

Návrh řešení systémů s fotovoltaickými panely pro oblast RD

Bc. Radim Pešek

Diplomová práce
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim Pešek**
Osobní číslo: **A14772**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Integrované systémy v budovách**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh řešení systémů s fotovoltaickými panely pro oblast rodinných domů**

Téma anglicky: **A Study of the Utilisation of Photovoltaic Panel Systems for the Residential**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši současného stavu fotovoltaických technologií použitelných pro předmětné aplikace.
2. Uvedte možnosti ukládání energií z obnovitelných zdrojů.
3. Popište základní výkonové požadavky v domovních aplikacích.
4. Prověřte současné ekonomické podmínky provozování fotovoltaických zdrojů.
5. Navrhněte řešení fotovoltaických technologií pro konkrétní aplikace.
6. Provedte technicko-ekonomické hodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **LIBRA, Martin a Vladislav POULEK.** Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
2. **HASELHUHN, Ralf.** Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. Přeložil Václav LOSÍK. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
3. **GARLÍK, Bohumír.** Inteligentní budovy. Praha: BEN – technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-440-8.
4. **Existující normové a legislativní podklady**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

3. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

22. května 2017

Ve Zlíně dne 3. března 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení: Radim Pešek

Název bakalářské/diplomové práce: Návrh řešení systémů s fotovoltaickými panely pro oblast RD

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že, pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 7.5.2017


podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá kombinací technologií hybridního FV systému a tepelného čerpadla pro oblast rodinného domu. Byla provedena studie parametrů FV zdrojů a jejich možný vývoj. Byl vyhodnocen a popsán rodinný dům po stránce energetických potřeb na vytápění a popsány možnosti ukládání energetických přebytků z navrženého FV generátoru. Dále byl navržen systém pro ukládání těchto přebytků do bateriového systému, spočítány investiční náklady a rychlost návratu investice.

Klíčová slova: Fotovoltaický systém, tepelné čerpadlo, bateriový systém, měnič, rodinný dům

ABSTRACT

Diploma thesis is focused on combination of Hybrid Photovoltaic System and Heat pump technology for residential field. A study of the parameters of the PV sources and their possible development was carried out. The family house was evaluated and described in terms of energy needs for heating and described the possibilities of saving excess energy from the proposed photovoltaic generator. In addition, a system for storing these surpluses in the battery system, calculated investment costs and return on investment rates was proposed.

Keywords: Photovoltaic system, heat pumps, battery system, inverter, family house

Děkuji své rodině za podporu, kterou mi po dobu studia vždy poskytovala.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY	14
1.1 KATEGORIZACE BUDOV	14
1.1.1 Standardní budova	14
1.1.2 Energeticky úsporná budova.....	14
1.1.3 Nízkoenergetická budova.....	14
1.1.4 Energeticky pasivní budova	14
1.1.5 Energeticky nulová budova.....	14
1.1.6 Budova s energetickým přebytkem	15
2 STAVEBNÍ FYZIKA	16
2.1 SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA	16
2.1.1 Tepelné ztráty objektu	19
2.1.2 Tepelné zisky objektu.....	21
2.1.2.1 Tepelná zátěž okny	21
2.1.2.2 Tepelné zisky stěnami	21
2.1.2.3 Produkce tepla od lidí	22
2.1.2.4 Produkce tepla od svítidel, Qsv.....	22
2.1.2.5 Tepelné zisky z vnějšího prostředí.....	22
3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE PRO RD	23
3.1 TEPELNÁ ČERPADLA	23
3.1.1 Topný faktor COP	23
3.1.2 Vzduch/voda	23
3.1.3 Země/voda.....	24
3.1.4 Voda/voda	24
3.2 SLUNCE JAKO ZDROJ ENERGIE	25
3.2.1 Intenzita slunečního záření.....	25
3.3 FOTOTERMICKÝ SYSTÉM.....	26
3.4 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY	27
3.5 FOTOVOLTAICKÝ JEV A PRINCIP FV ČLÁNKU.....	28
3.5.1 Elektrické vlastnosti FV článků.....	29
3.5.1.1 Charakteristické veličiny a křivky FV článků.....	32
3.5.1.2 Účinnost FV článků	33
3.6 DRUHY FV ČLÁNKŮ.....	34
3.6.1 Krystalické křemíkové články	35
3.6.1.1 Monokrystalické křemíkové články	35
3.6.1.2 Multikrystalické křemíkové články	36
3.6.1.3 Polykrystalické křemíkové články	37
3.6.1.4 Tenkovrstvé FV články	38
3.6.1.5 Hybridní články – fotovoltaické články HIT	39
3.6.1.6 Nanostrukturované anorganické a organické FV články	39
3.6.1.7 Koncentrátorové FV články	40
3.6.1.8 Porovnání druhů FV článků a trendů.....	40
4 FV SYSTÉMY	42

4.1	OSTROVNÍ SYSTÉMY – OFF-GRID	42
4.1.1	Systém s přímým napájením	42
4.1.2	Hybridní systémy	43
4.2	SÍŤOVÉ SYSTÉMY – ON-GRID	43
4.3	MOŽNOSTI UKLÁDÁNÍ ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ	43
4.3.1	Kondenzátory	43
4.3.2	Akumulátory – elektrochemické články	44
4.3.2.1	Olověný akumulátor	44
4.3.2.2	Li-ion akumulátor	44
4.3.2.3	NaS akumulátor	44
4.3.3	Přečerpávací vodní elektrárna	45
4.3.4	Setrvačnick.....	45
5	KOMPONENTY FV SYSTÉMU.....	46
5.1	FOTOVOLTAICKÝ MODUL.....	46
5.1.1	Připojovací krabice kabelů a modulů	46
5.1.2	Tvar a typ článků	47
5.2	KONSTRUKCE FV MODULŮ.....	47
5.3	STŘÍDAČ	49
5.3.1	Střídače s NF a VF transformátorem.....	50
5.3.2	Střídače bez transformátoru	51
5.4	BATERIOVÉ TECHNOLOGIE	51
5.4.1	Konstrukce a princip olověných akumulátorů	52
5.5	LITHIUM-IONTOVÝ AKUMULÁTOR.....	53
5.6	KABELY, VEDENÍ A PŘIPOJOVACÍ TECHNIKA	55
II	<u>PRAKTICKÁ ČÁST</u>	<u>57</u>
6	POPIS A PARAMETRY BUDOVY	58
6.1	VLASTNOSTI DÍLČÍCH KONSTRUKCÍ OBJEKTU	62
6.2	TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTÍ.....	65
6.3	TEPELNÉ ZISKY MÍSTNOSTÍ	67
7	VÝBĚR ZDROJE ENERGIE	69
7.1	TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ/VODA	69
7.1.1	Geologická struktura	70
7.1.2	Hlubinný vrt	70
7.1.3	Napojení do objektu	71
7.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO SYSTÉM VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ	72
7.3	ROZPOČET SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ POMOCÍ TČ	78
8	FV SYSTÉM PRO OBLAST RD.....	79

8.1	OBECNÉ PODMÍNKY PRO MONTÁŽ A INSTALACI FV SYSTÉMŮ	79
8.2	ORIENTACE A SKLON PANELŮ.....	80
8.3	PŘEKÁŽKY A STÍNĚNÍ PANELŮ	80
8.4	STABILITA A STATIKA FV SYSTÉMU	81
8.5	MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE	81
8.6	EKONOMICKÉ PODMÍNKY PROVOZOVÁNÍ FV SYSTÉMU.....	82
8.7	VYUŽITÍ VYROBENÉ ENERGIE	82
8.7.1	Předpokládaná spotřeba elektrických spotřebičů v objektu	83
8.7.2	Předpokládaná spotřeba tepelného čerpadla	83
9	NÁVRH ŘEŠENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO RD	84
9.1	FV SYSTÉM – JIH.....	84
9.1.1	Stanovení výkonu FV systému	85
9.2	FV SYSTÉM – VÝCHOD/ZÁPAD	87
9.2.1	Stanovení výkonu FV systému	88
9.3	VOLBA OPTIMÁLNÍHO FV SYSTÉMU PRO RD.....	90
9.3.1	Typ panelu.....	90
9.4	ROZVADĚČ RDC-RAC	91
9.5	STRÍDAČ NAPĚTÍ.....	91
9.5.1	Fronius Smart Meter	93
9.6	BATERIOVÝ SYSTÉM	93
9.7	KONSTRUKCE	94
9.8	SCHÉMA ZAPOJENÍ SYSTÉMU	94
10	AKUMULACE ENERGIE A MOŽNOSTI VYUŽITÍ	96
10.1	SIMULACE HFVE SYSTÉMU V PROGRAMU PV*SOL.....	96
10.1.1	Výsledek simulacev programu PV*SOL a využití HFVE	97
11	EKONOMICKO TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ	100
11.1	EKONOMICKÉ PODMÍNKY PROVOZOVÁNÍ FV SYSTÉMU.....	100
	ZÁVĚR	104
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	106
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	109
	SEZNAM OBRÁZKŮ	111
	SEZNAM TABULEK.....	113
	SEZNAM PŘÍLOH.....	114

ÚVOD

Od začátku průmyslové revoluce došlo k zásadní proměně zemědělství, výroby, těžby, energetiky a dopravy. Tato změna měla za následek neuvěřitelně velký nárůst ekologicky zatěžujících látek, které pomalu, ale zásadně mění životní prostředí kolem nás. Za posledních několik desítek let se lidstvo dostalo do stavu, kdy se musí začít zajímat o dopady lidského chování na životní prostředí.

Jeden způsob, jak zpomalit nebo úplně zastavit změnu klimatu, je omezit výrobu elektrické energie z tepelných elektráren a nahradit ji obnovitelnými zdroji, které nezatěžují životní prostředí. Lze například využít energii slunečního záření, které dopadá na Zemi. Tuto energii ve formě fotonů je možno transformovat pomocí fotovoltaických článků na elektrickou energii. Vyrobenou energii z FV generátoru můžeme ihned využít pro chod elektrických zařízení v objektu nebo v případě velkých přebytků můžeme tuto energii transformovat na jinou formu energie a akumulovat ji pro pozdější využití.

Účelem diplomové práce je popsat současný stav fotovoltaických technologií a jejich možnosti využití pro oblast rodinných domů. V současné době se nejvíce využívá vyrobená elektrická energie pro chod domácích spotřebičů a energie, která nedokáže být okamžitě využita, je pouštěna do rozvodné sítě. Tato energie je prodávána distribuční společností, která dodává elektrický proud a vykupuje ji za velmi nízké ceny. Díky nástupu moderních bateriových technologií se otevírá prostor k využití jejich potenciálu pro akumulaci energie, zejména tedy v době vysoké a dlouhé intenzity slunečního svitu, kdy je velký nadbytek vyráběné energie. Tento nadbytek energie lze díky vhodně navrženému bateriovému systému uložit a využít energii pro pozdější potřebu při nedostatku slunečního svitu.

