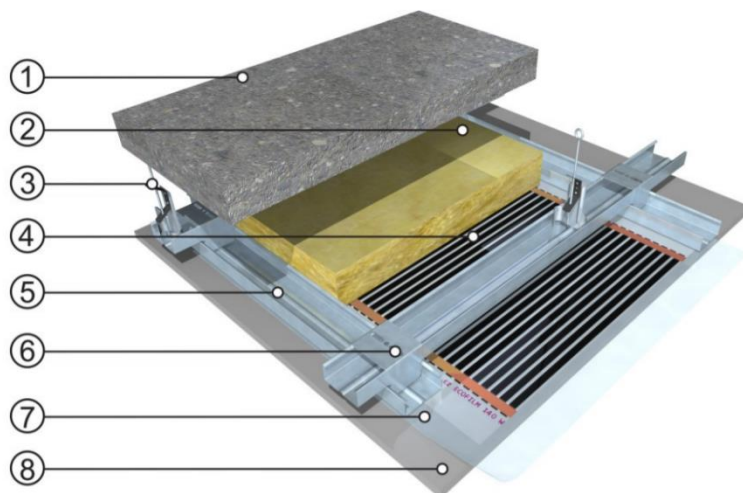
Pro vytápění uvažovaného objektu v přechodném období byly zvoleny stropní topné fólie instalované v přístavěném stropě nad sádkartonovou a parotěsnou vrstvou. Nad fólii se umístí dodatečná tepelná izolace vrstvy 40 mm k zamezení úniku tepla a ohřevu střešního pláště. Tím se sníží světlá výška místnosti o cca 70 mm, což při čisté výšce místností 2,65 m není problém. Parametry zvolených fólií ECOFILM C a ECOFILM F od výrobce FENIX jsou uvedeny v Tabulka 9.

Tabulka 9 Parametry uvažovaných topných fólií [10, 12, 13]

	Značka	Jednotka	ECOFILM C 510	ECOFILM C 520	ECOFILM F 1006
Plošný výkon	P_p	$[W \cdot m^{-2}]$	80	160	58
Šířka folie	b	[m]	0,5	0,5	1
Aktivní šířka folie	b_a	[m]	0,4	0,4	0,97
Cena za metr	-	[Kč]	203	373	590



Obrázek 8 Folie pro stropní vytápění FENIX ECOFILM C 510 [10]



Řez SDK konstrukcí

- 1 - Nosná stropní konstrukce
- 2 - Tepelná izolace
- 3 - Pružinové (pérové) čtyřbodové závěsy
- 4 - Stropní topná folie Ecofilm
- 5 - Montážní CD profily v křížové vazbě
- 6 - Nosné CD profily
- 7 - Krycí PE folie tl.0,25mm
- 8 - SDK pohled (plovoucí)

Obrázek 9 Složení stropního vytápění s topnou fólií [11, s. 9]

S danými parametry fólií se mohou vypočítat potřebná množství fólií v místnostech. Potřebný výkon fólie se počítá pro vytápění domu v přechodném období, kdy topné fólie dokážou pokrýt tepelné ztráty.

Příklad výpočtu pro místnost 101 s uvažovanou venkovní teplotou 3 °C:

Tepelná ztráta místnosti vyšla 693 W (viz Tabulka 8), tudíž výkon fólií pro tuto místnost nesmí být menší než tato hodnota, aby bylo zajištěno pokrytí tepelné ztráty. Plošný výkon zvolených fólií ECOFILM C 510 je 80 W·m⁻². Po vydělení tepelné ztráty plošným výkonem vyjde minimální potřebná plocha fólií pro pokrytí dané tepelné ztráty. Minimální potřebná plocha se zaokrouhlí na nejbližší vyšší celé číslo nebo polovinu, což bude výsledná plocha fólie A pro danou místnost.

$$A = \frac{Q_z^3}{P_p} = \frac{693}{80} = 8,66 \text{ m}^2 \doteq 9 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

Rozměry místnosti 101 jsou cca 5 x 5 m a plocha stropu je tedy 25 m². Plocha fólií vychází menší než plocha stropu a fólie zde mohou být bez problému použity.

Při rozmisťování topných fólií je důležité je umístit tak, aby pokrývaly strop u ochlazovaných stěn v celé jejich délce. Kdyby vyšla délka fólie kratší, než je délka ochlazovaných stěn v místnosti, musela by se použít fólie s menším plošným výkonem. V místnosti 101 je délka ochlazovaných stěn cca 11 m, proto nesmí být délka zde použitých fólií menší než 11 m. Šířka fólie je 0,5 m a pro výpočet použité délky pro danou místnost stačí vypočtenou plochu vydělit šířkou fólie.

$$L = \frac{A}{b} = \frac{9}{0,5} = 18 \text{ m} \quad (6.2)$$

Délka fólie je větší než délka ochlazovaných stěn v místnosti. Zvolená fólie má správně zvolený plošný výkon a může se použít.

Plocha použité fólie se vynásobí s jejím plošným výkonem a výsledkem bude její výkon pro místnost 101.

$$P = A \cdot P_p = 9 \cdot 80 = 720 \text{ W} \quad (6.3)$$

V případě místnosti 108 (zádveří) by fólie s tímto výkonem byla nedostačující, neboť místnost nemá dostatečně velkou plochu stropu pro její umístění (pouze cca 3 m²). Je zde potřeba použít fólii výkonnější. Použijeme tedy fólii ECOFILM C 520 stejné značky, která má ale dvojnásobný plošný výkon a zvládne vytopit danou místnost.

$$A = \frac{Q_z^3}{P_p} = \frac{374}{160} = 2,34 \text{ m}^2 \doteq 2,5 \text{ m}^2 \quad (6.4)$$

$$P = A \cdot P_p = 2,5 \cdot 160 = 400 \text{ W} \quad (6.5)$$

Místnosti 105 a 205 (koupelna) budou jako jediné vytápěné podlahovou i stropní fólií. U těchto místností kvůli většímu komfortu použijeme podlahovou topnou fólii od stejného výrobce s označením ECOFILM F 1006 s jejími parametry také uvedenými v Tabulka 9. Podlahovou fólii umístíme všude tam, kde nebude překážet vana nebo spotřebiče, to odpovídá ploše cca 3 m². Zbylou tepelnou ztrátu, kterou nepokryje tato fólie, pokryje fólie stropní umístěná opět k ochlazované stěně místnosti.

$$P_{F1006} = A_{F1006} \cdot P_{pF1006} = 3 \cdot 58 = 174 \text{ W} \quad (6.6)$$

Minimální výkon stropní fólie:

$$P_{C510}^{min} = Q_z^3 - P_{F1006} = 374 - 174 = 200 \text{ W} \quad (6.7)$$

Plocha stropní fólie:

$$A = \frac{P_{C510}}{P_p} = \frac{200}{80} = 2,5 \text{ m}^2 \doteq 3 \text{ m}^2 \quad (6.8)$$

Instalovaný výkon stropní fólie:

$$P_{C510} = A \cdot P_p = 3 \cdot 80 = 240 \text{ W} \quad (6.9)$$

Celkový topný výkon v koupelně je součet výkonů stropní a podlahové fólie.

$$P = P_{C510} + P_{F1006} = 414 \text{ W}. \quad (6.10)$$

Výkon je po ověření větší než tepelná ztráta místnosti.

$$L = \frac{A}{b} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ m} \quad (6.11)$$

Délka stropní fólie je větší, než je délka ochlazovaných stěn (cca 5 m). Zvolena tedy byla fólie se správným plošným výkonem.

Tabulka 10 Návrh tepelného výkonu fólií podle tepelných ztrát místností

místnost	Q_z^3 [W]	L [m]	S [m ²]	P [W]	Cena [Kč]
101	693	18	9	720	3 020
102	460	12	6	480	2 013
103	367	10	4	400	1 678
104*	-	0	0	0	0
105	374	6	3	414**	2 469
106	100	3	1,5	120	503
107	374	10	5	400	1 678
108	385	5	2,5	400***	1 541
201	693	18	9	720	3 020
202	460	12	6	480	2 013
203	367	10	4	400	1 678
204*	-	0	0	0	0
205	374	6	3	414**	2 469
206	100	3	1,5	120	503
207	374	10	5	400	1678
208	385	5	2,5	400***	1541
celkem	5 508	128	64	5 868	25 805 Kč

V Tabulka 10 jsou pro každou místnost podle tepelné ztráty Q_z^3 uvedeny výkony topných fólií P ve wattech zajištěny pomocí fólií ECOFILM. Délky fólií L v metrech a velikosti jejich ploch S v metrech čtverečních a v posledním sloupci cena fólií bez DPH.

*Tyto místnosti jsou nevytápěné, a proto se pro ně nenavrhuje žádné vytápění, ani se nepočítají jejich tepelné ztráty. Nevytápění těchto místností pouze zvýší tepelné ztráty okolních místností, ze kterých sem proniká teplo.

**Část výkonu pro tyto místnosti je zajištěna stropním vytápěním (240 W) a část podlahovým vytápěním (174 W).

***Pouze pro tyto místnosti je použita topná fólie ECOFILM C 520 s dvojnásobným plošným výkonem, než mají stropní fólie ve zbylých místnostech, tzn. $160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Maximální teplota podlahy s podlahovým vytápěním byla u místností s dlouhodobým pobytem osob omezena ČSN EN 1264 na $27 \text{ }^\circ\text{C}$ (tzv. hygienické teplotní maximum) [9].

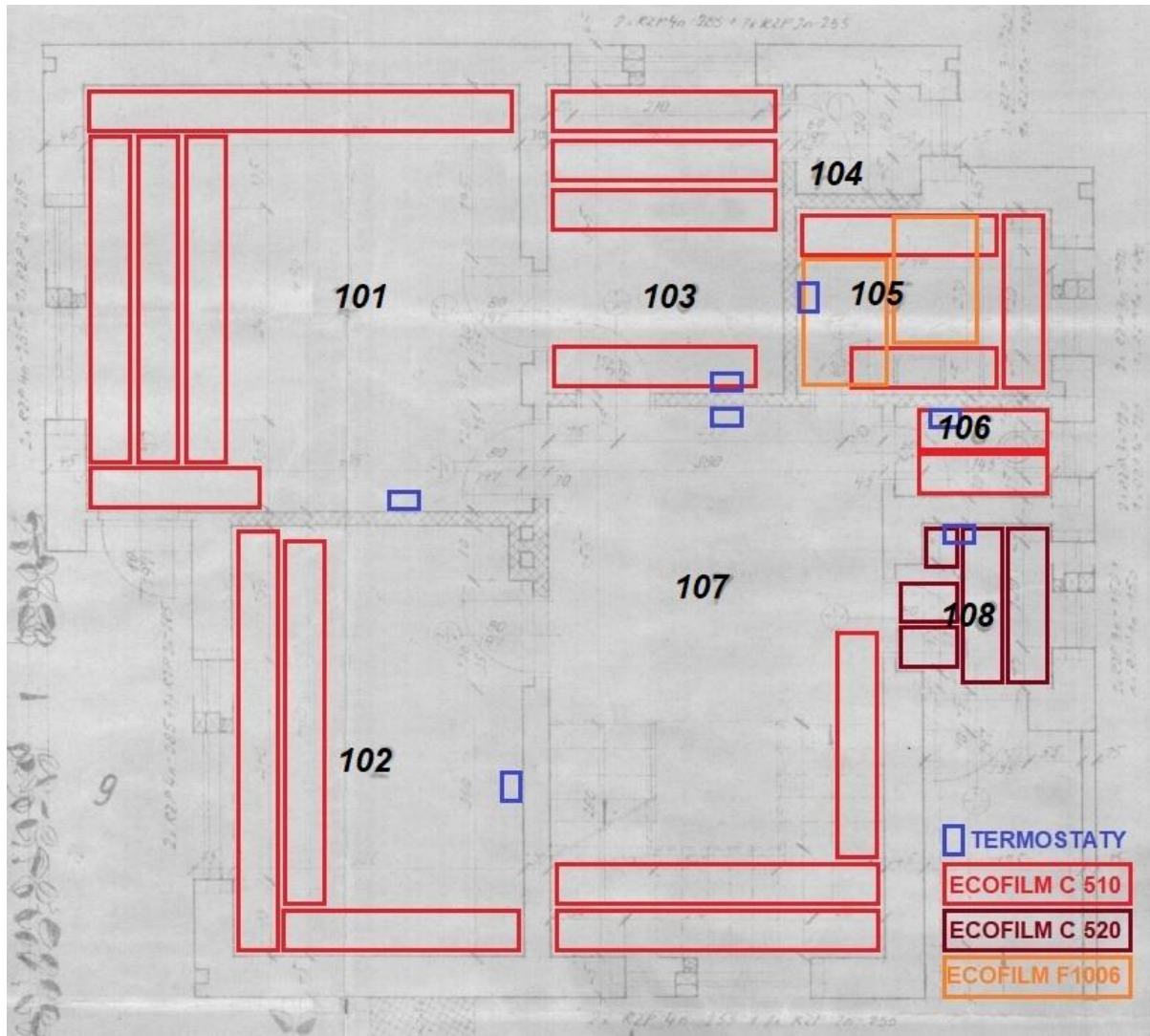
Podle výrobce se vyrábí pouze fólie v takových výkonech, které při dodržení všech instalačních podmínek tuto teplotu nemohou překročit (maximálně $80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Pro regulaci podlahového vytápění pomocí topných fólií ECOFILM je nutný termostat s podlahovou sondou. Bez řádné regulace s podlahovou sondou a dostatečného odvodu tepla z povrchu krytiny může dojít k poškození samotné topné fólie a podlahové krytiny. Povrchová teplota vytápěné podlahy podle výrobce splňuje hygienické limity.