Získané poznatky jsou základem pro návržení konkrétního řešení hybridního fotovoltaického systému. Pro správné návržení výkonu FV generátoru a kapacity bateriového systému je zapotřebí znát předpokládanou spotřebu elektrických spotřebičů a spotřebu primárního zdroje tepla v novostavbě. Na základě těchto informací lze simulovat chování celého systému a stanovit tak ekonomické podmínky provozování hybridního systému,

Součástí návrhu rodinného domu je systém využívající tepelné čerpadlo. Tento nízkoteplotní systém slouží zejména pro přípravu tepla pro ústřední topení a teplé vody. V letním období je možné tepelné čerpadlo využít pro přípravu studené vody pro chlazení.

Na konci práce je provedeno technicko-ekonomické hodnocení použitých systémů a vypočítány potřebné náklady na pořízení technologie a jejich předpokládaná návratnost.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY

V dnešní době je při stavbě nových budov a při rekonstrukcích kladen důraz na energetickou náročnost objektu jež popisuje dokument, který obsahuje stanovené informace o energetické náročnosti budovy. Jde o nástroj pro prokázání splnění podmínek platné prováděcí legislativy pro novostavby a rekonstrukce. [5]

1.1 Kategorizace budov

1.1.1 Standardní budova

Standardní dům, jehož tepelné ztráty, respektive energetická náročnost vyhovuje dnes platnému hodnocení dle ČSN 730540-2, tedy energetická náročnost budovy jsou v rozpětí 98-142 kWh/m² za rok. Tento dům je možné postavit, nicméně spadá do nejnižší kategorie energetického štítku kategorie C. [6]

1.1.2 Energeticky úsporná budova

Energeticky úsporný dům je budova, která vykazuje nižší spotřebu tepla než standardní dům a spadá do kategorie B, respektive A dle energetického štítku budovy.

1.1.3 Nízkoenergetická budova

Jedná se o stavby, které mají roční spotřebu energie na vytápění od 50 kWh/m². Důležitý je kvalitní návrh a přesné dodržení technologických postupů při stavbě – nutná je například absence tepelných mostů. Tento dům spadá do kategorie A. [7]

1.1.4 Energeticky pasivní budova

Pasivní dům umožňuje ušetřit až 90 % nákladů na vytápění při zachování vysokého standardu bydlení. Zároveň finanční náročnost výstavby pasivního domu není příliš odlišná od běžné novostavby, proto by náklady neměly hrát velkou roli při rozhodování investora. Aby dům mohl být považován za pasivní, nesmí být jeho měrná spotřeba tepla na vytápění vyšší než 15kWh/m². [7]

1.1.5 Energeticky nulová budova

Nulový dům nebo také dům s nulovou spotřebou energie je označení pro stavby, které mají spotřebu pro vytápění blízkou nule, maximálně však 5kWh/m².a. Nulový dům nedisponuje

žádným systémem aktivního vytápění, veškerou potřebnou tepelnou energii získává ze sluneční energie a energetickými zisky od obyvatel domu a elektrických přístrojů v domě, které vždy produkuje určité množství ztrátového tepla. Dosáhnutí takových hodnot je podmíněno kombinací několika faktorů, zejména vhodnou klimatickou polohou stavby, orientací stavby vzhledem ke světovým stranám a technologií konstrukce. [6][7]

1.1.6 Budova s energetickým přebytkem

Jako dům s energetickým přebytkem můžeme označit stavbu, která nejenže vyprodukuje dostatečné množství energie pro svůj vlastní provoz, ale navíc je schopna produkovat nadbytečnou energii, kterou poté dodává např. do rozvodné sítě. V ČR je odběr přebytečné energie ošetřen zákonem, v němž je zakotvena povinnost energetických koncernů, po splnění daných podmínek, odebírat tuto energii od výrobců (vlastníků domů) a hradit jim cenu stanovenou zákonem. [6][7]

2 STAVEBNÍ FYZIKA

2.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla neboli U-hodnota vyjadřuje celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. U-hodnota vyjadřuje kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K . Je určena vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T} [m^2 \cdot K/W] \quad (1)$$

Kde

- U – součinitel prostupu tepla
- R_T – úhrnný odpor konstrukce

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} [m^2 \cdot K/W] \quad (2)$$

Kde

- R_{si} – odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
- R – odpor konstrukce
- R_{se} – odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si} vyjadřuje tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce. [8]

$$R_{si} = \frac{1}{h_i} \quad (3)$$

Kde

- h_i – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

$$R_{se} = \frac{1}{h_e} \quad (4)$$

Kde

- h_e – součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce

Tabulka 1 - Tepelné odpory při přestupu tepla dle ČSN 73 0540-3

Povrch	Účel výpočtu	Konstrukce/povrch	R_{se} a R_{si} [$m^2 \cdot K/W$]
Vnější	Součinitel prostupu tepla povrchové teploty	jednoplášťový	0,04
		dvouplášťový	Stejně jako R_{si}
zemina		styk se zeminou	0
Vnitřní	Součinitel prostupu tepla, tepelné toky	stěna	0,13
		střecha	0,10
		podlaha	0,17

Tepelný odpor konstrukce R vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu 1 W, čili k přenosu energie o velikosti 1 J za 1 s. Tepelný odpor konstrukce je roven součtu tepelných odporů jednotlivých vrstev, ze kterých je konstrukce složena.

$$R = \sum R_j [m^2 \cdot K/W] \quad (5)$$

Kde

- R – odpor konstrukce při prostupu tepla
- R_j – tepelný odpor j -té konstrukce

R_j vyjadřuje tepelně izolační vlastnosti vrstvy materiálu stavební konstrukce o dané tloušťce.

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad (6)$$

Kde

- d_j – tloušťka j -té vrstvy konstrukce [m]
- λ_j – součinitel tepelné vodivosti j -té vrstvy konstrukce [W/m.K]

Požadavky na součinitel prostupu tepla uvádí norma ČSN 73 0540-2. Pro každou vypočítanou stavební konstrukci musí platit $U \leq U_N$. U_N je normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla. Hodnoty se udávají v W/m²K. Způsob stanovení hodnoty U_N závisí na relativní vlhkosti vnitřního vzduchu a na převažující návrhové teplotě vnitřního prostředí. Pokud je v objektu více zón s různými návrhovými teplotami, stanovují se požadavky pro každou zónu samostatně. [8]

Tabulka 2 - Požadované a doporučené hodnoty U-hodnoty [8]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
Stěna vnější	0,3	Těžká 0,25	0,18 až 0,12
		Lehká 0,20	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,15 až 0,10

Průměrný součinitel prostupu tepla

Průměrný součinitel prostupu tepla vyjadřuje požadavky vlivu stavebního řešení na spotřebu vytápěcí energie. Tyto požadavky uvádí norma ČSN 73 0540-2. Hodnocená budova musí mít takový součinitel prostupu tepla, aby splňovala podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad (7)$$

Kde

- U_{em} – průměrný součinitel prostupu tepla
- $U_{em,N}$ – požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla [18]

Hodnota $U_{em,N}$ se pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou od 18 do 22°C určuje:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{\sum U_j \cdot A_j \cdot b_j}{\sum A} + \Delta U_{tb} \quad (8)$$

Kde

- H_T – měrná ztráta prostupem tepla
- U_j – součinitel prostupu tepla j-té konstrukce, včetně vlivu tepelných mostů
- B_j – činitel teplotní redukce
- ΔU_{tb} – průměrný vliv tepelných vazeb

Hodnota $U_{em,N}$ nesmí u nových budov překročit limit:

$$U_{em,R} = 0,5 \quad (9)$$

Pro ostatní budovy nesmí $U_{em,N}$ překročit hodnotu vypočítanou ze vztahu:

$$U_{em,R} = 0,3 + \frac{0,15}{\frac{A}{V}} \quad (10)$$

Kde

- A – celková plocha konstrukcí na obálce budovy
- V – vytápěný objem budovy [18]

2.1.1 Tepelné ztráty objektu

Výpočet tepelných zisků a ztrát začíná určením hodnoty výpočtové venkovní teploty a průměrné roční venkovní teploty. Dále se určuje výpočtová vnitřní teplota, hodnotí se rozměry a tepelné vlastnosti budovy. V další fázi provádíme výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem tepla a větráním. Výpočty se týkají vytápěných prostor. Ze získaných hodnot určíme celkovou návrhovou tepelnou ztrátu budovy. Výsledkem je stanovení celkového tepelného výkonu.

Výpočtová venkovní teplota θ_e se určuje z tabulky, která je dostupná v normě ČSN 73 0540-3 a je udávána bez přírážky na vnitřní stěny.

Průměrná roční venkovní teplota $\theta_{m,e}$ se určuje z tabulky, která je dostupná v příloze normy ČSN 73 0540-3.

Výpočtová vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ ve většině běžných obytných místností je tato teplota stanovena na 20 °C. V koupelnách bývá hodnota 24 °C, v technických prostorách a předsíních či halách 15 °C.

Celková návrhová tepelná ztráta, ve W, se určí ze vztahu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{v,i} [W] \quad (11)$$

Kde

- $\Phi_{T,i}$ je návrhová tepelná ztráta prostupem tepla prostoru.
- $\Phi_{v,i}$ návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru.

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$, ve W, se vypočítá rovnicí:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,jg} + H_{T,ij})(\theta_{init,i} - \theta_e) [W/K] \quad (12)$$

Kde

- $H_{T,i}$ - součinitel tepelné ztráty prostupem pláště budovy.
- $H_{T,iue}$ - součinitel tepelné ztráty prostupem nevytápěným prostorem, ve W/K.
- $H_{T,jg}$ - součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy, ve W/K.
- $H_{T,ij}$ - součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do prostoru vytápěného na jinou teplotu, ve W/K.
- $\theta_{init,i}$ a θ_e - vnitřní a vnější výpočtová teplota, ve °C.

Návrhová tepelná ztráta větráním

Výpočet závisí na návrhové vnitřní a vnější teplotě a větrání. Podle hygienického předpisu musí být do místnosti, kde je jeden člověk, přivedeno minimálně 30 m³ vzduchu za 1 hodinu. Návrhová ztráta větráním $\Phi_{V,i}$, ve W, se určí ze vztahu:

$$\Phi_{v,i} = H_{V,i}(\theta_{init,i} - Q_e) \quad (13)$$

Kde

- $H_{V,i}$ je součinitel tepelné ztráty větráním

$$H_{V,i} = V_i \times \rho \times c_p \quad (14)$$

Kde

- V_i - výměna vzduchu ve vytápěném prostoru
- ρ - hustota vzduchu
- c_p - měrná tepelná kapacita

2.1.2 Tepelné zisky objektu

Hlavními zdroji tepelných zisků z vnějšího prostředí jsou okna, stěny a větrání.