Nejen u podlahového, ale také u stropního sálavého vytápění je důležité hlídat povrchovou teplotu otopné plochy (strop), neboť vysoká teplota by způsobila nadměrné osálení temene hlavy a výraznou tepelnou nepohodu [14]. Pro stropní sálavé vytápění je podle nařízení vlády č. 523/2002 Sb. stanovena maximální intenzita osálení $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [15]. Tato intenzita není v žádné místnosti překročena, neboť maximální použitý topný výkon stropní sálavé fólie je $160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (zádveřní místnosti číslo 108 a 208).

6.1 Návrh termostatů

Aby vytápění místností bylo dostatečně efektivní a komfortní, je třeba správně zvolit umístění termostatů. Termostat pomáhá udržovat zvolenou teplotu v místnosti. Aby mohl správně fungovat, musí být umístěn na vhodné místo v místnosti. Nejlepší místo pro umístění termostatu je takové, kde přirozeně proudí vzduch a kde není termostat zakrytý. Přirozené proudění znamená, že by se termostat neměl umísťovat například k oknům nebo do blízkosti topného tělesa. Vhodná nejsou také místa, na která by mohlo oknem svítit slunce. Do každé vytápěné místnosti se umístí jeden termostat, celkem tedy 14 termostatů pro celou budovu.

Termostaty se umístí ideálně na protější stěny oken a topných těles, ve výšce cca 1,7 m nad podlahou, mimo oblast možného průvanu (např. u dveří), nebo oblast s vysokým nábytkem nebo možným dopadem slunečního světla. Rozmístění topných fólií a termostátů je zobrazeno na Obrázek 10.



Obrázek 10 Rozmístění topných fólií a termostátů [Příloha 1]

7. Úvod do fotovoltaického systému

Fotovoltaická zařízení, ať už to jsou fotovoltaické panely či FV střešní krytina, se objevují ve stále větším počtu. Nejenže se stále více podílejí na utváření střech a fasád, ale jsou také stále lepší. U mnoha moderních, ale také postarších budov jsou důležité formální a estetické aspekty budovy. Moderní architektura má však za úkol projektovat takové budovy, které budou příznivé pro uživatele i životní prostředí a také šetrné vůči zdrojům [16, s. 5-7].

„Čím více FV zařízení poznamenává tvář našich měst a budov, tím důležitější je FV moduly kromě výroby energie výtvarně a funkčně do nich integrovat. Tím mohou FV zařízení kromě výroby elektrického proudu převzít další funkce budovy, jako je ochrana před povětrnostními vlivy, zastínění, světelné poměry, pokrytí střechy, obložení fasády, tepelná izolace a vizuální ochrana. Rozhodující je zde volba materiálu, tedy tvar, barva a povrch. Zde již máme k výběru mnoho různých materiálů“ [16, s. 9].

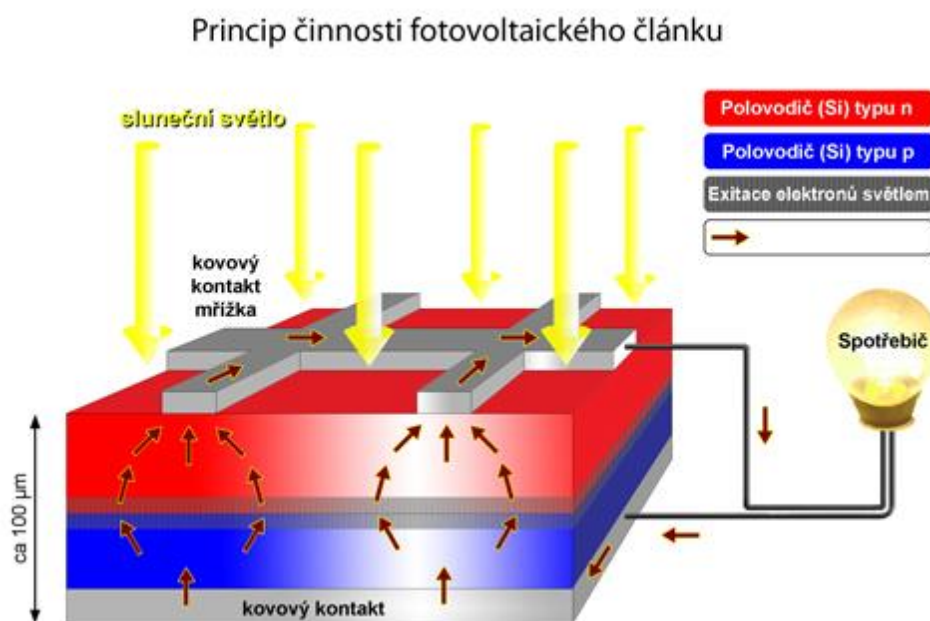
Fotovoltaika celkově se stala velmi populární, protože vytváří decentrální energetický systém, může při vhodném umístění na rodinný dům vytvořit určitou energetickou soběstačnost a je schopna lokálně vyrobit energii, která se většinou ihned na daném místě spotřebuje a tím odpadájí přenosové ztráty, který by vznikly, kdyby byla energie dodávána odjinud. Rozmachu fotovoltaiky také napomáhá podpora Evropské Unie v rámci snižování emisí. Tuto podporu při výrobě tak zvané „zelené“ energie aplikují státy EU různými způsoby.

7.1 Fotovoltaický jev

„V solárním článku probíhá přeměna světla na elektrickou energii. Fotovoltaický jev objevil v roce 1839 francouzský fyzik Alexander Bequerel. Přeměna spočívá ve fyzikálním jevu, který probíhá nehlukně bez emisí a spotřeby látek v solárně aktivních materiálech. Solární články se skládají z polovodičů, ve většině případů z křemíku.

Polovodiče jsou látky, jejichž elektrická vodivost leží mezi vodivostí kovu a dielektrika. Polovodiče se přívodem energie mohou stát vodivými. Čtyři vnější elektrony atomu křemíku tvoří vazby elektronových párů se sousedními atomy. U krystalických solárních článků při tom vzniká pravidelná krystalická mřížka. V článku spolu hraničí dvě elektricky odlišně dotované a tím rozdílně vodivé polovodičové oblasti. Kladně dotovaná (p) a záporně dotovaná (n) oblast. Mezi nimi vzniká vnitřní elektrické pole, které je způsobeno difuzí nadbytečných elektronů z polovodiče n do polovodiče p v prostoru pn přechodu. Vzniká oblast s malým počtem volných nosičů náboje, tzv. vrstva prostorového náboje. V oblasti n vrstvy prostorového náboje zbývají kladné, v oblasti p záporně nabitě atomy dotujícího prvku. Tím vzniká elektrické pole, které je orientováno proti směru pohybu nosičů náboje, takže difuze elektronů nemůže pokračovat donekonečna“ [16, s. 13].

„Dopadne-li na solární článek světlo, může zářivá energie fotonů uvolňovat elektrony z jejich vazeb v atomové mřížce. Fotony se přitom absorbují. Uvolněné záporně nabitě elektrony jsou potom volně pohyblivé a na svém původním místě ponechají kladný náboj, tak zvanou díru. Vnitřní elektrické pole solárního článku způsobuje, že jsou oba elektrické náboje přitahovány do opačných směrů. Náboje postupují odlišnými cestami, záporné náboje putují k přední straně článku, kladné k zadní straně. V důsledku takto vznikající opačné polarity přední a zadní strany vzniká mezi nimi rozdíl potenciálů, který lze naměřit jako elektrické napětí. Toto napětí naprázdno leží u krystalických solárních článků obvykle v rozmezí 0,6 až 0,7 V. Uzavře-li se elektrický obvod, teče přes spotřebič proud“ [16, s. 14].



Obrázek 11 Princip činnosti FV článku [17]

7.2 Solární článek

Solární, nebo také FV článek je polovodičová dioda, která je schopna přeměnit světelnou energii na elektrickou energii pomocí fotovoltaického jevu popsaného výše. Jeho základem je tenká křemíková destička s vodivostí typu P. Při výrobě FV článku se na křemíkové destičce vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N. Obě vrstvy jsou odděleny tzv. přechodem P-N [18].

„Klasický krystalický solární článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana obrácená ke slunečnímu světlu je záporně dotována fosforem, vrstva ležící pod ní je kladně dotována bórem. Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední a zadní straně umístěny kovové elektrody jako

kontakty. Na zadní straně je to většinou provedeno jako celoplošná elektroda. Naproti tomu přední strana musí co nejlépe propouštět světlo. Kontakty se zde většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část přední plochy povrchy článku. Na povrchu článku by se mělo světlo co nejméně odrážet, aby se co nejvíce fotonů absorbovalo. Proto se na povrch článku umísťuje antireflexní vrstva“ [16, s. 14].

Pro výrobu dnes nejrozšířenějších fotovoltaických panelů se používají dva druhy křemíku, monokrystalický nebo polykrystalický, ze kterých se vyrábí jednotlivé články a z těch se sérioparalelním zapojením skládají FV panely. Panely postupem času „stárnou“ a snižuje se jejich výkon. Toto snížení výkonu se pohybuje okolo 0,7 % výkonu za rok. Většina výrobců udává garanci zachování min. 85 % výkonu za 20 let provozu elektrárny.

- Monokrystalický článek

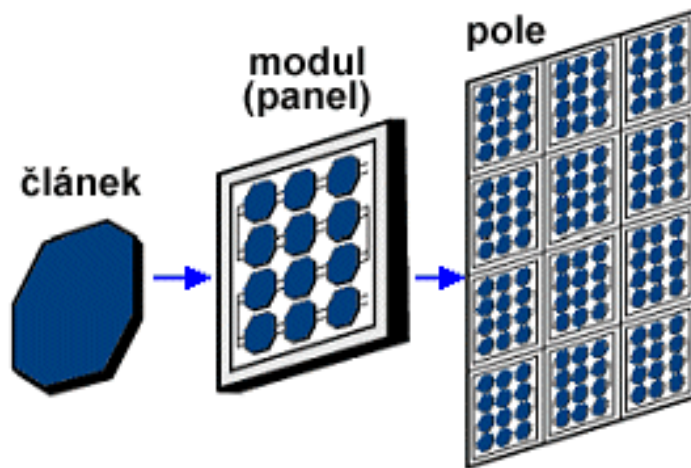
„Pro výrobu monokrystalického článku je třeba vyrobit jednolitý ingot křemenného krystalu. Taková výroba je poměrně náročná. Kulatý ingot se potom řeže na tzv. wafery, které se oříznou na požadovanou velikost FV článku (nyní obvykle 156x156mm). Protože ingot vznikl jako jeden velký krystal křemíku, jeho struktura je jednolitá a velice čistá. To určuje další vlastnosti monokrystalického článku“ [19].

- Polykrystalický článek

„Pro získání polykrystalického ingotu stejné velikosti je použit jiný postup. Je totiž technologicky jednodušší nechat vykrytalizovat množství menších křemíkových krystalů než jednoho kompaktního. Z menších krystalů se vyrobí substrát, který se slisuje do jednoho celku (opět obvykle 156x156mm). Další postup je již stejný s monokrystalem. Pochopitelně touto technologií nelze docílit takové čistoty materiálu, jsou v něm viditelné přechody mezi krystaly“ [19].

Polykrystalickými články se práce nebude zabývat. Budou se porovnávat a bude se pracovat pouze s výrobky, jež používají články monokrystalické. Monokrystalické články mají oproti polykrystalickým například větší účinnost, to znamená, že na stejné ploše dokážou vyrobit více energie. Další výhodou monokrystalu je pomalejší stárnutí křemíku, tzn. menší snižování výkonu článku v čase.

Vzhledem k tomu, že instalovaný výkon elektrárny je 10 kWp a je žádoucí využití veškeré vyrobené elektrické energie, uvažuje se pro objekt třífázový střídač.



Obrázek 12 Složení FV systému [18]

7.3 Obecné výhody a nevýhody solární (FV) energie

Za velkou výhodou solárních systémů se považuje jejich bezemisní provoz, při kterém nevznikají žádné škodlivé látky. Provoz je také zcela bezhlučný, ve většině případů nepohyblivý a nevyžaduje prakticky žádnou obsluhu. Jelikož je energie získávána ze slunce, jedná se také o prakticky nevyčerpatelný zdroj energie [18].

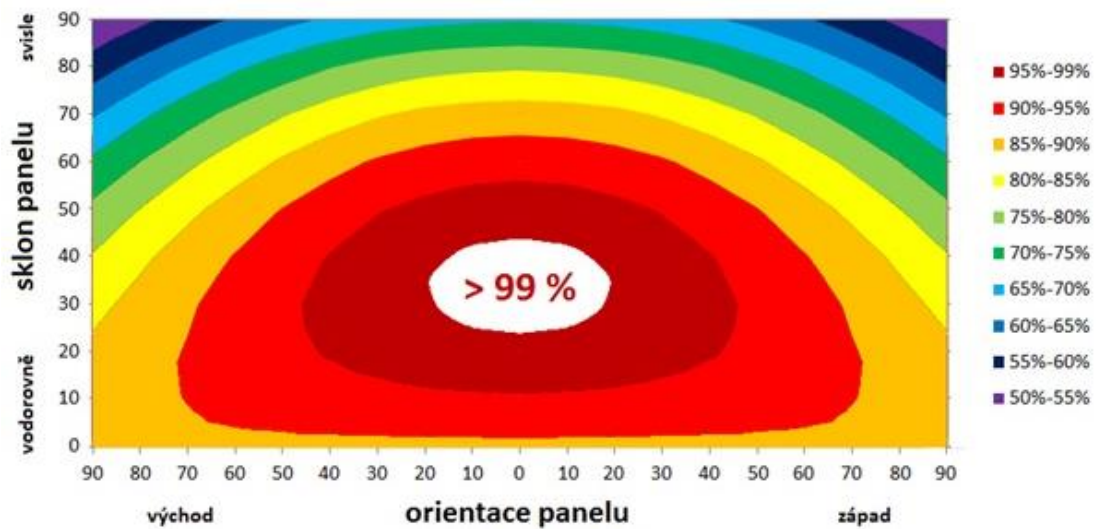
Solární zařízení mají však na druhou stranu i určité nevýhody, se kterými se musí při jejich navrhování a výpočtech počítat. Solární články jsou zcela závislé na intenzitě a době trvání slunečního svitu v průběhu roku. Účinnost solárních článků je oproti jiným zdrojům energie značně nižší, z čehož plynou nároky na plochy článků. Případně je zde také potřeba záložního zdroje energie pro období, kdy slunce nesvítí [18].

7.4 Konfigurace střechy

Optimální sklon fotovoltaických panelů, a tedy i FV článků, je v naší zeměpisné šířce 35° od vodorovné roviny, ale panely lze se ztrátami do 5 % umístit i do sklonů od 20° do 55°. „Optimálním sklonem pro termální sluneční kolektory je zpravidla 45°, což je sklon nejvýhodnější, pokud se energie chce využívat celoročně, protože v zimě je slunce na obzoru znatelně níž, a tudíž je toto naklonění vhodnější k vyšší účinnosti kolektorů“ [20].

Optimální orientace solárních panelů je na území ČR vždy co nejvíce směrem k jihu, odkud slunce svítí v průběhu dne nejdéle a s největší intenzitou. „Za ideální orientaci lze považovat i cokoliv mezi jihovýchodem a jihozápadem, to znamená natočení s mírnějším odklonem od jihu (podle Obrázek 13 až 45° naklonění od jihu), kde se ztráty na výnosu pohybují do 5 %. Panely lze orientovat i směrem na přesný východ nebo na přesný západ, pokud není jiná možnost. Potom ztráta na energetickém výnosu (oproti optimální orientaci zmíněné výše) bude do 20 %“ [20].

Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu



Obrázek 13 Výnos energie v závislosti na sklonu a orientaci panelu na území ČR [21]

7.4.1 Porovnání různých sklonů FV krytiny

Tabulka 11 Intenzita dopadajícího slunečního záření v závislosti na roční době pro sklon 40° a ideální sklon střechy pro daný den [22]

12:00 SEČ	Výška slunce nad obzorem h [°]	Intenzita dopadajícího slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]	Ideální úhel střechy [°]
Letní slunovrat	63,5	942	26,5
Zimní slunovrat	16,5	836	73,5
Jarní a podzimní rovnodennost	40	982	50

Tabulka 12 Intenzita dopadajícího záření pro různé sklony střechy ve vybraných dnech [22]

Intenzita dopadajícího slun. záření pro různé sklony střechy [$W \cdot m^{-2}$]	26,5°	73,5°	40°
Letní slunovrat	968	716	942
Zimní slunovrat	619	997	836
J+P rovnodennost	861	934	967
celkem	2448	2647	2745

26,5° a 73,5° jsou teoretické ideální sklony střechy pro solární elektrárnu v pravé poledne našeho času při letním a zimním slunovratu v tomto pořadí. Vypočtou se jako rozdíl 90° a výšky slunce nad obzorem ve stupních.

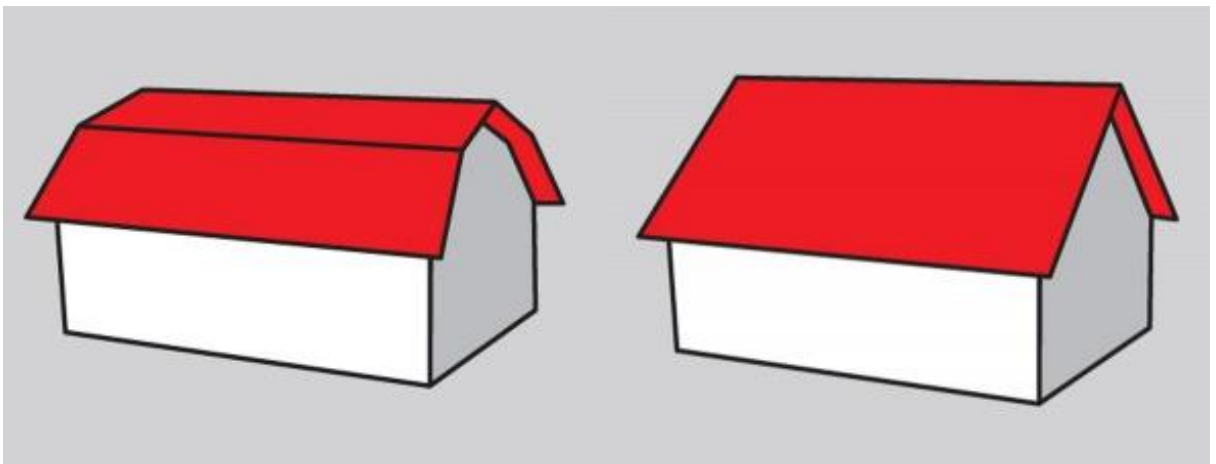
Příklad výpočtu pro letní slunovrat:

$$\text{Ideální úhel} = 90 - 63,5 = 26,5^\circ \text{ od vodorovné roviny}$$

Intenzita dopadajícího slunečního záření v těchto ideálních úhlech je teoreticky největší, neboť paprsky pro tyto úhly dopadají kolmo na solární články, což je jeden z předpokladů pro zajištění maximálního možného výkonu solárního článku.

Pro maximalizaci výroby elektřiny v letním i zimním období se jeví jako vhodná varianta montáž mansardové střechy. Vrchní část mansardové střechy by díky svému provedení vyrobila více elektřiny v letním období a spodní část střechy v zimním období. Z tabulky 12 je však vidět, že celková intenzita dopadajícího slunečního záření za celý rok je největší pro sklon střechy 40° .

Reálné hodnoty intenzity dopadajícího slunečního záření jsou v zimním období výrazně nižší kvůli většímu znečištění ovzduší (oblačnost, mlhy, kouř z vytápění budov atd.) a musí být zahrnut součinitel znečištění atmosféry, který nabývá hodnot mezi 0,1 až 0,2.



Obrázek 14 Mansardová (vlevo) a sedlová střecha (vpravo) [23]

8. Solární panely

Solární panel je nutné na střeše pečlivě uchytit, aby vydržel například poryvy větru nebo tíhu sněhu. Například sedlové střechy se nejčastěji skládají z dřevěných konstrukcí, tzv. krovů, do kterých se ukotvují háky, které jsou většinou ocelové či hliníkové. Na háky se dále připevňují vodorovné profily, na které se uchycují panely. Konstrukce střechy má určitou nosnost a jelikož panely jsou samy o sobě dost těžké, každý kus váží zhruba 20 kg, musí být kotvicí konstrukce z co nejlehčího ale zároveň dostatečně pevného materiálu. Proto se jako ideální materiál pro nosné profily pro solární panely jeví hliník, který zároveň také dobře odolává korozi. Vlastnost odolávat korozi je na střeše jedna z nejdůležitějších, neboť materiál bude vystaven dešti, sněhu a dalším nežádoucím vlivům.

Při uchycení panelů na střeše záleží na typu střechy a materiálu střešní krytiny. U plechové krytiny například je možné háky připevnit přes plech. U taškové krytiny se háky upevňují pod taškou do krovu a jsou vyvedeny směrem dolů pod taškou ven na střechu, kde nesou většinou hliníkové profily. Z ekonomických důvodů je lepší, když jsou panely na střeše orientovány svisle, respektive aby jejich delší strana byla svisle. Panely se také mohou namontovat do střechy, obdobně jako se montují střešní okna. Na rovném povrchu je naopak výhodnější horizontální orientace panelů.



Obrázek 15 Instalace FV panelů na šikmou střechu [24]



Obrázek 16 Umístění FV panelů na střeše [25]

Srovnání výrobců FV panelů:

Tabulka 13 Někteří výrobci FV panelů a jejich specifikace [26, 27, 28]

Výrobce	Suntech	AUO/BENQ	SUNPOWER	Q Cells
Země výroby	ČR	Tchaj-wan	ČR	J. Korea
Max. plošný výkon [Wp·m ⁻²]	183	181	189	193
Rozměry [mm]	1450x992x35	1640x992x40	1690x998x35	1685x1000x32
Plošná hmotnost [kg/m ²]	11,3	11,5	11,3	11,1
max. účinnost [%]	18	18	19	19
Cena [kč·m ⁻²]	3 260	3 260	4 800	3 690

8.1 Výhody

Největší výhodou solárních panelů se zdá být v současné době jejich plošná výkonnost, to znamená, že na stejné ploše vyrobí více elektrické energie než FV tašky nebo FV plechová krytina. Díky tomu jich je na střeše zapotřebí menší počet na výrobu stejného množství el. energie, což může vést k finančním úsporám. Pokud se pro montáž FV elektrárny zvolí FV panely, nemusí se měnit kompletně celá střešní krytina, pouze se na již stávající krytinu připevní solární panely.

8.2 Nevýhody

Největší nevýhodou solárních panelů se jeví estetika a design střechy po jejich nainstalování. Montáž solárních panelů na již existující střechu též znamená určitý zásah do struktury střechy a může se stát, že při špatné či nedůsledné montáži bude do střechy například zatékat voda. Oproti ostatním FV systémům je u solárních panelů nevýhodou také cena za jejich instalaci na střechu.

9. Fotovoltaické střešní tašky

Srovnání výrobců FV tašek:

Tabulka 14 Výrobci FV střešních tašek a jejich specifikace [29, 30]

Výrobce	Terran	Tesla	Hanergy Hantile
Země výroby	Maďarsko	USA	Čína
Max. plošný výkon [Wp·m ⁻²]	150	140	105
Počet tašek na 1 m ²	10 kusů	-	3,43 kusů
Plošná hmotnost [kg·m ⁻²]	59	-	34 kg
materiál	beton	sklo	sklo
Cena [kč·m ⁻²]	-	5500	5000

9.1 Výhody

Jednou z největších výhod solárních tašek je jejich vzhled. Na rozdíl od solárních panelů je přítomnost FV zařízení na střeše ve formě FV tašek téměř k nepoznání. Solární tašky mohou být na rozdíl od solárních panelů na střechu umístěny i v oblastech, které solární panely zakazují, například chráněné krajinné oblasti, historické části měst atd. U FV tašek není potřeba zasahovat do struktury střechy jako je tomu u solárních panelů.