2.1.2.1 Tepelná zátěž okny

Jedná se o prostup tepla konvekcí a radiací. Hodnota solárních tepelných zisků okny je závislá na množství sluneční energie, které dopadá na prosklenou plochu, schopnosti prosklené plochy propouštět energii do interiéru a na velikosti prosklené plochy. [10]

2.1.2.2 Tepelné zisky stěnami

Prostup tepla stěnou je děj, který tvoří radiace a vedení tepla. Stěny lehké s tloušťkou menší než 0,08 m mají malou tepelnou kapacitu. Stěny středně těžké s tloušťkou 0,08 m až 0,45 m mají vyšší tepelnou kapacitu a dochází ke kolísání teplot na vnitřním povrchu. Těžké stěny o tloušťce více než 0,45 m – kolísání teplot lze zanedbat. [10]

2.1.2.3 *Produkce tepla od lidí*

Do této složky tepelného zisku se započítává pouze citelné teplo. To závisí na teplotě vzduchu a činnosti, kterou člověk vykonává. Za výchozí hodnotu považujeme produkci citelného tepla od muže 62 W při mírné práci a okolní teplotě 20 °C. [10]

2.1.2.4 *Produkce tepla od svítidel, Q_{sv}*

Určuje se pro prostory bez oken a místnosti s vysokým požadavkem na intenzitu osvětlení. U svítidel se předpokládá přeměna jejich příkonu v tepelnou energii.

2.1.2.5 *Tepelné zisky z vnějšího prostředí*

Výpočet tepelných zisků ze zasklení pro jednotlivé měsíce je možný dle platné normy ČSN 730542. Průměrný tepelný zisk za měsíc lze stanovit dle vztahu: [10]

$$E_{Zm} = E_{gm} \times A_{ok,p} \times T \times c_m \times c_p \quad (15)$$

Kde

- E_{Zm} – průměrný tepelný zisk zasklení ze slunečního záření za měsíc [kWh.měs⁻¹]
- E_{gm} – globální sluneční záření, [kWh.m⁻².měs⁻¹]
- $A_{ok,p}$ – plocha průsvitné části okna, $A_{op} = A_o - A_n$, [m²],
- A_o – plocha okna [m²]
- A_n – plocha neprůsvitné části okna [m²],
- T – celková propustnost slunečního záření okna, $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3$
- T_1 – propustnost slunečního záření zasklení
- T_2 – znečištění zasklení, uvažuje se $T_2 = 0,9$, není-li známá konkrétní hodnota
- T_3 – činitel stínění okna
- C_m – činitel využití slunečního záření
- C_n – činitel korigující skutečnost, že dopad slunečních paprsků není kolmý, $c_n = 0,9$ [17][–]

3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE PRO RD

3.1 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla (TČ) se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, protože umožňují odnímat teplo z okolního prostředí, toto teplo převést do vyšší teplotní hladiny a následně účelně využít pro vytápění nebo přípravu TV. [11]

Princip fungování obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu:

- **Výparník**
- **Kompresor**
- **Kondenzátor**
- **Expanzní ventil**

Teplo odebrané venkovnímu prostředí se ve výparníku předá kapalnému chladivu (v dnešní době nejvíce používané chladivo R410A) při relativně nízké teplotě. Zahřátím chladiva dojde k jeho vypaření a páry jsou následně stlačeny v kompresoru na vysoký tlak. Stlačené chladivo je přiváděno do kondenzátoru, kde při kondenzaci předává teplo do topné vody za vyšší teploty, než bylo teplo ve výparníku odebráno. V expanzním ventilu se cyklus uzavírá a dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu ve výparníku. [11]

3.1.1 Topný faktor COP

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor (COP – Coefficient of Performance). Toto bezrozměrové číslo vypovídá o účinnosti tepelného čerpadla. Jedná se o teoretický poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je vyšší topný faktor, tím lepší je tepelné čerpadlo, protože je jeho provoz levnější.

Běžně se topný faktor pohybuje v rozmezí od 2,5 až 5. Není ovšem veličinou, která by byla k danému tepelnému čerpadlu jednou provždy přiřazena. Mění se dle podmínek, v nichž tepelné čerpadlo pracuje. [11]

3.1.2 Vzduch/voda

Typ TČ vzduch /voda má mnoho výhod vyplývajících ze snadné instalace a velké univerzality. TČ lze instalovat prakticky na jakoukoli stavbu bez nutnosti zemních prací spojené s typem země/voda nebo voda/voda. Výkon TČ se mění s teplotou venkovního vzduchu, tedy vzrůstá-li teplota venkovního vzduchu, roste výkon TČ a naopak klesá-li teplota, klesá i

výkon TČ. Z tohoto důvodu se doporučují tyto systémy instalovat společně s bivalentním zdrojem energie, který zajistí dostatečný přísun tepelné energie i při nižších či velmi nízkých venkovních teplotách. Doplňkový zdroj tepla společně s TČ vzduch/voda zajišťují tepelnou pohodu. U TČ s frekvenčně řízenými kompresory, si tepelné čerpadlo zachovává svůj výkon i při nízkých venkovních teplotách.

Limitní minimální teplota, při které TČ ještě pracuje je obvykle -20°C . Lze se setkat i s TČ, které dokáží pracovat i při -25°C . V místech s dlouhodobou nízkou venkovní teplotou je nutné mít objekt vybaven bivalentním zdrojem, který pokryje celkovou tepelnou ztrátu objektu.

Tento typ TČ se obvykle skládá ze dvou částí. Venkovní jednotka je umístěna ve venkovním prostoru blízko objektu. Při chodu tepelného čerpadla vzniká určitá úroveň hluku. Tento hluk může rušit jak přímo uživatele vytápěného objektu, tak sousedy. Proto je třeba brát ohled na umístění jednotky na pozemku. Venkovní jednotka je přímo spojena izolovaným potrubím s vnitřní jednotkou, která je umístěna většinou v technické místnosti. [11]

3.1.3 Země/voda

Typ TČ země/voda patří mezi velmi významné systémy. Provoz tohoto čerpadla můžeme považovat za „nejstabilnější“ vůči vlivu venkovních klimatických podmínek. Tento typ země/voda je většinou provozován v bivalentním provozu. TČ je umístěno uvnitř objektu, většinou v technické místnosti. Součástí jednotky TČ bývá často zásobník na TV a doplňkový zdroj energie. Vnitřní jednotka je připojena na primární okruh. Ten může být napojen na zemní kolektor nebo na geotermální vrt.

Podmínky pro tvorbu kolektorů jsou dány především geologickou situací a dále umístěním budovy v zástavbě. U nových domů, které mají dostatečný prostor v okolí objektu, se doporučuje plošný kolektor. Geotermální vrty se upřednostňují v kompaktních horninách, které nevyžadují pažení. Teplo z plošného kolektoru či vrtu je možné odebírat po celý rok, tzn. i v letních měsících, kdy využíváme tepelné čerpadlo hlavně pro ohřev teplé vody. V případě volby geotermálního vrtu je možné využití jeho chladicího výkonu. [11]

3.1.4 Voda/voda

Typ TČ voda/voda dává nejvyšší topný faktor, bohužel lokality vhodné k jeho instalaci jsou málo časté. Tepelná energie se může brát z povrchové vody nebo podzemní vody. Studny jsou tím nejlepším zdrojem tepelné energie za předpokladu vhodné geologické dispozice a

vydatnosti pramene. Podzemní voda má stabilní teplotu kolem 8 až 10°C. U geotermální vody se teploty pohybují i nad 30°C.

K tomuto typu tepelného čerpadla jsou zapotřebí alespoň dvě studny, kdy jedna studna je zdrojová, odkud se odebírá teplo a druhá vsakovací, kde dochází k vyústění ochlazené vody z TČ. Studny by měly být od sebe vzdáleny minimálně 15 m, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování. Další možností využití TČ voda/voda jsou řeky, rybníky a jiné vodní plochy. Nevýhodou těchto systémů je příliš náročná administrativa a především souhlas jejich majitele nebo správce. [11]

3.2 Slunce jako zdroj energie

Slunce je středem naší planetární soustavy, je nejbližší hvězdou a je pro nás nejdůležitější. Je největším zdrojem tepelné a světelné energie na Zemi. Energie putuje z povrchu Slunce tzv. fotosféry k povrchu Země vzdálené 150 miliónů kilometrů. Energie, která zasáhne Zemi je ve značně zmenšené intenzitě. Sluneční energie vzniká díky termonukleární reakci, při které se mění atomy vodíku na hélium [12].

Teplota na povrchu slunce dosahuje přibližně 6000 K, celkový výkon, který Slunce vyzařuje je $3,8 \cdot 10^{23}$ kW. Energie, která putuje od Slunce k Zemi, ztrácí na své intenzitě a množství energie dopadající na Zemi je asi $1,8 \cdot 10^{11}$ kW. Můžeme tedy říci, že k Zemi se dostane pouze jedna dvoumiliardtina záření ze Slunce. Při měření solárního záření mimo zemskou atmosféru, přibližně ve výšce satelitů, se vyskytuje proud energie cca 1367 W/m^2 [12].

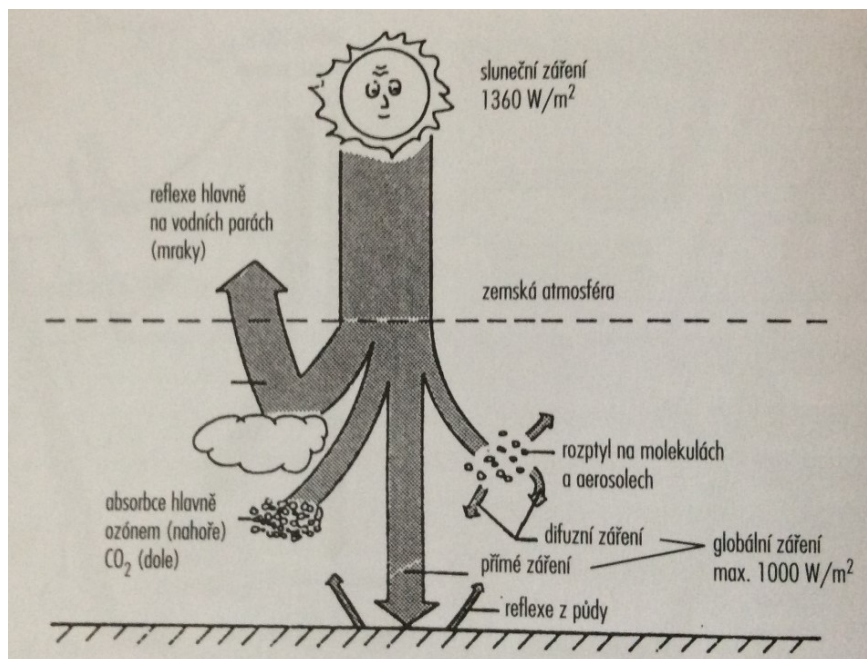
3.2.1 Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření mimo zemskou atmosféru závisí na vzdálenosti mezi Sluncem a Zemí. V průběhu roku se pohybuje mezi 147 a 152 milióny kilometry. Díky tomu kolísá intenzita osvitu E_0 na plochu orientovanou svisle vůči Slunci během roku mezi 1325 W/m^2 a 1420 W/m^2 . Průměrná roční hodnota je označována jako solární konstanta: [7]

$$\text{Solární konstanta } E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$$

Síla sluneční energie dopadající ve formě záření nepřetržitě na zemský povrch klesá díky zemské atmosféře, která sahá do výšky 1 000 km. Atmosféra je složena především z kyslíku

a dusíku. Ve výškách nad 60 km pohlcují atmosférické plyny ultrafialové a rentgenové záření. Níže v atmosféře ve výškách 20–30 km se zachycuje ultrafialové záření. V nejvyšších vrstvách atmosféry dochází k pohlcování a reflexi slunečního záření vodní parou, oxidem uhličitým, prachem a kapkami vody v mracích. Z celkové intenzity se v atmosféře pohltí 19 % záření. [1][12]



Obrázek 1 - Ztráty dopadajícího záření při průchodu atmosférou

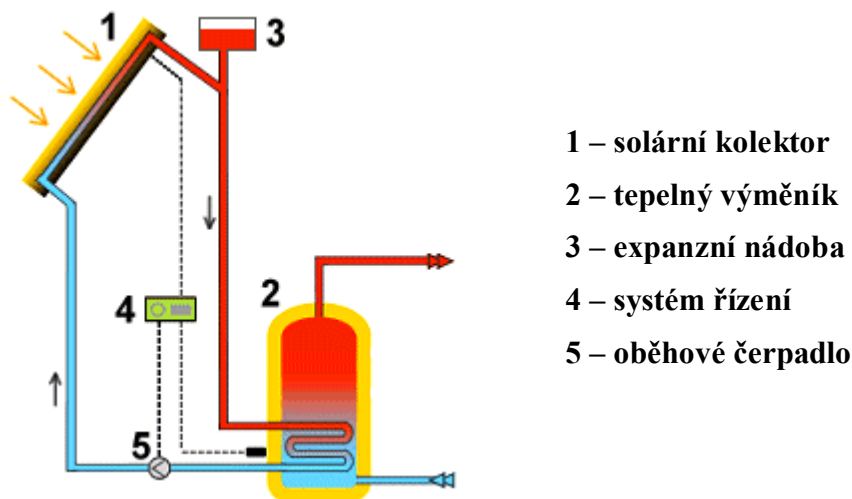
Při jasné, bezmračné obloze dopadá na Zemi přímé záření, které nemění svůj směr. Toto záření lze koncentrovat zrcadly nebo čočkami. Záření, které se v atmosféře rozptýlí, se nazývá difuzní záření. Toto záření přichází ze všech směrů a nelze ho koncentrovat. Poměr difuzního záření je závislý na povětrnostních podmínkách, oblačnosti a množství vodní páry v atmosféře. Souhrn přímého a difuzního záření označujeme jako globální záření. [1][12]

3.3 Fototermický systém

Mezi hlavní zařízení pro aktivní využití sluneční energie patří sluneční kolektor. Je zapotřebí připojit i další prvky do topné soustavy, které dohromady tvoří fototermický systém. Mezi hlavní prvky systému patří sluneční kolektor, tepelný výměník, zásobník, potrubí, expanzní nádoba, regulační prvky a oběhové čerpadlo. [2]

Různými parametry těchto komponentů a jejich kombinacemi lze vytvořit systémy, které slouží pro ohřev bazénu, sezónní vytápění nebo celoroční vytápění. Solární ohřev vody

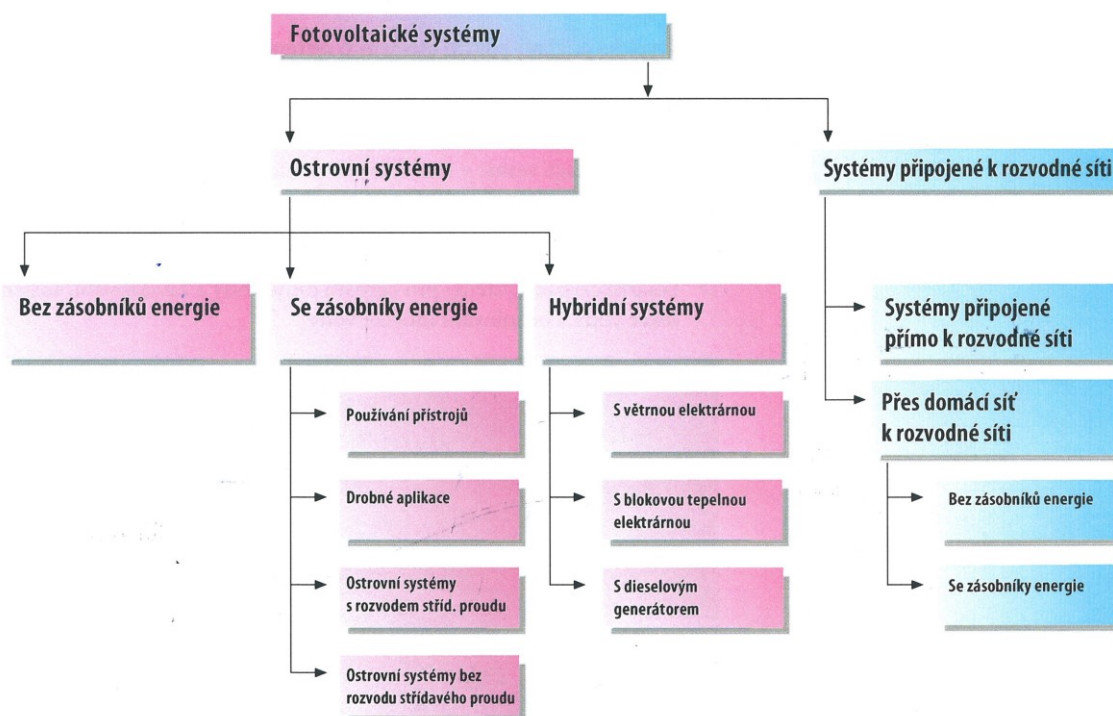
může být kombinovaný s jinými systémy pro ohřev TUV, jako např. ohřev elektrickou energií, plynem. Na obrázku 2 můžeme vidět příklad nejpoužívanějšího dvouokruhového kapalinového solárního systému pro celoroční ohřev TUV. [2][13]



Obrázek 2 - Schéma dvouokruhového kapalinového solárního systému [13]

3.4 Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy lze rozdělit na ostrovní systémy a systémy připojené k rozvodné síti. U ostrovních systémů se postupuje při návrhu tak, aby pokryly celkovou požadovanou spotřebu objektu. Z důvodů nespolehlivého výnosu energie se spotřebou energie připojených spotřebičů dochází k využívání navíc zásobníků energie, které dokáží uložit energii pro pozdější využití. V dnešní době je více než 90 % FV systému připojeno k rozvodné síti. Lze tedy očekávat, že v následujících letech se bude používat stále více ostrovních systémů. Největší rozmach se předpokládá v rozvojových zemích. V těchto oblastech může fotovoltaika sehrát důležitou roli při jejich elektrifikaci. Díky malým systémům lze provozovat méně energeticky náročné spotřebiče jako osvětlení, televizi, chladničku nebo tepelné čerpadlo. Na obrázku 3 lze pozorovat základní rozdělení fotovoltaických systémů. [2][7]



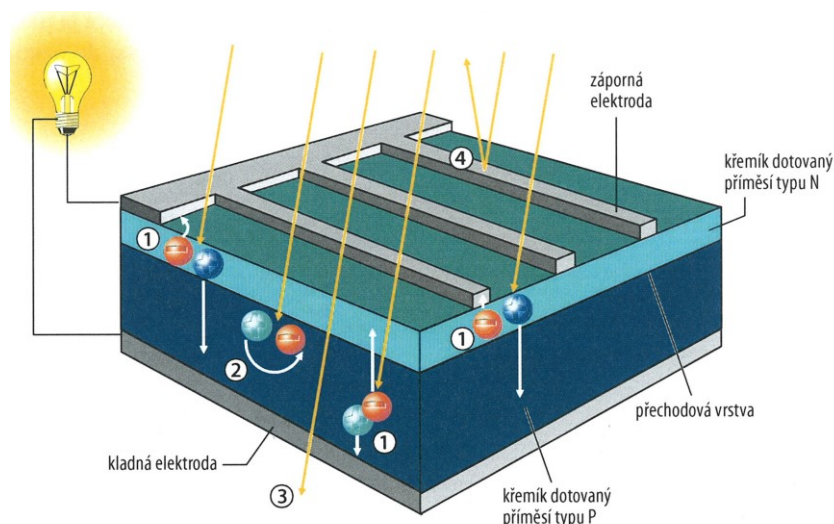
Obrázek 3 - Základní rozdělení fotovoltaických systému [7]

3.5 Fotovoltaický jev a princip FV článku

Fotovoltaický jev se rozumí přímá přeměna světla na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků. Pro výrobu fotovoltaických článků se používají polovodičové materiály jako je křemík, arsenid galia, diselenid mědi a india. Nejvíce je rozšířený krystalický křemíkový fotovoltaický článek.