9.2 Nevýhody

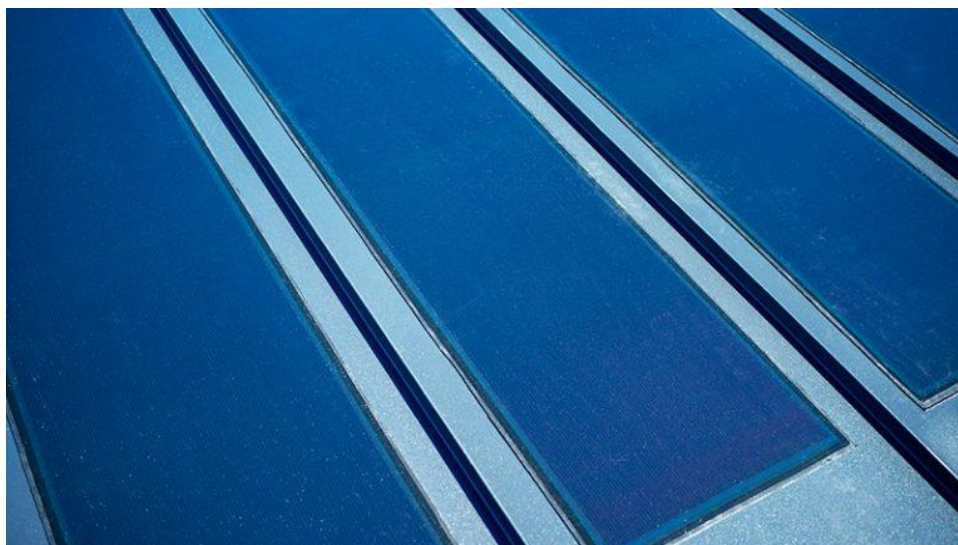
Jelikož se na rozdíl od solárních panelů jedná o poměrnou novinku na trhu, není zatím moc firem, které solární tašky vyrábí. Není tedy zatím příliš velký výběr a u některých výrobců ještě nejsou stanoveny ani ceny. Při volbě FV tašek jako FV systému na střechu domu je potřeba celou stávající střechu vyměnit za novou, protože by do sebe dva druhy krytiny nepasovaly. Tento problém však mizí při stavbě střechy nové, nebo při provádění rekonstrukce.



Obrázek 17 FV taška Terran Generon [31]



Obrázek 18 Střecha s krytinou Terran Generon [29]



Obrázek 19 Detail FV plechové střechy Lindab Solar Roof [32]

10. Fotovoltaická plechová krytina

Srovnání výrobců FV plechové krytiny

Tabulka 15 Výrobci FV plechové krytiny a její specifikace [33]

Výrobce	Lindab	Forward Labs
Země výroby	Švédsko	USA
Max. plošný výkon [W·m ⁻²]	95	204
Rozměry [mm]	3100x410	-
Hmotnost [kg·m ⁻²]	7	-
Účinnost [-]	-	-
Materiál	plech	kov a sklo
Cena [Kč·m ⁻²]	2 100	-

10.1 Výhody

FV plechová krytina nabízí podobné výhody jako solární tašky v porovnání se solárními panely. Je estetičtější, levnější a neprovádí se žádný zásah do střechy jako je tomu u solárních panelů. FV plechová krytina je navíc ještě oproti solárním taškám lehčí, což může být rozhodující faktor například u starších střech, které mají omezenou nosnost, nebo také v horských oblastech, kde střechy musí unést vysoké zatížení sněhem.

10.2 Nevýhody

Nevýhodou může být nižší účinnost ve výrobě elektřiny a opět se jedná o novinku na trhu, která je zatím k dostání pouze u pár výrobců v několika zemích.



Obrázek 20 Střecha Lindab Solar Roof se zabudovaným FV systémem [32]

11. Návrh FV elektrárny

Pro montáž solárních zařízení jsou střechy obecně velmi vhodným místem. Střechy bývají ze všech částí domu nejméně zastíněné a nabízejí velkou plochu pro možné využívání solární energie. Sedlové střechy mají zároveň často už vhodný sklon, který by FV zařízení pouze kopírovalo.

V případě počítaného objektu se jedná o plochou střechu, na kterou se jako první varianta nabízí umístění nakloněných solárních panelů v řadách s odstupem mezi sebou a s natočením na JV nebo JZ pro maximální využití střešní plochy. Solární panely mají ze všech 3 typů FV krytin nejvyšší plošný výkon. Kvůli vlastnostem a umístění uvažovaného domu by bylo konstrukčně a finančně velice náročné zde fotovoltaické tašky a plechy použít. Pro jejich použití je nutný požadovaný sklon střechy nejméně 15°, proto by musela být na ploché střeše přistavěna nová střecha s odpovídajícím sklonem. Vzhledem k orientaci domu by se jednalo buď o valbovou nebo pultovou střechu s natočením na JV, případně JZ. Takováto stavba by však zcela narušila ráz okolní výstavby rodinných domů a nebyla by povolena stavebním úřadem.

Jako druhá varianta FV systému byla řešena možnost použití tenkovrstvých fotovoltaických fólií, které by se umístily naležato přímo na plochou střechu. Jedná se o alternativu k použití FV panelů, která se po zvážení nejví jako vhodná.



Obrázek 21 Příklad použití tenkovrstvé FV na dřevostavbě [34]



Obrázek 22 Příklad použití tenkovrstvé FV na téměř ploché střeše [34]

Pro výpočty se uvažuje s FV panely natočenými na JV a nakloněnými pod úhlem 40° od vodorovné roviny. Velikost střechy počítaného domu nenabízí dostatečně velkou plochu pro umístění dostatečného výkonu FV panelů. Z rozměrů domu vyplývá, že na střechu je možné umístit v JV směru maximálně 15 solárních panelů o standardních rozměrech $1 \times 1,6$ m. Podle Obrázek 13 se u takto natočených panelů dá uvažovat s 90% výnosem energie oproti natočení na jih [21]. Tento počet panelů s uvažovaným plošným výkonem $175 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ odpovídá výkonu 3,8 kW.



Obrázek 23 Pohled na dům shora se znázorněným jižním směrem a umístěnými panely [Internetová mapová aplikace Mapy Google]

FV systém jako energetický zdroj pro uvažovaný objekt se navrhuje pro přechodné období, to znamená podle tepelné ztráty nejchladnějšího měsíce v přechodném období. Tato ztráta vyšla 5,5 kW pro měsíc listopad. Průměrná spotřeba domácnosti se uvažuje 1 kWh od 6:00 do 22:00 a průměrná spotřeba na ohřev TUV 1 kWh od 0:00 do 24:00 h. Pro dostatečné pokrytí tepelných ztrát, ohřev TUV a spotřebu domácnosti je zapotřebí teoretický instalovaný výkon cca 7,5 kW. Na základě zkušeností s provozem obdobných systémů se z praktického hlediska doporučuje instalovat 40 panelů o celkovém instalovaném výkonu 10 kW pro pokrytí energetických potřeb i mimo polední hodiny, kdy panely generují nejvíce energie. 15 panelů na střeše RD má instalovaný výkon 3,8 kW. Zbývající panely s výkonem 6,2 kW je nutné umístit například na garážovou střechu či jakoukoliv přístavkovou střechu v okolí domu.

Pro zlepšení stupně využití FV panelů se uvažuje s akumulací energie do teplovodního akumulátoru. V případě nedostatečné výroby elektřiny a tepla z fotovoltaiky se zbylá potřebná elektřina dobere ze sítě a teplo vyrobí tepelné čerpadlo. V období, kdy nebude potřeba topit a bude přebytek elektrické energie z FV systému, se vyrobená elektřina může použít například na pohon klimatizace, uložení do baterií, ohřev vody v bazénu, dobíjení elektromobilu, pohon spotřebičů atd.

Tabulka 16 Intenzita dopadajícího slunečního záření v dané lokalitě a výkon FV systému v závislosti na denní době [22]

čas	Intenzita dopadajícího slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]			Výroba elektrické energie v FV panelech [Wh]			2. metoda výpočtu výroby el. energie [Wh]
	22.9.	20.3.	15.11.	22.9.	20.3.	15.11.	20.3.
6:00	0	0	0	0	0	0	1 209,6
7:00	0	240	0	0	2 419,2	0	3 638,9
8:00	240	482	428	2 419,2	4 858,6	4 314,2	5 911,9
9:00	482	691	625	4 858,6	6 965,3	6 300,0	7 781,8
10:00	691	853	778	6 965,3	8 598,2	7 842,2	9 122,4
11:00	852	957	876	8 588,2	9 646,6	8 830,1	9 838,1
12:00	956	995	912	9 636,5	10 029,6	9 193,0	9 883,4
13:00	995	966	884	10 029,6	9 737,3	8 910,7	9 253,4
14:00	965	870	794	9 727,2	8 769,6	8 003,5	7 993,4
15:00	870	716	648	8 769,6	7 217,3	6 531,8	6 189,1
16:00	715	512	456	7 207,2	5 161,0	4 596,5	3 961,4
17:00	512	274	0	5 161,0	2 761,9	0	1 466,6
18:00	273	17	0	2 751,8	171,4	0	85,7
19:00	0	0	0	0	0	0	0
			Celkem	76 114,1	76 335,8	64 522,1	76 335,8

Výpočet výroby elektřiny solárních panelů v Tabulka 16 byl proveden na základě uvažování 40 panelů o účinnosti 15,75 % a rozměrech 1,6 x 1 m [27], což odpovídá instalovanému výkonu 10 kWp. Hodnota účinnosti již zahrnuje snížení o 10 % kvůli mírnému odklonu panelů od jižního směru. Tyto parametry se násobí s intenzitou dopadajícího slunečního záření a výsledkem je výroba elektrické energie v kWh. Intenzita dopadajícího slunečního záření vychází z programu, který: „počítá úhel dopadu a intenzitu slunečního záření ve $W \cdot m^{-2}$, které za bezmračné oblohy dopadá na vodorovnou anebo sklonitou plochu (střechu, fasádu apod.) v aktuálním čase nebo v čase, který si uživatel zadá“ [22].

Příklad výpočtu výroby elektrické energie pro 20.3. v 7 hodin ráno:

$$Výroba = I \cdot C \cdot \eta \cdot m = 240 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,1575 \cdot 40 = 2\,419,2 \text{ Wh}, \quad (11.1)$$

kde I je intenzita dopadajícího slunečního záření, C je plocha jednoho panelu, η je účinnost panelu a m počet panelů. Intenzita I v $W \cdot m^{-2}$ má hodnotu 240 v čase 7:00, v čase 8:00 je hodnota 482. V čase od 7 do 8 hodin se hodnota intenzity postupně mění, pro zjednodušení výpočtu však uvažujeme intenzitu 240 po celou dobu od 7 do 8 hodin. Vypočtená hodnota výroby vyjde menší než hodnota skutečná. Tímto počítáním ale nevznikne velká chyba, protože v odpoledních hodinách se naopak intenzita I s časem snižuje, vypočtená hodnota vyjde naopak vyšší než hodnota skutečná a celková nepřesnost výpočtu se tím sníží na minimum.

Pro jistotu výpočtu se výroba elektřiny vypočetla ještě jedním způsobem. Vzorec zůstal stejný, pouze se změnila intenzita dopadajícího záření. Místo hodnoty 240, která platí v 7 hodin ráno, se použila střední hodnota mezi 7. a 8. hodinou.

$$I = \frac{240 + 482}{2} = 361 \text{ W} \cdot m^{-2} \quad (11.2)$$

$$Výroba = I \cdot C \cdot \eta \cdot M = 361 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,1575 \cdot 40 = 3\,638,9 \text{ Wh} \quad (11.3)$$

S touto novou hodnotou intenzity se vypočetla výroba pro celý den. Navíc se musela přidat hodnota mezi 6. a 7. hodinou ráno, kdy už slunce v uvažovaný březnový den také svítí. Výsledná hodnota denní výroby elektrické energie je totožná s hodnotou vypočtenou první metodou. Jelikož se výroba počítá po hodinách, vychází výsledek ve watthodinách.

Předpoklady FV elektrárny a výpočtů na území České republiky:

- zanedbání stárnutí článků (cca 0,7 % každý rok) a tím snížení výkonu v čase
- nezastíněná část střechy orientovaná na JV (bez komínu, stínících stromů, antén atd.) a nezastíněná obloha
- sklon panelů 40° od vodorovné roviny
- zanedbání změny odporu článku v závislosti na teplotě okolního vzduchu
- průměrně 1000 hodin slunečního svitu za rok provozu elektrárny [35]
- výkony v tabulkách jsou uvedeny pro všechny dny vždy pro čas 12:00, kdy je slunce na obloze v průběhu dne nejvýše
- všechny úhly jsou uváděny od vodorovné plochy

11.1 Porovnání FV krytin

Pro FV systém o určitém výkonu je zapotřebí určitého množství solárních článků. Pro tento výpočet se jedná o výkon elektrárny 10 kWp. Aby se zjistilo, kolik panelů, solárních tašek a solární plechové krytiny by bylo potřeba pro výrobu s daným instalovaným výkonem, je nutné znát plošné výkony jednotlivých krytin. Podíl výkonu elektrárny a plošného výkonu dané krytiny se rovná potřebné minimální ploše C panelů či FV krytiny k výrobě 10 kW.