Pro výrobu FV článku je potřeba velmi čistý křemík s vysokou krystalickou kvalitou. Atomy křemíku tvoří velmi stabilní krystalovou mřížku. Každý atom křemíku má čtyři vazební elektrony ve svém vnějším elektronovém obalu. Aby mohl křemíkový materiál fungovat jako zdroj energie, zabudovávají se do krystalové mřížky nečistoty, takzvané dotované atomy. Tyto atomy mají ve svém vnějším elektronovém obalu o jeden elektron více nebo o jeden elektron méně než křemík. Dotované atomy proto způsobují v krystalové mřížce příměsi. Pro dotování fosforem (polovodič typu N) je pro každý zabudovaný atom fosforu k dispozici jeden přebytečný elektron. Tento elektron se může v krystalové mřížce volně pohybovat a přenášet tak elektrický náboj. Při dotování bórem (polovodič typu P) je pro každý zabudovaný atom bóru k dispozici jedna díra. Elektrony sousedních atomů křemíku mohou tuto díru vyplnit, čímž na jiném místě vznikne díra. Volné náboje však nemají žádný

daný směr svého pohybu, posuzujeme-li samotný dotovaný materiál typu N nebo P. Spojením polovodičových vrstev N a P, vzniká přechod PN. Má za následek, že přebytečné elektrony difundují z polovodiče N do polovodiče P. Vzniká oblast s malým množstvím volných nosičů náboje, která se nazývá oblast prostorového náboje. V oblasti N přechodu zůstávají kladné, v oblasti P záporné dotované atomy. Vzniká elektrické pole, které je nasměrováno proti pohybu nosičů náboje, takže difuze nemůže pokračovat do nekonečna. [2][7]



Obrázek 4 - Způsob fungování krystalického FV článku [7]

Když se polovodič PN vystaví světlu, elektrony absorbují fotony. Tímto přísunem energie se rozbijí elektronové vazby. Uvolněné elektrony jsou elektrickým polem přitahovány do oblasti N. Vzniklé díry pak putují do oblasti P. Celý tento proces se nazývá fotovoltaický jev. Difúze nosičů náboje až do elektrických kontaktů způsobí, že je na FV článku přítomno napětí.

3.5.1 Elektrické vlastnosti FV článků

FV článek vyrobený z křemíkového materiálu dotovaného příměsí typu P a N je v principu velkoplošná křemíková dioda. Obojí má podobné elektrické vlastnosti. Na obrázku 5 je znázorněno zjednodušené náhradní schéma zapojení fotovoltaického článku. Pokud je k anodě dotovaného příměsí typu P připojen kladný potenciál a ke katodě dotované příměsí typu N záporný potenciál, je dioda zapojena v propustném směru. Platí tedy charakteristická křivka v I. kvadrantu. Od dosažení propustného nebo prahového napětí 0,5 V dochází k průtoku proudu. Pokud je dioda zapojena v závěrném směru, zamezí se průtok proudu tímto směrem.

Platí charakteristika ve III. kvadrantu. Dioda povede proud až při dosažení vysokého průrazného napětí 12-50 V. Tato hodnota je dána podle kvality a materiálu článku.

$$U = U_D [V] \quad (16)$$

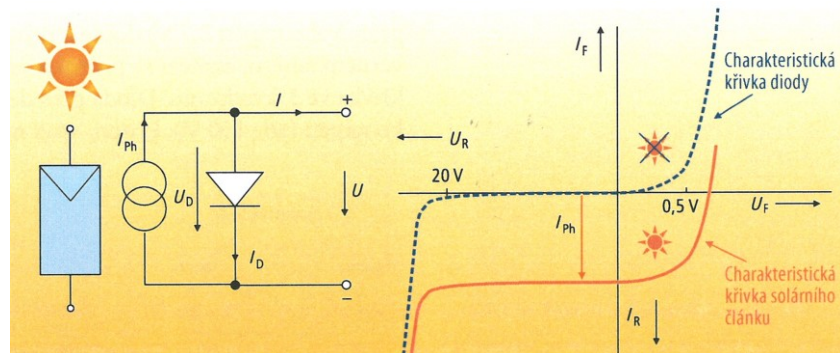
Kde

- U – Napětí na svorkách solárního článku
- U_D – Napětí na diodách

$$I = -I_D = -I_0 \times \left(e^{\frac{U}{m \times U_T}} - 1 \right) [A] \quad (17)$$

Kde

- I – Proud mezi svorkami solárního článku
- I_D – Diodový proud
- U – Napětí na svorkách solárního článku
- m – Diodový faktor
- U_T – Teplotní napětí



Obrázek 5 - Náhradní schéma zapojení a charakteristická křivka [7]

Když dopadá světlo na fotovoltaický článek, energie fotonů vytváří volné nosiče náboje. Osvícený FV článek představuje paralelní zapojení proudového zdroje a diody. Proudový zdroj produkuje fotoelektrický proud I_{PH} . Velikost tohoto proudu je závislá na intenzitě osvětlení. Charakteristika diody se posune o velikost fotoelektrického proudu do IV. kvadrantu grafu.

$$U = U_D [V] \quad (18)$$

$$I_{PH} = c_0 \times E [A] \quad (19)$$

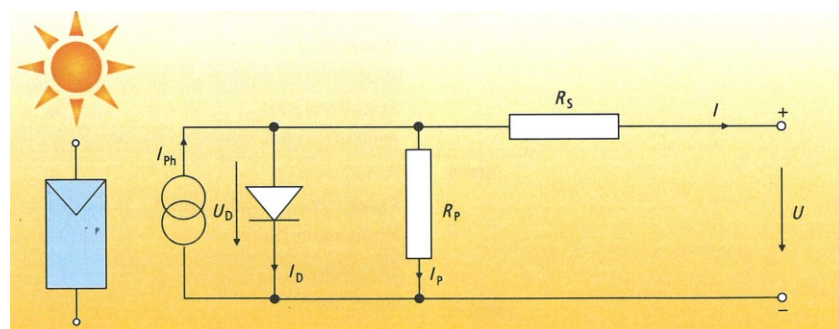
Kde

- I_{PH} – Fotoelektrický proud
- C_0 – Koeficient fotoelektrického proudu
- E – Intenzita osvětlení článku

$$I = I_{PH} - I_D [A] \quad (20)$$

Kde

- I – Proud mezi svorkami solárního článku
- I_{PH} – Fotoelektrický proud
- I_D – Diodový proud



Obrázek 6 - Rozšířené schéma zapojení FV článku [7]

Obrázek 6 znázorňuje rozšířené schéma zapojení jedno diodového FV článku a používá se jako standardní model ve fotovoltaice. V článku dochází při putování nosičů náboje z polovodiče k elektrickým kontaktům k úbytku napětí. Ten je vyjádřen sériovým odporem R_S o

velikosti několika miliohmů. Kromě toho vznikají svodové proudy, které jsou vyjádřeny paralelním odporem $R_p \gg 10 \Omega$. Oba tyto odpory způsobují zploštění charakteristické křivky FV článku. Pomocí sériového odporu lze zjistit V-A charakteristiku FV článku při různých intenzitách osvětlení a teplotách podle normy EN 60891. [7]

$$I = I_{PH} - I_D - I_P [A] \quad (21)$$

$$I_P = \frac{U_D}{R_p} = \frac{(U + R_s \times I)}{R_p} [A] \quad (22)$$

Kde

- I – Proud mezi svorkami solárního článku
- I_{PH} – Fotoelektrický proud
- I_D – Diodový proud
- I_P – Proud přes paralelní proud
- U_D – Napětí na diodách
- R_p – Paralelní odpor
- R_s – Sériový odpor
-

3.5.1.1 Charakteristické veličiny a křivky FV článků

V odborné literatuře se často uvádí pouze část V-A charakteristiky, při které článek vyrábí proud. Dopadá-li světlo na FV článek, vytváří se napětí cca 0,6 V. To lze měřit jako napětí na prázdnou na obou kontaktech. Když se oba kontakty zkratují přes ampérmetr, lze zjistit zkratový proud.

Tabulka 3 - Nejdůležitější charakteristické veličiny FV článků [7]

Charakteristická veličina	Značka veličiny	Jednotka	Specifikace
MPP výkon	P_{MPP}	W_p	Maximální výkon, jmenovitý výkon
Účinnost	η	%	Poměr výkonu odevzdaného článkem k intenzitě oslunění
Faktor plnění	FF		Měřítka kvality solárních článků (0,5 a 0,85)
MPP napětí	U_{MPP}	V	FV napětí v bodě MPP
Napětí naprázdno	$U_L (U_{OC})$	V	Napětí, které dodává solární článek, když nejsou oba přípoje připojeny ke spotřebiči
MPP proud	I_{MPP}	A	FV proud v bodě MPP
Zkratový proud	$I_K (I_{SC})$	A	Proud, který dodává článek, když jsou oba přípoje připojeny přímo

3.5.1.2 Účinnost FV článků

Účinnost η FV článků vyplývá z poměru výkonu odevzdaného FV článkem a sluncem vyzařovaného výkonu. Vypočítává se ze vztahu:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{A \times E} = \frac{FF \times U_L \times I_K}{A \times E} [\%] \quad (23)$$

Kde

- η - Účinnost FV článku
- P_{MPP} – Jmenovitý výkon FV článku
- A – Plocha
- E – Intenzita slunečního osvětlení
- FF – Faktor plnění
- U_L – napětí naprázdno
- I_K – Zkratový proud

Na datových listech se udává účinnost za standardních podmínek STC.

$$\eta_n = \eta_{STC}$$

$$\eta_n = \frac{P_{MPP(STC)}}{A \times 1000} \quad (24)$$

Účinnost FV článku závisí na oslunění a teplotě. Účinnost za podmínek STC při odlišném oslunění

$$\eta = \eta_n - \Delta\eta \quad (25)$$

Při polovičním ozáření je účinnost FV článku za podmínek STC 15,4 % a tedy o 0,4 % menší účinnost než při STC. Při polovičním oslunění se účinnost vypočítá ze vztahu:

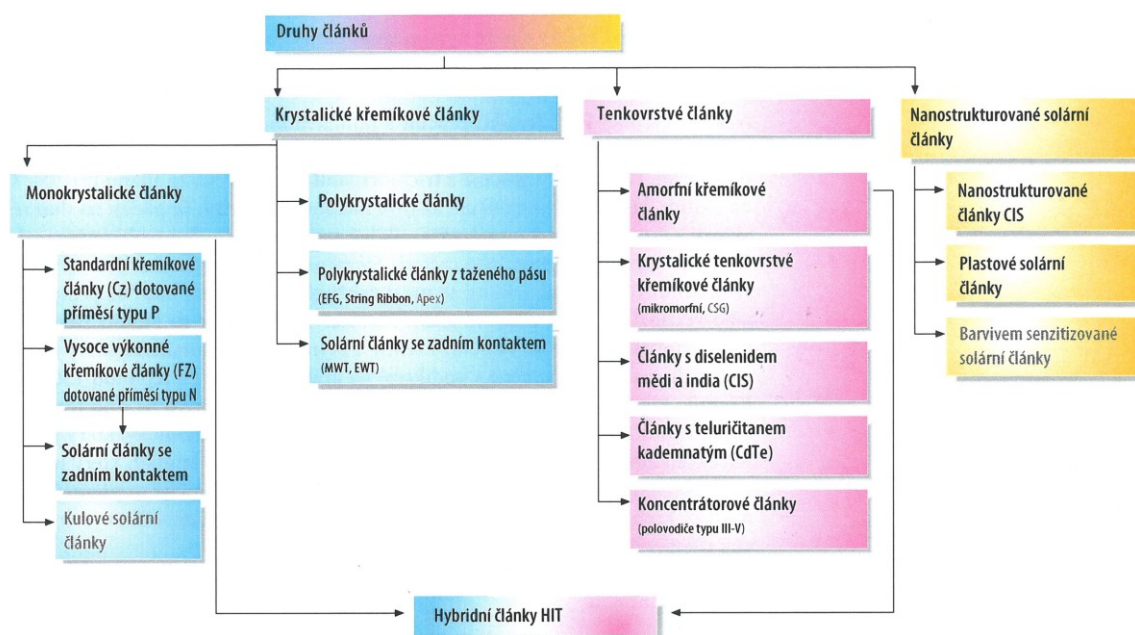
$$\Delta\eta \approx -0,04 \times \eta_n \times I_n \quad (26)$$

Účinnost FV článků klesá se stoupající teplotou. Krystalické články proto dosahují nejvyšší účinnosti při nízkých teplotách. Teplotní koeficient závisí na materiálu. Výpočet změny účinnosti při konstantním oslunění:

$$\Delta\eta \approx -0,045 \times \eta_n \times (25^\circ\text{C} - \vartheta) \times \eta_n \quad (27)$$

3.6 Druhy FV článků

Technologie FV článků se dá rozdělit do tří skupin. Krystalické křemíkové články, které jsou jako plátky o tloušťce cca 200 μm navzájem spájenými do modulu. Dále tenkovrstvé články, u nichž jsou několik μm silné vrstvy článku většinou zachyceny na čelním skle modulu a články s nanostrukturou, které jsou právě uváděny na trh, u nichž jsou tvořeny kompletní FV články s nanometrovou velikostí a ty jsou pak propojeny do modulů. V dnešní době dominují krystalické křemíkové články s podílem více než 90 %. V dalších letech lze očekávat silný nárůst podílu tenkovrstvých technologií. [7]



Obrázek 7 - Druhy článků [7]

3.6.1 Krystalické křemíkové články

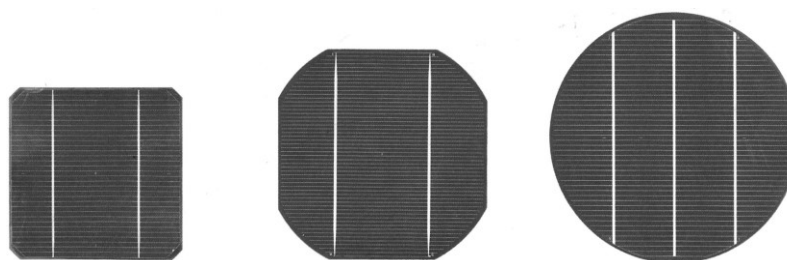
Krystalické FV články se vyrábí z křemíku. Jedná se o druhý nejčastější prvek na Zemi a tedy dostupný téměř neomezeně. Je nutné získat křemík v čisté formě, ten se ovšem na Zemi nevyskytuje. Proto se musí nejdříve odloučit nežádoucí kyslík z oxidu křemičitého. K tomu se křemenný písek zahřívá společně s uhelným prachem, koksem a dřevěným uhlím v oboukované peci na 1800 až 1900°C. Přitom vzniká oxid uhelnatý a takzvaný metalurgický křemík s čistotou 98 %. Takle čistota křemíku je nedostatečná pro použití v elektronice. Surový křemík se proto ještě dál čistí chemickými procesy. Pomocí Siemensovy metody se získává nejčistší křemík. Ten se označuje podle stupně čistoty např. 8 až 11 N. Jednotka N označuje počet devítek, je-li uváděna v procentech. Jde o stupeň čistoty min. 99,99999 %. Tyče o velikostech 10 až 15 cm se nalámou na zlomky a slouží jako výchozí materiál pro monokrystalické nebo multikrystalické křemíkové plátky s ještě vyšším stupněm čistoty, které se dále zpracovávají na FV články. [7]

3.6.1.1 Monokrystalické křemíkové články

Pro výrobu monokrystalických článků se používá Czochralského metoda. V této metodě se polykrystalický materiál roztaví v křemenném kelímku při teplotě 1420°C. Křemík se při této technologii formuje na válcovitý monokrystal nejčastěji s průměrem až 30 cm a délkou

několika metrů. Kulaté pseudokrytaly se ořezávají na pseudočtvercové nebo čtvercové tyče a pak se drátovými pilami řezou na plátky tzv. wafery o tloušťce přibližně 0,2 mm. Dále se plátky chemicky upraví, zbaví se nečistot, které vznikly při řezání a při vysokých teplotách se přidávají dotované příměsi typu N a P. Horní strana článku se předotuje a vzniká srdce solárního článku, přechod PN. Po nanesení antireflexní vrstvy se sítotiskem natisknou sběrné kontakty pro odběr proudu na přední straně. Nakonec se solární článek na hranách vyleptá, aby se P a N vrstva od sebe čistě oddělily a zabránilo se bočnímu zkratu. Napětí takových článků je kolem 0,6 V

Účinnost FV článku vyrobených Czochralskou metodou se pohybuje okolo 15-19,3 %. Rozměry článků se pohybují od 10x10 cm (4 palce), 12,5x12,5 nebo 15x15 cm. Tloušťka se pohybuje od 0,14 až 0,3 mm. FV články tvoří homogenní strukturu. Vyznačují se typickou tmavě modrou až černou barvou. [7]



Obrázek 8 - Čtvercový, pseudočtvercový a kulatý monokrystalický článek [7]

3.6.1.2 Multikrystalické křemíkové články

Polykřemík, jako výchozí materiál se roztaví v křemenném kelímku. Uvnitř se dotuje bórem a odlije se do kvádrové formy. Kontrolovaným zahříváním a ochlazováním vychladne litý blok rovnoměrně v jednom směru. Při tomto řízeném tuhnutí se vytvoří mnoho velkých a homogenních křemíkových krystalů o velikosti zrna několik milimetrů až centimetrů. Při blokovém lití vznikají velké křemíkové bloky, takzvané ingoty. Ty se řezou pásovými pilami na tyče a pak drátovými pilami na pásy o tloušťce cca 0,2 mm. Po očištění se nanáší antireflexní vrstva. Na závěr se natisknou kontakty a oleptají hrany.

Účinnost těchto typů FV článků se pohybuje od 13-17,1 %. Články se tvoří do čtvercové velikosti 10x10 cm, 12,5x12,5, 15x15 cm, 15,6x15,6 cm a 21x21 cm. Tloušťka se pohybuje v rozmezí od 0,16 cm až 0,24 cm. Díky blokovému lití se tvoří krystaly s různou orientací a

díky odrazu světla se dají jednotlivé krystaly na povrchu dobře poznat. Vyznačují se typickou modrou a stříbřitě šedou. [7]

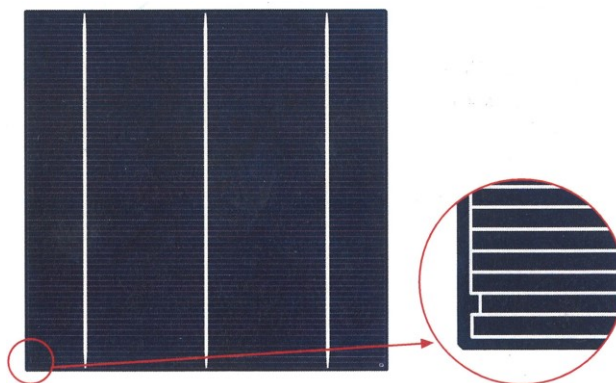


Obrázek 9 - Polykrystalický plátek s/bez antireflexní vrstvy [7]

3.6.1.3 Polykrystalické křemíkové články

Od roku 2008 nabízí stále více výrobců FV články z polykrystalického křemíku. Tyto solární články jsou vyrobeny z přímo čištěného metalického křemíku. Tím se vyloučí energeticky náročná metoda Siemens i vysokopeční proces. Stupeň čistoty je cca 5N. Účinnost je pouze o trochu menší než u multikrystalických článků. Je také nižší průrazné napětí, které zvyšuje riziko vzniku hotspotů, pokud nejsou přijata vhodná opatření. Je nutné počítat s nižším průrazným napětím cca 7 V a použít více přemostňovacích diod. Kromě nižších výrobních nákladů spočívají výhody polykrystalických článků zejména v tom, že spotřeba energie při výrobě křemíku klesá o 90 % a tak je energetická návratnost snížena o třetinu. [7]

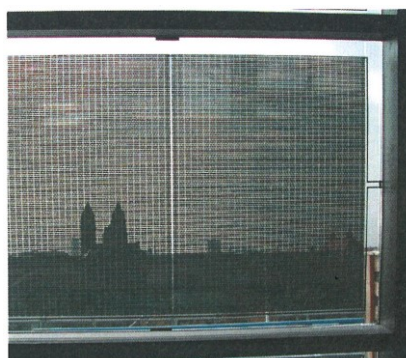
Účinnost těchto typů FV článků se pohybuje od 14-16 %. Články se tvoří do čtvercové velikosti 15x15 cm, 15,6x15,6 cm. Tloušťka se pohybuje v rozmezí od 0,15 cm až 0,21 mm. Díky blokovému lití se tvoří krystaly s různou orientací a díky odrazu světla se dají jednotlivé krystaly na povrchu dobře poznat. Vyznačují se typickou modrou a stříbřitě šedou.