Pro zjednodušení výpočtů a následného porovnání se uvažuje s plošnými výkony FV krytin udávanými výrobci, tedy maximálními plošnými výkony krytin.

Tabulka 17 Potřebné plochy jednotlivých FV zařízení pro 10 kW FV elektrárnu [28, 29, 33]

	Výrobce	Plošný výkon [Wp·m ⁻²]	Min. plocha C [m ²]	Počet kusů
panely	Q Cells	190	53	32
FV tašky	Terran	150	67	670
FV plechy	Lindab	95	106	84

Tabulka 17 obsahuje plošné výkony udávané výrobcí jednotlivých solárních zařízení dostupné z katalogů či webových stránek výrobců. Z tabulky je patrné, že FV panely díky nejvyššímu plošnému výkonu potřebují nejmenší plochu pro instalaci a jedná se tedy o správně zvolenou variantu i z hlediska úspory plochy pro FV systém, která je v případě počítaného objektu omezená.

V případě použití solárních panelů cena vzroste kvůli ceně za montáž panelů na střechu, ale plocha FV systému za použití panelů je menší než u solárních tašek a plechů a není tedy nutné jich instalovat tolik. Při volbě solárních tašek či plechů by se cena také navýšila, nikoli kvůli instalaci, která je zde poměrně jednoduchá, ale kvůli potřebě stejného typu střešní krytiny, aby do sebe fotovoltaická a nefotovoltaická část tašek či plechů pasovaly.

12. Návrh tepelného čerpadla

Pro přechodné období se uvažuje vytápění sálavými stropními a podlahovými fóliemi, které jsou navrženy na vytápění při uvažované venkovní teplotě 3 °C. Vytápění najednou sálavými fóliemi a teplovodními otopnými tělesy pomocí tepelného čerpadla bude zajišťovat tepelnou pohodu v zimních měsících, kdy by použití pouze sálavých fólií nestačilo. Pro zimní měsíce se uvažuje venkovní oblastní výpočtová teplota -12 °C.

Podle tepelné ztráty objektu při venkovní teplotě -12 °C a průměrné spotřeby na ohřev TUV se navrhne tepelné čerpadlo o dostatečném výkonu. Tepelná ztráta pro uvažovaný objekt s venkovní teplotou -12 °C vyšla 9,86 kW a průměrná spotřeba na ohřev TUV se odhaduje na 1 kW. Použije se tedy tepelné čerpadlo o výkonu minimálně 11 kW. Vstupní teplota topné vody se počítá 55 °C a tepelný spád 20 °C, tzn. teplota zpátečky 35 °C.

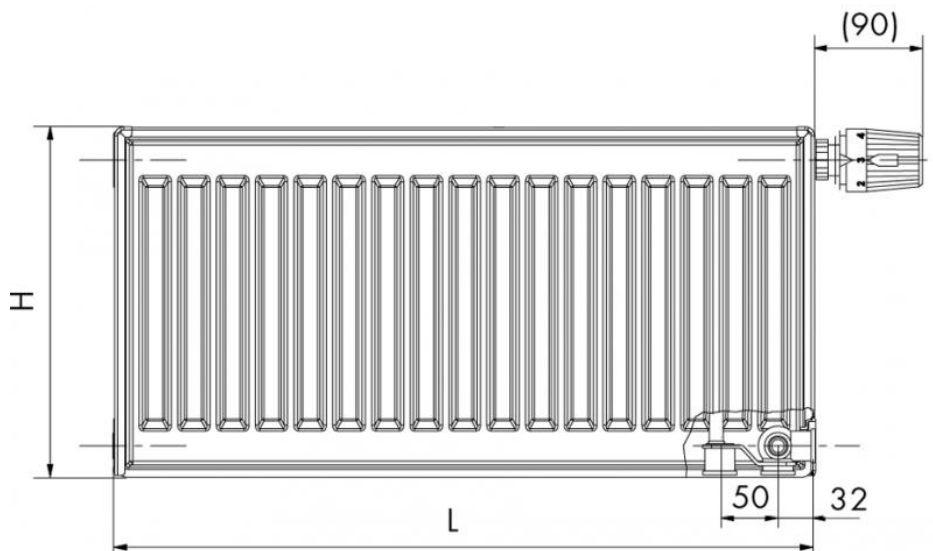
Bylo zvoleno tepelné čerpadlo voda-voda PremiumLine EQ E 17 značky IVT. Tepelný výkon čerpadla s teplotním spádem 45 °C (B0/W45, kde B0 značí teplotu země 0 °C a W45 teplotu ohřáté vody vystupující z čerpadla 45 °C) je podle webových stránek výrobce 16,1 kW [36]. Tento výkon se přepočte pro teplotní spád 55 °C (B0/W55), aby teplota výstupní vody odpovídala uvažovaným 55 °C. Pro přepočet se použije podobný vzorec jako pro výpočet redukované tepelné ztráty.

$$P_{W55} = P_{W45} \cdot \frac{W45 - B0}{W55 - B0} = 16,1 \cdot \frac{45 - 0}{55 - 0} = 13,17 \text{ kW} \quad (12.1)$$

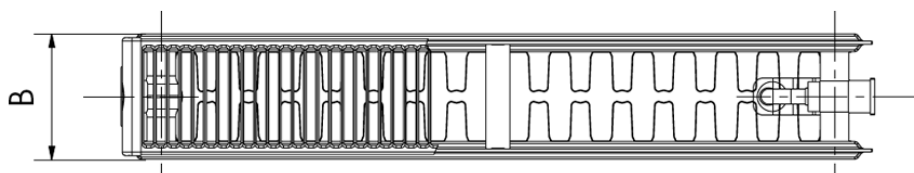
P_{W55} je tepelný výkon čerpadla při B0/W55 a P_{W45} tepelný výkon při B0/W45. Přepočtený tepelný výkon je větší než potřebných 11 kW a tepelné čerpadlo lze použít. Aby teplota TUV dosáhla hodnoty 55 °C, bude nutné vodu ještě dohřívat topnou patronou v zásobníku TUV.

12.1 Návrh otopných těles

Podobně, jako se pro přechodné období pro každou místnost navrhovaly sálavé fólie, se nyní pro každou místnost podle tepelné ztráty navrhnou desková otopná tělesa. Kvůli umístění stávajících těles a vedení otopné soustavy byla vyhledána tělesa s možným pravým nebo levým spodním připojením. Byl zvolen model RADIK typu 22 VKU v provedení ventil kompaktní značky KORADO. Tělesa se umístí na stěnu pod okno. Jejich délka musí být minimálně stejná jako je délka okna, pod kterým se těleso nachází, což je důležitá podmínka zajištění tepelné pohody. Parametry jednotlivých těles jsou uvedeny v Tabulka 18 a spolu s cenami těles jsou získané z oficiálních stránek výrobce [37, 38]. Ceny otopných těles se odvíjí od jejich rozměrů.



Obrázek 24 Deskové otopné těleso RADIK typu 22 VKU (1) [37]



Obrázek 25 Deskové těleso RADIK typu 22 VKU (2) [37]

Na Obrázek 26 je oficiální tabulka výrobce pro výběr otopných těles, podle které byla tělesa vybrána [37]. Tabulka obsahuje topné výkony pro tepelný spád 55/35 °C a výpočtovou teplotu v místnosti 22 °C. Tělesa se vybírala vždy tak, aby byla pokryta délka okna a zároveň tepelná ztráta místnosti. Podle tepelné ztráty se volil dostatečný tepelný výkon. Z délky tělesa a jeho tepelného výkonu vyplynula výška otopného tělesa uvedená v horním řádku.

Příklad výběru tělesa pro místnost 101:

Délka okna v místnosti je 2400 mm, je volen řádek se stejnou nebo nejbližší větší délkou tělesa, tedy 2600 mm. Tepelná ztráta místnosti je 1240 W, podle které se v daném řádku volí sloupec se stejnou či větší hodnotou tepelného výkonu P_t [W]. Nejbližší vyšší hodnota je 1418 W. Tento výkon tělesa je zbytečně velký, a proto je volen tepelný výkon 1228 W, který je pouze o 12 W menší, než je tepelná ztráta místnosti. Z těchto volených parametrů tělesa vyplynula jeho výška, která je v tomto případě 500 mm.

Délka [mm]	Výška [mm]						
	200	300	400	500	600	700	900
400		126	158	189	218	245	295
500		158	198	236	273	306	369
600		189	238	283	327	367	443
700		221	277	331	382	429	516
800	180	252	317	378	436	490	590
900	203	284	357	425	491	551	664
1000	225	315	396	472	545	612	738
1100	248	347	436	520	600	674	811
1200	271	378	475	567	655	735	885
1400	316	441	555	662	764	858	1033
1600	361	505	634	756	873	980	1180
1800	406	568	713	851	982	1103	1328
2000	451	631	793	945	1091	1225	1475
2300	519	725	912	1087	1255	1409	
2600	586	820	1030	1228	1418	1592	

Obrázek 26 Tepelné výkony deskových otopných těles [37]

Tabulka 18 Parametry deskových těles [37, 38]

název místnosti	Q_z^{-12} [W]	P_t [W]	výška [mm]	délka [mm]	cena bez DPH [Kč]
Obývací pokoj	1 240	1 228	500	2 600	9 893
Ložnice	824	820	300	2 600	8 097
Kuchyň	657	725	300	2 300	7 437
Spíž	0	0	0	0	0
Koupelna	670	735	700	1 200	6 285
WC	179	189	300	600	3 704
Hala	669	725	300	2 300	7 437
Zádveří	689	735	700	1 200	6 285
Obývací pokoj	1 240	1 228	500	2 600	9 893
Ložnice	824	820	300	2 600	8 097
Kuchyň	657	725	300	2 300	7 437
Spíž	0	0	0	0	0
Koupelna	670	735	700	1 200	6 285
WC	179	189	300	600	3 704
Hala	669	725	300	2 300	7 437
Zádveří	689	735	700	1 200	6 285
Celkem					98 276

13. Ekonomické zhodnocení rekonstrukce objektu

Všechny kroky rekonstrukce od zateplení obálky budovy po návrh tepelného čerpadla jsou finančně ohodnoceny. Na základě odhadu odborné firmy se u zateplení obálky, nové fasády a všemi činnostmi a materiálem s tím spojenými počítá s částkou 600 000 Kč bez DPH. K částce se také váže cena projektové dokumentace zateplení, která je 50 000 Kč bez DPH. Rekonstrukce dále obsahuje ceny za sálavé topné fólie, otopná teplovodní tělesa a všechny doplňkové ceny. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH.

Cena za sálavé fólie a termostaty vychází z cen uvedených na stránkách výrobce FENIX [10, 12, 13, 39]. Cena za kabely je odhadovaných 20 % z ceny fólií a za montáž činí odhad 50 % ceny fólií. Pro instalaci sálavých fólií je potřeba k stávajícímu stropu přistavět nové sádkartonové podhledy. Jejich cena s veškerým materiálem k tomu potřebným vychází i s prací podle odhadu specializované firmy na cca 85 000 Kč bez DPH.

Tabulka 19 Cena topných fólií bez DPH

Topné fólie	25 805 Kč
Termostaty	10 500 Kč
Kabely	5 161 Kč
Montáž	12 902 Kč
SDK podhledy	85 000 Kč
Celkem	139 368 Kč

Kompletní cena za FV systém se skládá z ceny za FV panely, kabely, uchycovací a kotvící prvky, kovovou konstrukci, třífázový střídač, regulátor přetoků a montáž. Při uvažování 40 panelů a ceny 2 700 Kč bez DPH/kus [27] vychází cena panelů na 108 000 Kč. Za třífázový střídač se podle odhadu uvažuje cena 80 000 Kč bez DPH a regulátor přetoků 20 000 Kč bez DPH. Z celkové ceny panelů, střídače a regulátoru se odhadne cena za doplňky a montáž, kterou uvažujeme jako 20 % celkové ceny.

Tabulka 20 Cena FV systému

FV panely	108 000 Kč
3f střídač	80 000 Kč
Regulátor přetoků	20 000 Kč
Ostatní	42 000 Kč
Celkem	250 000 Kč

Ceny otopných těles jsou uvedeny v technickém ceníku výrobce KORADO [38]. Cena montáže těles a teplovodních trubek se odhaduje na třetinu ceny těles.