Obrázek 10 - Q-cells článek

3.6.1.4 Tenkovrstvé FV články

Od 90. let se ve zvýšené míře vyvíjí tenkovrstvé metody pro výrobu FV článků. Přitom se nanáší fotoaktivní polovodiče a kontakty jako tenké vrstvy na nosný materiál, který ve většině případů tvoří sklo, většinou pomocí fyzikálního odloučení plynného skupenství nebo chemického odloučení plynného skupenství. Jako polovodičový materiál se zde používá amorfni křemík ASi, diselenid mědi a india SIC. Díky vysoké absorpci světla těchto materiálů jsou tloušťky vrstev menší než 0,001 mm teoreticky dostačující pro přeměnu slunečního záření. Ve srovnání s výrobní teplotou krystalických křemíkových článků jsou zde pro odloučení potřeba teploty pouze 200 až 600 °C. Nízká potřeba materiálu, energie a možnost vysokého stupně automatizace výroby s velkým výkonem nabízí výrazný potenciál úspor oproti technologii s krystalickým křemíkem. Tenkovrstvé FV články nejsou svým tvarem vázány na standardizované velikosti plátků. Lze tak flexibilněji zvolit rozměry modulu. Dalším rozdílem je způsob jejich zapojení. Tenkovrstvé články jsou mezi sebou interně pospojovány už při výrobě. Elektrické oddělení a propojení článků se provádí strukturovanými kroky, při nichž je každá vrstva článku nařezána na jednotlivé pruhovité články. [7]

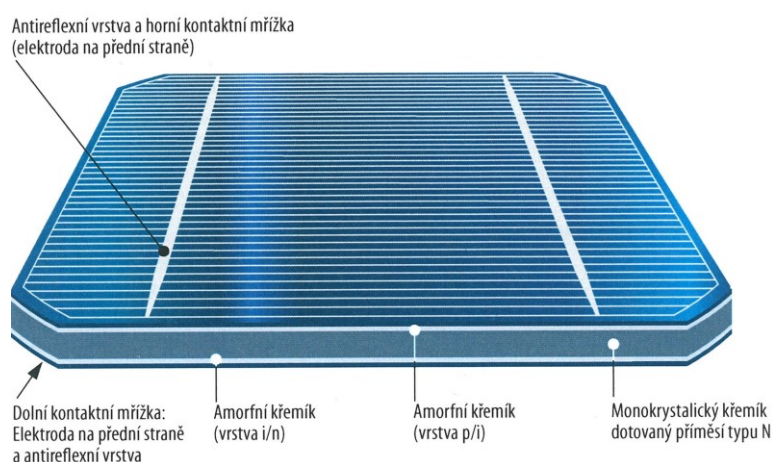


Obrázek 11 - Semitrparentní tenkovrstvé moduly [7]

Ačkoli většina tenkovrstvých článků má ještě malou účinnost, dosahují nejvýkonnější tenkovrstvé moduly účinnosti 18 % a doplňují tak krystalické moduly. I přes menší účinnost může být energetická vydatnost za určitých podmínek dostatečně vysoká. Využití difuzního nebo slabého světla může být u tenkovrstvých článků lepší. Teplotní koeficient je navíc lepší. To znamená, že pokles výkonu je u vyšších provozních teplot nižší než u krystalických technologií. Také jsou tenkovrstvé články díky svému tvaru méně citlivé na zastínění. Čím širší jsou oddělovací řezy mezi články, tím vyšší je transparentnost.

3.6.1.5 Hybridní články – fotovoltaické články HIT

FV článek HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) je kombinací krystalického a tenkovrstvého FV článku. Skládá se z krystalického a amorfního křemíku, který je spojen s další nedotovanou vrstvou. Jádrem článku HIT je monokrystalický článek. Ten je z obou stran lehce potažen amorfním křemíkem. Zatímco v běžných křemíkových FV článcích je stejný polovodičový materiál rozdílně dotován, aby se vytvořil PN přechod, vzniká tento přechod u Hit článků mezi dvěma strukturálně rozdílnými polovodiči.



Obrázek 12 - Struktura vrstev hybridního článku HIT [7]

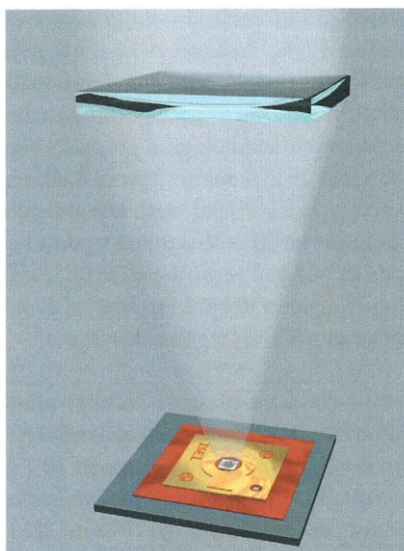
Zhoršení účinnosti způsobené stárnutím indukovaným světlem charakteristické pro amorfni tenkovrstvé články zde nenastává. HIT článek se vyznačuje vyšší energetickou vydatností při vyšších teplotách a využitím širšího spektra. Výkon se zde zhoršuje každým stupněm Celsia. Malá tloušťka článku 0,1 mm zaručuje dobrou pružnost článku. S laboratorním článkem o velikosti 100 cm² bylo dosaženo účinnosti 23 %. Při sériové výrobě bylo dosaženo účinnosti modulu 19 %. [7]

3.6.1.6 Nanostrukturované anorganické a organické FV články

V budoucnu budou stále více přicházet na trh nanostrukturované FV články. Na celém světě se vyvíjí různé nanotechnologie s anorganickými a organickými materiály. V létě roku 2007 byl představen organický FV článek s účinností 6,5 %. Organické články se dají rozdělit na barvívem senzitivované články a plastové články. U nanostrukturovaných FV článků s anorganickými materiály se používají klasické materiály FV článků jako je křemík a CIS. Ve vývoji jsou vysoce efektivní FV články z křemíkových nanotrubiček.

3.6.1.7 Koncentrátorové FV články

U koncentrátorových systémů se používají monokrystalické, většinou několikanásobně navrstvené články z polovodičů typu III-V. V modulech se k optické koncentraci používají především Fresnelovy čočky s faktorem koncentrace 500. Podmínkou je na člancích zajistit dostatečný odvod tepla. Moduly musí být také velmi přesně nasměrovány, protože pouze přímé sluneční záření lze koncentrovat. Tyto systémy se hodí pro regiony s vysokým podílem přímého záření. Přes sebe se vrství více článků (multi junction cells), které jsou optimalizovány pro různé části slunečního spektra. Tyto články jsou však velice drahé, proto se používají cenově výhodnější čočky, které shromažďují sluneční světlo z větší plochy a koncentrují ho na několik čtverečních milimetrů malé články. Rekordní dosažená účinnost je 42,8 % s trojitým článkem GaInP/GaAs, při 20násobné koncentraci. Výrobou FV článků ze čtyř nebo pěti vrstev může být účinnost dále zvýšena. [7]



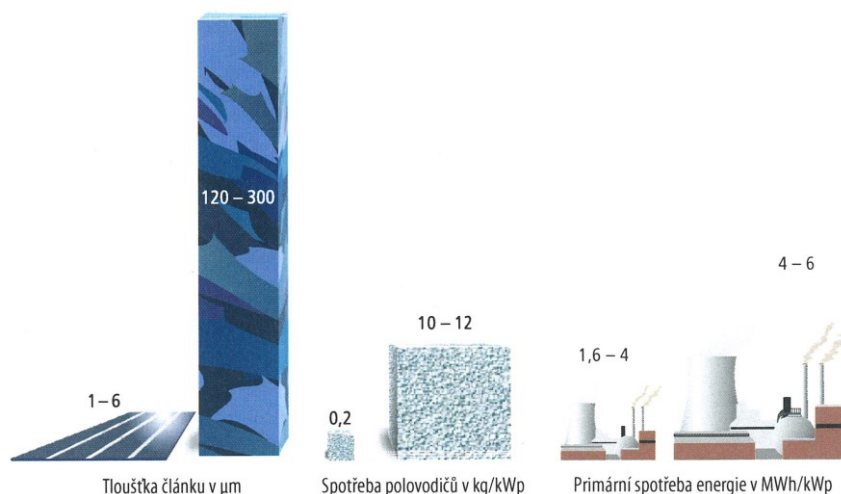
Obrázek 13 - Fresnelova čočka koncentruje světlo na FV článek [7]

Od roku 2008 se koncentrátorové moduly a systémy nabízí víceméně komerčně. Účinnost těchto systémů se pohybuje od 23 do 27 %. Místa instalace musí být bohatá na oslunění, bez mraků, prachu nebo páry.

3.6.1.8 Porovnání druhů FV článků a trendů

Jak již bylo zmíněno, FV články z monokrystalického a polykrystalického křemíku dominují trhu s téměř 90 %. Přitom vede polykrystalický křemík s 57 %. Pomalu se do povědomí

dostávají FV články vyrobené tenkovrstvou technologií. Dále organické články představují zajímavou a cenově výhodnou variantu pro budoucnost.



Obrázek 14 - Srovnání tloušťky, spotřeby a en. nákladů druhů FV článků [7]

Vysoká účinnost FV článků je rozhodujícím kritériem tehdy, když je málo místa a má být na ploše co nejvyšší instalovaný výkon.

Tabulka 4 - Maximální účinnosti výrobních technologií FV článků [7]

Materiál solárního článku	Účinnost článku η_z (laboratoř) [%]	Účinnost článku η_z (výroba) [%]	Účinnost článku η_M (sériová výroba) [%]
Tandemové články (polovodič typu III-V) s koncentrátorem	42,8	36	30
Monokrystalický křemík (Fz)	25	22,4	20,4
Polykrystalický křemík	20,4	17,1	16
Monokrystalický křemík (Cz)	25	19,3	17
Hybridní křemíkový článek (HIT)	23	21,6	19
Tažený křemíkový pás	19,7	15	14,1
CIS	20,3	17,3	14,5
CdTe	16,7	14,4	13,5
Mikrokrystalický křemík	15,2	13	7,6
Nanočlánky CIS	14	12	11
Amorfní křemík	13,2	10,5	7,5
Mikromorfní křemík	13	12,5	11,2
Barvivem senzitivovaný článek	12	7	5
Plastový solární článek	10,7	6	5

4 FV SYSTÉMY

Čím nižší jsou náklady na výrobu solární energie, tím více smyslu má pro provozovatele FV systému vlastní spotřeba proudu vyrobeného ve svém zařízení. V roce 2012 spadla u malých FV systémů cena za 1 kWh pod 20 centů. Tím je provozovatel více nezávislý na budoucím vývoji cen elektrické energie. Čím více dokáže FV systém vyrobit energie v souladu se spotřebou, tím vyšší je podíl vlastní spotřeby. [7]

$$\text{Podíl vlastní spotřeby} = \frac{\text{Vlastní spotřeba solární energie}}{\text{Výroba solární energie}} \quad (28)$$

Pokud se vztáhne vlastní spotřeba solární energie na celkovou spotřebu, vyjde nám solární pokrytí vlastní spotřeby neboli míra soběstačnosti.

$$\text{Podíl solárního pokrytí} = \frac{\text{Vlastní spotřeba solární energie}}{\text{Celková spotřeba}} \quad (29)$$

K přesnějšímu plánování je třeba znát spotřebu a zároveň provozovatele.