Tabulka 21 Cena otopných těles bez DPH

Otopná tělesa	98 276 Kč
Montáž	32 431 Kč
Celkem	130 707 Kč

Pro instalaci tepelného čerpadla voda-voda je nutné nejdříve vyhloubit vrt, jehož cena je odhadována na 150 000 Kč. Tepelné čerpadlo značky IVT je spolu s jeho cenou uvedeno na stránkách výrobce [36]. Montáž je odhadem oceněna na 15 % ceny za tepelné čerpadlo.

Tabulka 22 Cena tepelného čerpadla a vrtu bez DPH

Tepelné čerpadlo	210 000 Kč
Vrt	150 000 Kč
Montáž	31 500 Kč
Celkem	391 500 Kč

13.1 Souhrn cen

Jelikož se jedná o rekonstrukci staršího dvoupatrového domu s celkem 14 vytápěnými místnostmi, vychází rekonstrukce velice finančně náročná. Veškeré shrnutí dosavadních cen je uvedeno v Tabulka 23. Ve všech cenách je započítána cena za montáž a všechny ceny jsou uvedeny bez DPH.

Tabulka 23 Shrnutí cen rekonstrukce bez DPH

Jednotlivé části rekonstrukce	Cena
Izolace obálky a nová fasáda	600 000 Kč
Projektová dokumentace zateplení	50 000 Kč
Sálavé fólie a SDK podhledy	139 368 Kč
FV systém	250 000 Kč
Otopná tělesa	130 707 Kč
Tepelné čerpadlo	391 500 Kč
Projektová dokumentace rekonstrukce topení	30 000 Kč
Celkem	1 591 576 Kč

14. Doba návratnosti

Doba návratnosti investice se počítá z ročních finančních úspor a z celkových nákladů investice. Celková cena rekonstrukce bez započtení státních dotací je uvedena v Tabulka 23. Roční finanční úspory se skládají z více částí. Pro výpočet je také nutné zahrnout státní dotace.

14.1 Úspora tepla

Zaizolování obálky budovy přináší nižší tepelné ztráty a tím úsporu financí kvůli menší potřebě na vytápění objektu. Tepelné ztráty objektu před zateplením byly pro zimní období vypočteny na 21,8 kW a po zateplení na 9,86 kW. Současná roční cena vytápění elektrokotlem činí 62 377 Kč. Z poměru tepelných ztrát po a před zateplením a současné ceny vytápění se odhadne nová cena za vytápění. Výpočet používá stejný vzorec, jako je vzorec pro redukovanou tepelnou ztrátu. Pro vytápění elektrokotlem se uvažuje distribuční sazba pro elektrické topení D57d a pro tepelné čerpadlo se uvažuje distribuční sazba pro tepelné čerpadlo D56d od společnosti ČEZ Prodej pro rok 2020, viz příloha 6.

Roční cena elektrické energie pro vytápění (po zaizolování):

$$Cena = \frac{9,86}{21,8} \cdot 62\,377 = 28\,485 \text{ Kč} \quad (14.1.1)$$

Roční úspora z vytápění objektu se vypočítá jako rozdíl staré a nové roční ceny vytápění:

$$Úspora = 62\,377 - 28\,485 = 33\,892 \text{ Kč} \quad (14.1.2)$$

14.2 Úspora elektřiny

Navržená FV elektrárna pro rodinný dům vyrobí za rok určité množství energie, která by se jinak musela odebrat ze sítě. Instalovaný výkon FV systému je 10 kWp a předpokládá se výroba 11,1 MWh elektrické energie za rok [příloha 7]. Díky akumulaci energie a regulátoru přetoků se předpokládá 90% využití vyrobené energie, což odpovídá 10 MWh. Při uvažování akumulární distribuční sazby D25d spotřebovaná energie z FV systému odpovídá částce 23 584 Kč za rok [příloha 6].

14.3 Státní dotace

Díky programu Nová zelená úsporám lze získat státní dotace na některé části rekonstrukce. Nová zelená úsporám je: „Program Ministerstva životního prostředí administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR zaměřený na úspory energií v rodinných a bytových domech“ [40].

Podpora zahrnuje: „dotace na zateplení obvodových stěn, střechy, stropu a podlah, výměnu oken a dveří a výstavbu zelené střechy. Dotace na stavbu a koupi nového rodinného domu s velmi nízkou energetickou náročností. Dotace na solární termické a fotovoltaické systémy, řízené větrání se zpětným získáváním tepla (rekuperace), výměnu zdrojů tepla. Dotace na výstavbu bytových domů a koupi bytu po celé ČR nebo na snížení energetické náročnosti bytových domů v Praze“ [40]. Na případ počítaného objektu se vztahuje dotace na zateplení, FV systém a nový zdroj tepla v podobě tepelného čerpadla.

Na zateplení se uvažují dotace ve výši 50 % celkové rekonstrukce obálky domu [40]. Taková částka odpovídá hodnotě 300 000 Kč, která se při výpočtu návratnosti odečte od ceny rekonstrukce. Dotace kryjí také kompletní cenu projektové dokumentace zateplení, která činí 50 000 Kč.

FV systém, který efektivně spolupracuje se systémem vytápění a přípravy TUV s tepelným čerpadlem může získat dotaci ve výši 150 000 Kč [40]. Tato částka se opět odečte od celkové ceny rekonstrukce, což zajistí snížení doby návratnosti.

Výše podpory pro tepelné čerpadlo voda-voda je v kombinaci se zateplením rodinného domu 100 000 Kč. Pro tepelné čerpadlo v kombinaci se zateplením rodinného domu je také dotační bonus ve výši 20 000 Kč [40]. Dotace stejně jako u zateplení zaplatí kompletní cenu projektové dokumentace nového topení, která je 30 000 Kč.

Po odečtení všech dotací z ceny rekonstrukce vznikne finální cena investice pro výpočet doby návratnosti.

$$\begin{aligned} \text{Investice} &= 1\,591\,576 - 350\,000 - 150\,000 - 150\,000 && (14.3.1) \\ &= 941\,576 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Jako roční zisk pro výpočet doby návratnosti se uvažuje součet roční finanční úspory za teplo (snížené vytápění) a elektřinu (FV systém).

$$\text{Roční zisky} = 33\,892 + 23\,584 = 57\,476 \text{ Kč} \quad (14.3.2)$$

Tabulka 24 Výpočet doby návratnosti

rok		0	1	2	3	4
C-F	[tis. Kč·rok ⁻¹]	-941,6	57,5	57,5	57,5	57,5
kumulativní C-F		-941,6	-884,1	-826,6	-769,1	-711,7
diskontované C-F		-941,6	56,9	56,3	55,8	55,2
NPV		-941,6	-884,7	-828,3	-772,5	-717,3

15	16	17	18	19
57,5	57,5	57,5	+57,5	57,5
-79,4	-22,0	35,5	93,0	150,5
49,5	49	48,5	48,1	47,6
-144,7	-95,7	-47,1	0,93	48,5

Z Tabulka 24 je díky čisté současné hodnotě vidět doba návratnosti investice, která při uvažování 1% diskontní míry vychází 18 let. Prostá doba návratnosti při zanedbání diskontní míry by vyšla 16,4 let. Do budoucna se však předpokládá zvyšování cen elektřiny kvůli přechodu na bezuhlíkovou energetiku, díky čemuž by se skutečná doba návratnosti snížila.

15. Shrnutí

Nejdříve jsem vypočítal tepelné ztráty objektu obálkovou metodou (hrubý odhad), které vyšly příliš velké (15,68 kW pro zimní období s venkovní uvažovanou teplotou -12 °C a 8,76 kW pro nejchladnější měsíc přechodného období s uvažovanou teplotou 3 °C). Bylo proto nutné navrhnout dostatečnou vrstvu přídavné tepelné izolace ve formě minerální vlny pro snížení tepelných ztrát. Nový hrubý odhad tepelné ztráty po zateplení vyšel 6,43 kW pro zimní období a 3,6 kW pro přechodné období. Poté jsem vypočítal tepelné ztráty jednotlivých místností objektu pro přechodné i zimní období a podle nich se navrhly způsoby vytápění, které dokážou zajistit tepelnou pohodu v daném období. Tepelná ztráta budovy vypočtená po jednotlivých místnostech vyšla pro zimní období 9,86 kW a pro přechodné období 5,5 kW. Orientační výpočty tepelných ztrát byly prováděny pomocí norem ČSN 06 0210 a ČSN 73 0540.

Pro přechodné období jsem navrhl způsob vytápění elektrickými sálavými stropními a podlahovými fóliemi. Jako zdroj elektrické energie pro sálavé fólie jsem navrhl FV elektrárnu ze solárních panelů o instalovaném výkonu 10 kWp. Fotovoltaika zde také slouží jako částečný zdroj elektrické energie pro domácí spotřebiče či ohřev TUV. V případě malé výroby elektrické energie z FV elektrárny (např. kvůli zastínění slunce) bude zbývající energie čerpána ze sítě. Z výpočtů je vidět, že solární panely zvládnou zajistit vytápění RD v uvažovaných měsících. Předpokladem je dostatečné zateplení obálky RD, které co možná nejvíce sníží tepelné ztráty, a samozřejmě také dostatek slunečního záření v průběhu uvažovaných měsíců.

V zimním období bude objekt vytápěn stávající teplovodní otopnou soustavou a nově navrženými otopnými tělesy díky zvolenému tepelnému čerpadlu voda-voda o instalovaném výkonu 13,2 kW pro teplotní spád 0/55 °C. Aby bylo zajištěno ohřátí vody na požadovanou hodnotu, bude v zásobníku TUV vodu dohřívat topná patrona. Tepelné čerpadlo zajistí tepelnou pohodu v tomto období a bude přitápět v přechodném období v případě malé výroby elektřiny z FV systému. V zimním období fotovoltaika nevyrábí tolik energie kvůli znečištění atmosféry smogem a častou oblačností, a proto bude sloužit pouze jako sekundární zdroj tepla pro zimní měsíce.

V ekonomickém zhodnocení rekonstrukce objektu jsem vypočítal (nebo odhadnul) ceny za veškeré potřebné materiály a montáže a celková výsledná cena rekonstrukce je po odečtení všech státních dotací 942 tis. Kč. Roční finanční úspora se skládá z ceny za nenakoupenou elektřinu, kterou vyrobí FV systém, a z ušetřených financí díky zaizolování domu a sníženým tepelným potřebám budovy. Následně jsem vypočítal dobu návratnosti celkové investice, která vychází s uvažováním 1% diskontní míry 18 let.

16. Závěr

Pro skutečný rodinný dům jsem spočítal energetickou bilanci, navrhl FV systém, tepelné čerpadlo a optimální způsoby vytápění v zimním a přechodném období. Vše bylo technicky a ekonomicky ohodnoceno. Pro vloženou investici 942 tis. Kč vychází prostá doba návratnosti 16,4 let a doba návratnosti s uvažováním 1% diskontní míry 18 let.

Vzhledem k téměř jistému budoucímu nárůstu cen elektřiny se ze všech uvažovaných částí rekonstrukce doporučuje provést minimálně zateplení obálky budovy, které přinese nižší tepelné ztráty a finanční úspory díky menší potřebě vytápění a také sníženou dobu návratnosti. Všechny ostatní části rekonstrukce jsou spíše nadstavbové. V případě provedení pouze zateplení obálky budovy by doba návratnosti s uvažováním 1% diskontní míry a současných cen elektřiny vyšla 9,25 let.

17. Použitá literatura

- [1] ŠÁLA, Jiří. *Katalog tepelných vazeb*. ISOVER ČR [2012]. ISBN 978-80-260-8320-7. Dostupné z: <https://www.isover.cz/ke-stazeni/sbornik-katalogu-tepelnych-vazeb-i-iii>
- [2] Topinfo s.r.o. *Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci*. Tzbinfo [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicевrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [3] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát při ústředním vytápění - nápověda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994. [online]. [cit. 15.4.2021]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000107_help.html#mistnost_n
- [4] GLÜCK, B.: *Heizwasser Netze*, VEB Verlag für Bauwesen Berlin. Berlin 1985. Dostupné z: <https://sssbb.webnode.sk/grs/zwcad-touch/tabulky/>
- [5] *Technický průvodce - Větrání a klimatizace*, Prof. Ing. Jaroslav Chyský CSc., Prof. Ing. Karel Hemzal CSc. a kolektiv, Praha 1993. Dostupné z: <https://sssbb.webnode.sk/grs/zwcad-touch/tabulky/>
- [6] Ministerstvo životního prostředí České republiky. *Územní teploty* [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [7] ČSN 73 0540. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. [online]. [cit. 15.4.2021]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [8] REINBERK, Zdeněk. *Výpočet tepelné ztráty objektu dle ČSN 06 0210* [online]. [cit. 2020-10-26]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-ztraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [9] FENIX Trading s.r.o. *Vytápění – podlahové, nebo stropní?* Tzbinfo [online]. 21.10.2018 [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-elektrinou/18083-vytapeni-podlahove-nebo-stropni>
- [10] FENIX Trading s.r.o. *ECOFILM C 510* [online]. [cit. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://shop.fenixgroup.cz/z4456-ecofilm-c-510-100-w-m#detail-info>
- [11] FENIX Trading s.r.o. *Návod na instalaci* [online]. 2020 [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/sites/default/files/n052.pdf>
- [12] FENIX Trading s.r.o. *ECOFILM F 1006* [online]. [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://shop.fenixgroup.cz/z5330-ecofilm-f-1006-60-w-m#detail-info>
- [13] FENIX Trading s.r.o. *ECOFILM C 520* [online]. [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: <https://shop.fenixgroup.cz/z8546-ecofilm-c-520-200-w-m-mk3>

- [14] Bašta, J. *Otopné plochy*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001.-328 s. ISBN 80-01-02365-6 + Bašta, J. *Návrh otopných těles a tepelná pohoda*. In: Vytápění rodinných domů. STP Praha 2001. s. 41 - 50. ISBN 80-02-01457-X
- [15] Nařízení vlády č. 523/2002 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-523>
- [16] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [17] VR OZE systems s.r.o. *Princip FV článku* [online]. 2009 [cit. 2009-11-23]. Dostupné z: <http://www.nemakej.cz/fotovoltaicke-systemy/princip-fotovoltaickeho-clanku.jpg>
- [18] ČEZ a.s. *Solární články* [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [19] Joyce ČR s.r.o. *Jaký je rozdíl mezi monokrystalickým a polykrystalickým panelem* [online]. [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: https://www.joyce-energie.cz/files/joyce-energie.cz/files/Mono_poly_rozdl.pdf
- [20] Solární Experti s.r.o. *Jak umístit na váš dům solární panely?* [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-umistit-na-dum-solarni-panely/>
- [21] BECHNÍK, Bronislav. *Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů*. Tzbinfo [online]. 23.6.2014 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [22] VEGA spol. s r.o. *Intenzita a úhel dopadu slunečního záření, které dopadá na vodorovnou rovinu, střechu nebo fasádu*. Stavebnictví3000 [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/vypocty/intenzita-a-uhel-dopadu-slunecniho-zareni-na-plochu>
- [23] Vše o střeše. *Typy střech* [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.vseostrese.cz/typy-strech/t1102>
- [24] JORDÁN, Milan a Filip CHLACHULA. *Instalace fotovoltaických panelů na šikmou střechu* [online]. 21.9.2009 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [25] E.ON Energie, a.s. *Typy solárních panelů: Znáte křemíkový, tenkovrstvý nebo organický?* [online]. 11.5.2018 [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.eon-solar.cz/blog/2-ty-py-solarnich-panelu-znate-kremikovy-tenkovrstvy-nebo-organicky>
- [26] Iftech s.r.o. *Shop.iftech* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/13-monokrystalicke-panely#/vyrobce-aeg-lg-sunpower-trina_solar
- [27] Solartec a.s. *Eshop.solartec* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://shop.solartec.eu/solarni-panely/?pv154=58>

- [28] SVP Solar s.r.o. *Solar-eshop* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-q-peak-duo-g5-325wp/ks/>
- [29] Mediterran CZ s.r.o. *Generon* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.generon.cz/>
- [30] Polar s.r.o. *Na český trh vstoupila unikátní fotovoltaická novinka - solární tašky Hanergy HanTile* [online]. 9.9.2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://polar.cz/zpravy/pr/11000014116/na-cesky-trh-vstoupila-unikatni-fotovoltaicka-novinka--solarni-tasky-hanergy-hantile>
- [31] Terran Rooftile Manufacturer Ltd. *Generon*. [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://terran-generon.com/technical-details/>
- [32] Lindab s.r.o. *Lindab solar roof* [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.lindabstrechy.cz/lindab-solar-roof>
- [33] Krytiny-střechy. *Lindab solar roof* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.krytiny-strechy.cz/katalog-stresnich-krytin/plechove-skladane-krytiny/tvarovane-plechove-sablony/lindab/lindab-solar-roof-p.html>
- [34] ČADA, Roman. *Tenkovrstvé FV technologie a BIPV*. VOTUM s.r.o. [online prezentace]. 2011 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: http://www.cne.cz/e_download.php?file=data/editor/17cs_7.pdf&original=Cada.pdf
- [35] DOLEŽEL, Michal. *Kolik elektřiny vyrobí FV panely?* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/kolik-elektřiny-vyrobi-fotovoltaicke-panely/>
- [36] IVT Tepelná čerpadla s.r.o. *PremiumLine EQ*. [online]. [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/ivt-premiumline-eq-zeme-voda>
- [37] KORADO, a.s. *RADIK VKU: Technické parametry*. [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vku.html>
- [38] KORADO, a.s. *RADIK VKU: Technický ceník - s.30. KORADO* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/common/downloads/cenik-deskova-otopna-telesa-radik-vcetne-prislusenstvi.pdf>
- [39] FENIX Trading s.r.o. *Termostaty* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://shop.fenixgroup.cz/k25-katalog-termostaty>
- [40] Ministerstvo životního prostředí. *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/>

18. Seznam příloh

Příloha 1: Projektová dokumentace budovy – půdorys přízemí

Příloha 2: Projektová dokumentace budovy – půdorys střechy

Příloha 3: Projektová dokumentace budovy – svislý řez 1

Příloha 4: Projektová dokumentace budovy – svislý řez 2

Příloha 5: Parametry deskových otopných těles

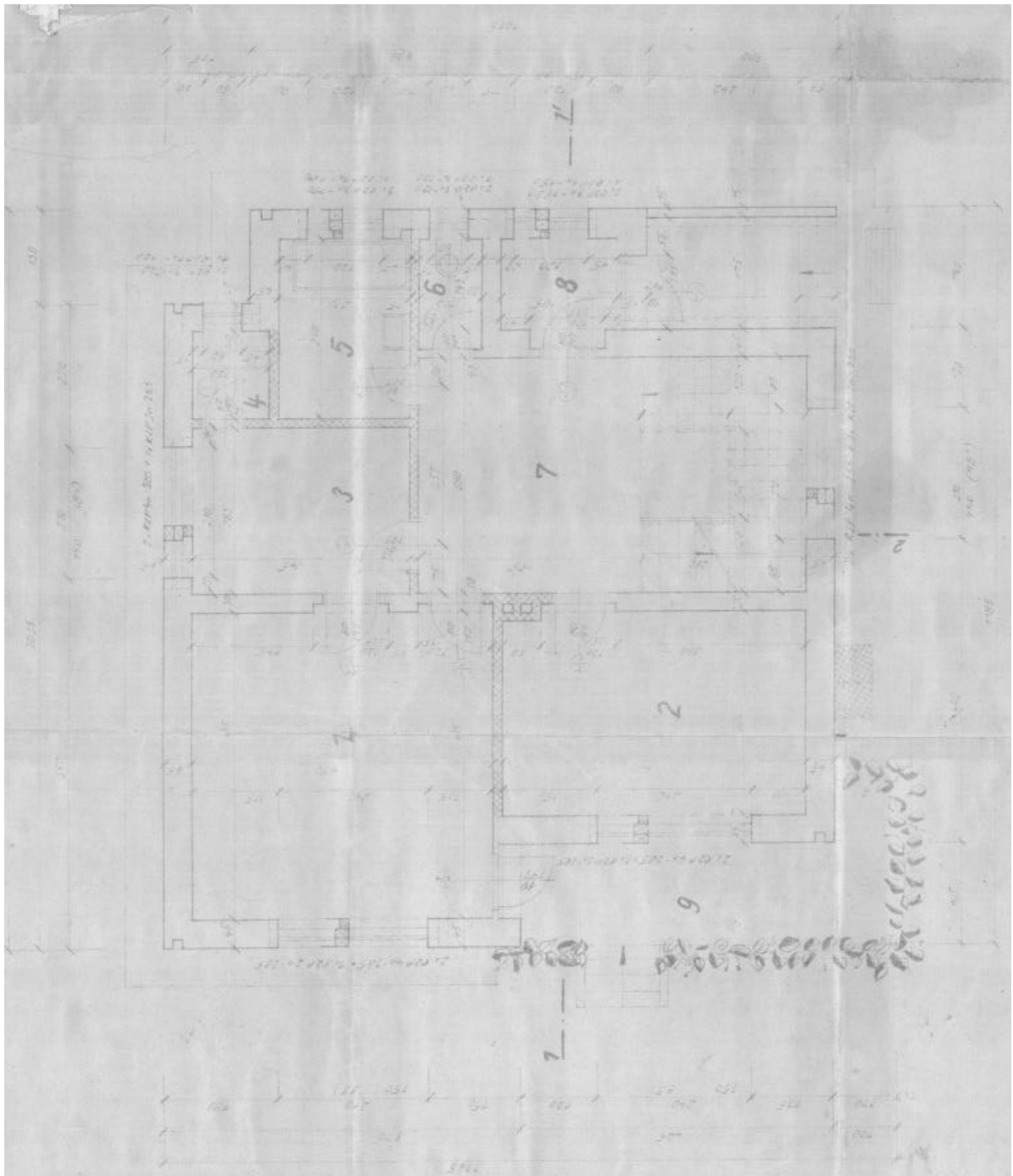
Příloha 6: Ceny elektřiny od společnosti ČEZ Prodej

Příloha 7: Výroba elektřiny z domácí 10 kW FVE mezi lety 2014 a 2020

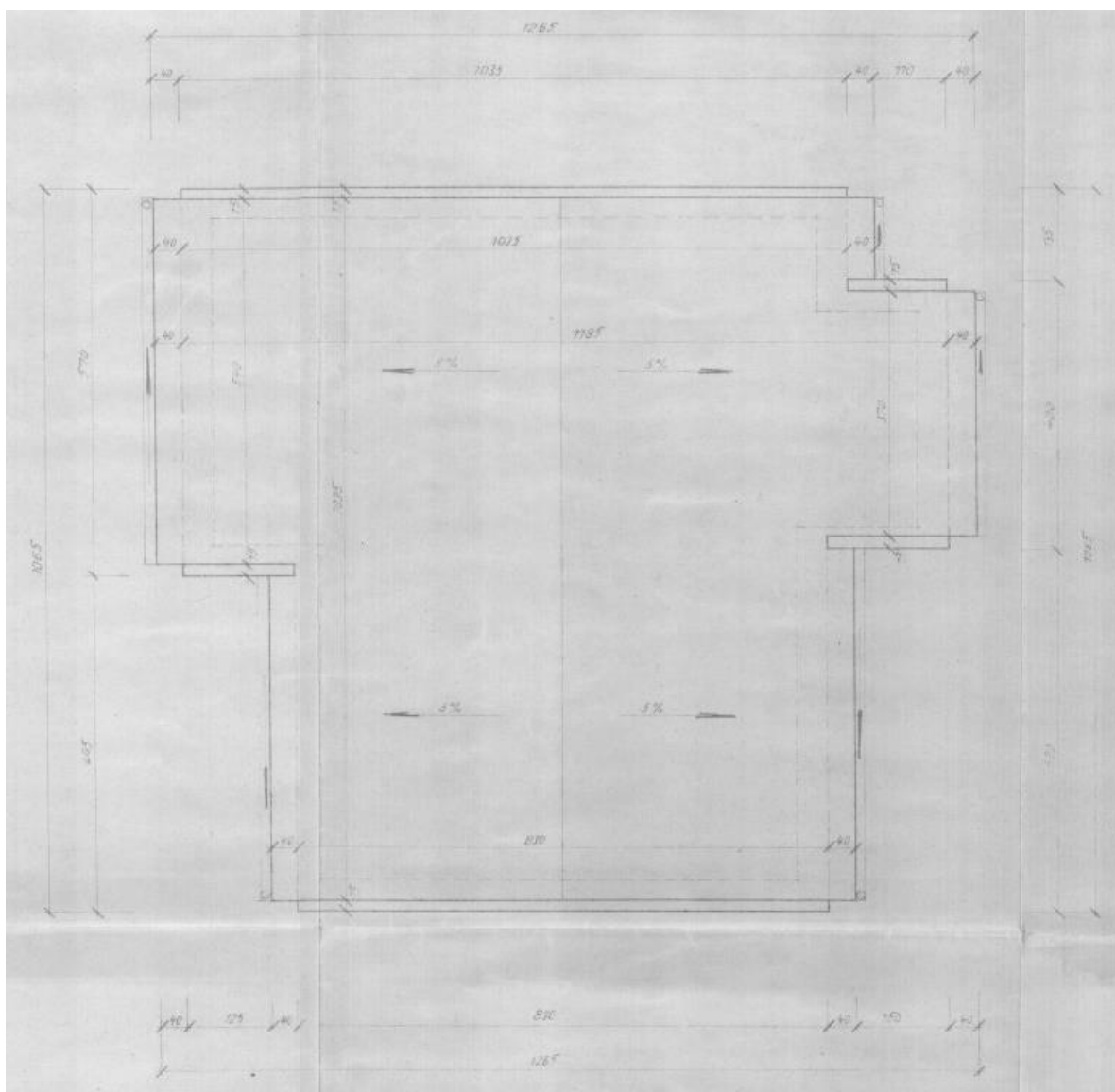
Příloha 8: Parametry tepelné izolace

Přílohy

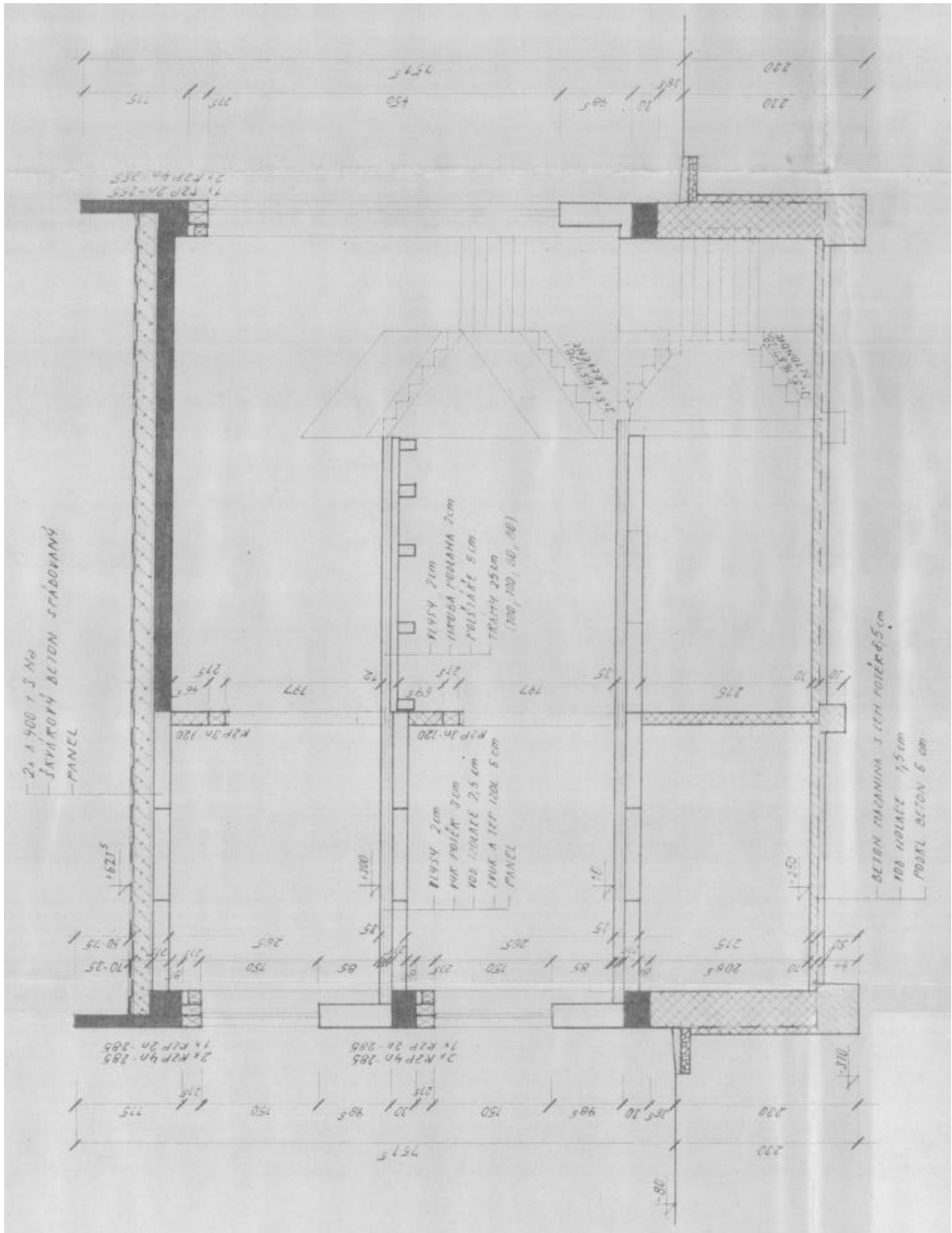
Příloha 1: Projektová dokumentace budovy – půdorys přízemí



Příloha 2: Projektová dokumentace budovy – půdorys střechy



Příloha 3: Projektová dokumentace budovy – svislý řez 1



Příloha 7: Výroba elektřiny z domácí 10 kW FVE mezi lety 2014 a 2020

2020		ODBĚR	DODÁNO	TECHN.	VÝROBA	CELKOVÁ	VYUŽITÁ
		ZE SOUSTAVY	DO SÍTĚ	SPOTŘEBA	ZB	SPOTŘEBA	VYROBENÁ
		DLE OTE	DLE OTE				EL. ENERGIE
		GCR_7	GCR_6	GCR_3	GCR_2	GCR_4	GCR_5
1/31/2020	LEDEN	905	11	0	400	1294	389
2/28/2020	ÚNOR	910	19	0	550	1441	531
3/31/2020	BŘEZEN	523	68	0	700	1155	632
4/30/2020	DUBEN	342	85	0	1600	1857	1515
5/31/2020	KVĚTEN	433	137	0	1880	2176	1743
6/30/2020	ČERVEN	307	167	0	1284	1424	1117
7/31/2020	ČERVENEC	279	96	0	1134	1317	1038
8/31/2020	SRPEN	168	340	0	1302	1130	962
9/30/2020	ZÁŘÍ	341	51	0	1100	1390	1049
10/31/2020	ŘÍJEN	1295	66	0	544	1773	478
11/30/2020	LISTOPAD	1733	54	0	400	2079	346
12/31/2020	PROSINEC	623	11	0	300	912	289
	CELKEM	7859	1105	0	11194	17948	10089

		GCR_7	GCR_6	GCR_3	GCR_2	GCR_4	GCR_5
1/31/2019	LEDEN	620	11	0	200	809	189
2/28/2019	ÚNOR	500	30	0	400	870	370
3/31/2019	BŘEZEN	540	50	0	1255	1745	1205
4/30/2019	DUBEN	600	58	0	1800	2142	1542
5/31/2019	KVĚTEN	407	64	0	1050	1393	986
6/30/2019	ČERVEN	115	275	0	1985	1825	1710
7/31/2019	ČERVENEC	127	662	0	973	438	311
8/31/2019	SRPEN	254	161	0	1400	1493	1239
9/30/2019	ZÁŘÍ	325	72	0	900	1153	828
10/31/2019	ŘÍJEN	638	41	0	855	1252	614
11/30/2019	LISTOPAD	870	17	0	400	1253	383
12/31/2019	PROSINEC	958	11	0	300	1247	289
	CELKEM	5954	1452	0	11118	15620	9666

		GCR_7	GCR_6	GCR_3	GCR_2	GCR_4	GCR_5
1/31/2018	LEDEN	538	11	0	300	827	289
2/28/2018	ÚNOR	500	30	0	640	1010	510
3/31/2018	BŘEZEN	601	42	0	336	895	294
4/30/2018	DUBEN	400	52	0	1440	1788	1388
5/31/2018	KVĚTEN	300	62	0	1470	1708	1408
6/30/2018	ČERVEN	99	76	0	1290	1283	1184
7/31/2018	ČERVENEC	139	132	0	1470	1477	1338
8/31/2018	SRPEN	139	888	0	1600	771	632
9/30/2018	ZÁŘÍ	264	63	0	1101	1302	1038
10/31/2018	ŘÍJEN	462	27	0	899	1334	872
11/30/2018	LISTOPAD	587	17	0	475	1045	458
12/31/2018	PROSINEC	1207	6	0	300	1501	294
	CELKEM	5236	1386	0	11091	14941	9705

		DLE OTE	DLE OTE				
1/31/2017	LEDEN	921	11	0	450	1360	439
2/28/2017	ÜNOR	464	28	0	550	986	522
3/31/2017	BŘEZEN	629	48	0	926	1507	878
4/30/2017	DUBEN	439	61	0	1074	1452	1013
5/31/2017	KVĚTEN	290	104	0	1250	1436	1146
6/30/2017	ČERVEN	160	87	0	1750	1823	1663
7/31/2017	ČERVENEC	265	80	0	1260	1465	1200
8/31/2017	SRPEN	265	98	0	1467	1634	1369
9/30/2017	ZÁŘÍ	542	47	0	853	1348	806
10/31/2017	ŘÍJEN	488	87	0	1200	1601	1113
11/30/2017	LISTOPAD	677	16	0	400	1061	384
12/31/2017	PROSINEC	717	10	0	284	991	274
	CELKEM	5857	677	0	11484	16664	10807

		GCR 7	GCR 6	GCR 3	GCR 2	GCR 4	GCR 5
1/31/2016	LEDEN	519	16	0	435	938	419
2/28/2016	ÜNOR	454	29	0	550	975	521
3/31/2016	BŘEZEN	426	52	0	800	1174	748
4/30/2016	DUBEN	308	67	0	1050	1291	983
5/31/2016	KVĚTEN	381	47	0	1250	1584	1203
6/30/2016	ČERVEN	228	62	0	1300	1466	1238
7/31/2016	ČERVENEC	291	90	0	1299	1500	1209
8/31/2016	SRPEN	219	78	0	1173	1314	1095
9/30/2016	ZÁŘÍ	253	54	0	1230	1429	1176
10/31/2016	ŘÍJEN	502	32	0	500	970	468
11/30/2016	LISTOPAD	533	23	0	400	910	377
12/31/2016	PROSINEC	660	10	0	300	950	290
	CELKEM	4774	558	0	10285	14501	9727

		GCR 7	GCR 6	GCR 3	GCR 2	GCR 4	GCR 5
1/31/2015	LEDEN	523	11	0	205	717	194
2/28/2015	ÜNOR	403	34	0	510	879	476
3/31/2015	BŘEZEN	390	54	0	1148	1484	1094
4/30/2015	DUBEN	351	65	0	1252	1538	1187
5/31/2015	KVĚTEN	306	71	0	1267	1502	1196
6/30/2015	ČERVEN	183	89	0	1583	1677	1494
7/31/2015	ČERVENEC	203	81	0	1299	1421	1218
8/31/2015	SRPEN	241	69	0	1090	1262	1021
9/30/2015	ZÁŘÍ	258	51	0	911	1118	860
10/31/2015	ŘÍJEN	441	30	0	580	991	550
11/30/2015	LISTOPAD	390	29	0	310	671	281
12/31/2015	PROSINEC	477	18	0	306	766	289
	CELKEM		600	0	10460	14026	9860

		GCR 7	GCR 6	GCR 3	GCR 2	GCR 4	GCR 5
1/31/2014	LEDEN	523	11	0	205	717	194
2/28/2014	ÜNOR	403	34	0	510	879	476
3/31/2014	BŘEZEN	390	54	0	1148	1484	1094
4/30/2014	DUBEN	351	65	0	1252	1538	1187
5/31/2014	KVĚTEN	306	71	0	1267	1502	1196
6/30/2014	ČERVEN	183	89	0	1583	1677	1494
7/31/2014	ČERVENEC	203	81	0	1299	1421	1218
8/31/2014	SRPEN	241	69	0	1090	1262	1021
9/30/2014	ZÁŘÍ	258	51	0	911	1118	860
10/31/2014	ŘÍJEN	441	30	0	580	991	550
11/30/2014	LISTOPAD	558	14	0	308	852	294
12/31/2014	PROSINEC	547	10	0	300	837	290
	CELKEM		579	0	10453	14278	9874



Tepelná izolace Knauf FKD S Thermal 200 mm (1,2 m²/bal.)

Výrobky značky: KNAUF INSULATION

fasádní desky z kamenné minerální vlny, pro kontaktní zateplení fasád, převážně bytových domů, rovná hrana, podélná orientace vláken, součinitel tepelné vodivosti Lamb. 0,034 W.m-1.K-1, šířka 600 mm, délka 1000 mm, tloušťka 200 mm, 1,2 m²/bal.

POPIS	PARAMETRY	DOKUMENTY
tloušťka	200 mm	
balení	1,2 m ²	
součinitel tepelné vodivosti	0,034 W/mK	
faktor difuzního odporu	1	
šířka	600 mm	
délka	1000 mm	
barva	Žlutá	
reakce na oheň	A1	
materiálová báze	minerální vlákna - čedičová	
pevnost v tlaku při 10% stlačení	30 kPa	
hrana	Rovná	
výrobce	Knauf Insulation	
značka	Knauf FKD S Thermal	