4.1 Ostrovní systémy – off-grid

Ostrovní systémy nejsou připojeny na síť. Tyto systémy dokáží zásobovat elektrickou energií stavby, u kterých není vybudovaná elektrická přípojka. Tyto systémy se dále dělí na systémy s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. [3]

4.1.1 Systém s přímým napájením

Systémy s přímým napájením jsou realizovány všude tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom v případě dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče. [3]

Čerpání vody pro závlahu je ukázkou aplikací systému bez akumulace el. energie, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení čerpadla okrasné fontánky nebo napájení ventilátoru odvětrání uzavřených prostor. [7]

4.1.2 Hybridní systémy

V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné systémy s celoročním provozem a s častým užíváním dimenzovat na zimní provoz. Instalovaný výkon fotovoltaických panelů však v takovém případě neúměrně naroste a s tím i investiční náklady. Navíc v letních měsících je potom systém silně předimenzovaný. Mnohem výhodnější je z tohoto hlediska připojit k energetickému systému doplňkový zdroj elektrické energie, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem. Takovým zdrojem může být větrný generátor. [7]

4.2 Síťové systémy – on-grid

On grid systémy připojené k rozvodné síti jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s vysokou hustotou sítí elektrických vedení. Špičkový výkon těchto systémů je v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt. Tyto systémy lze uplatnit na střechách rodinných domů, kde je možné instalovat systém o výkonu až desítky kilowatt peak. Dále pak na fasádách a střechách administrativních a výrobních budov, kde lze instalovat systém o výkonu desítky až stovky kilowatt peak. V roce 2009 vypukl velký trend vybudovat fotovoltaické elektrárny na volné ploše. [7]

4.3 Možnosti ukládání energie z obnovitelných zdrojů

Návrh fotovoltaické elektrárny by měl být proveden nejprve s ohledem na naše spotřeby elektřiny během dne, kdy je dostatek slunečního svitu k výrobě elektřiny, a to jak v pracovní dny, tak také o víkendech. Důležité je také rozložení významných odběrů elektřiny spotřebiči v čase. Pro zajištění maximální energetické soběstačnosti je potřeba navrhnout FVE o výkonu, který bude pokrývat co největší podíl roční spotřeby elektřiny. Při jejím okamžitém nevyužívání lze energii uchovávat na pozdější využití, kdy Slunce nesvítí. To lze provést pomocí akumulace do vody, nebo akumulací do baterií či dalších systémů. Kapacita naakumulované elektrické energie by měla odpovídat našim energetickým potřebám a měla by být efektivně využívána. [3]

4.3.1 Kondenzátory

Jde asi o nejstarší a nejznámější metodu krátkodobého ukládání elektrické energie. Výhodou kondenzátoru je velmi vysoká rychlost vybíjení a velmi vysoký počet cyklů nabití/vybití.

Dosažitelné kapacity a hustoty energie běžných kondenzátorů jsou ale příliš malé pro účely skladování elektřiny řádově jen 0,2Wh/kg. V posledních letech se objevily takzvané superkondenzátory, jejichž hustota energie je v řádu 10Wh/kg. Pro dlouhodobé ukládání většího množství energie se zatím rozhodně použít nedají.

4.3.2 Akumulátory – elektrochemické články

V elektrochemických článcích je energie uchována v chemické sloučenině. Vybíjení a nabíjení je proto výrazně pomalejší ve srovnání s kondenzátory, ale hustoty energie mohou být až o tři řády vyšší. [14]

4.3.2.1 Olověný akumulátor

Zatím stále jde o nejběžnější akumulátor. Jeho nevýhodou je relativně malá hustota energie. Olovo je navíc poměrně drahé a značně jedovaté s výrazně nepříznivými vlivy na životní prostředí. Technologie olověných akumulátorů je popsána v kapitole Konstrukce a princip olověných akumulátorů. [14]

4.3.2.2 Li-ion akumulátor

Na rozdíl od olova je lithium velmi lehký kov a díky jeho velké reaktivitě mají lithiové články relativně vysoké napětí (3,7V). Lithium je na rozdíl od olova poměrně hojně zastoupený prvek a nepředstavuje nějaké významné ohrožení pro životní prostředí. Katodu v lithiových článcích tvoří sloučeniny lithia (LiCoO₂, LiFePO₄ a řada dalších) a anoda je vyrobena z uhlíku (speciální forma grafitu). Elektrolyt tvoří lithiové soli rozpuštěné v organickém rozpouštědle. Články mají poměrně velkou energetickou hustotu (některé i více než 500Wh/kg). Jejich nevýhodou je vysoká cena, nižší životnost (ztráta kapacity s časem) a jsou citlivé na podmínky nabíjení a vybíjení. Ve velkých kapacitách představují i značné riziko požáru a výbuchu. [14]

4.3.2.3 NaS akumulátor

Výhodnější vlastnosti pro energetiku mají akumulátory NaS (sodík – síra). Jejich výhodou je relativně slušná energetická hustota, celkem dobrá účinnost (80 %) a údajně prakticky nepodléhají samovybíjení. Jejich životnost je zhruba 15 let a snesou velký počet cyklů. Sodík a síra jsou dostupné a levné prvky, kterých je na Zemi opravdu hodně a nejsou při správném zacházení toxické pro životní prostředí. Zásadní nevýhodou těchto akumulátorů je

ovšem to, že musí pracovat za vysoké teploty, přibližně 300°C, kdy sodík a síra jsou v kapalném stavu. Kapalný sodík je dost nebezpečná látka. Při styku se vzduchem okamžitě hoří a při styku s vodou dojde k výbuchu vzniklého vodíku. Pro použití ve velkých stacionárních jednotkách (elektrárnách) to ale nepředstavuje tak zásadní omezení.

4.3.3 Přečerpávací vodní elektrárna

Přečerpávací elektrárna je složena ze dvou nádrží v různých výškách, které jsou spojené vysokotlakým potrubím, ve kterém je soustrojí. V době, kdy je potřeba energie, tak je puštěna voda z horní nádrže potrubím přes soustrojí. V soustrojí je turbína, která pohání alternátor a ten následně dodává energii do sítě. Naopak v době, kdy není poptávka po energii a jsou velké přebytky z FV generátorů či jiných obnovitelných zdrojů, tak se voda čerpá čerpadlem z dolní nádrže do horní, kde je opět připravena na puštění dle potřeby. Účinnost dnešních PVE je kolem 70 %. [14]

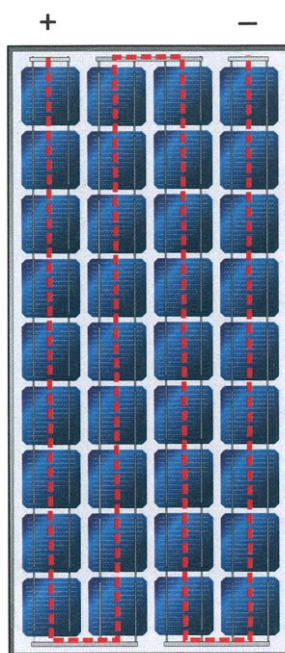
4.3.4 Setrvačnick

Setrvačnick funguje na principu uchování kinetické energie. Kinetickou energii získáme pomocí elektrického příkonu, kterým se roztáčí rotor. V tuto chvíli se chová jako „motor“. Při potřebě energie se motor bleskově přemění na generátor a je vytvářena energie. Moderní setrvačnick jsou vyrobeny z uhlíkových kompozitů, které jsou lehké a rotor dosáhne s těmito kompozity větší rychlost. Pro dosahování velkých rychlostí je důležité samotné uložení rotoru. Rotor je uložen ve vakuu, často v magnetických ložiskách, aby se snížil odpor vzduchu a samotné tření na ložiskách.[15] Setrvačnick se dodávají do průmyslu, kde i několikavteřinový výpadek elektřiny může způsobit škody na řídicích a počítačových systémech ve výrobě. Příkladem můžou být 70 kg vážící setrvačnick DYBAT, které dokážou po dobu 30 s dodávat výkon 70 kW. [14]

5 KOMPONENTY FV SYSTÉMU

5.1 Fotovoltaický modul

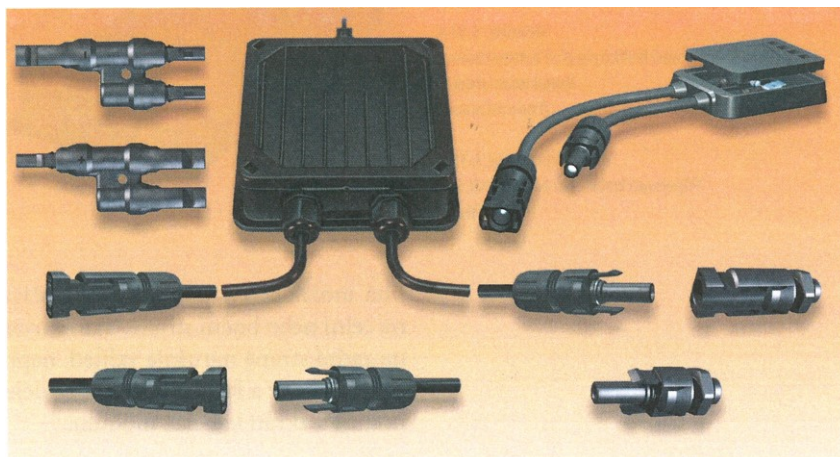
Výroba FV modulů z krystalických článků začíná tím, že se fotovoltaické články kvůli svému nepatrnému napětí zapojí do série. Za tím účelem se připájí kontakty na přední straně jednoho článku s kontakty na zadní straně dalšího článku. Ve standardních modulech se zapojuje do série 36 až 72 článků v řetězci. Propojení v modulu probíhá podélně, takže se většinou 9 až 12 článků spojí ve 4 až 6 řadách. [7]



Obrázek 15 - Propojení článků standartním modulem [7]

5.1.1 Připojovací krabice kabelů a modulů

Pro vyvedení elektrických přípojních vedení slouží připojovací krabice. V té jsou umístěny kontakty pro připojovací kabel modulu a bočnickové diody. Tato krabice musí mít krytí alespoň IP 55 a třídu ochrany II a vyhovovat evropské normě EN 50548. Téměř všechny moduly se již dodávají s přípojným vedením a konektory zabezpečenými vůči přepólování a dotyku. Aby se usnadnila instalace stala se standardem technika „Plug and Play“. Délka připojovacích vedení se pohybuje od 1 až 1,5 m.



Obrázek 16 - Připojovací krabice a konektory chráněné proti dotyku [7]

5.1.2 Tvar a typ článků

Výběr na trhu je velký. Krystalické články se rozlišují podle technologie výroby výrobce, struktury, tvaru, velikosti a barvy. Tenkovrstvé články nejsou vázány na normalizované rozměry plátek, nýbrž jen na velikosti nosného skla.

5.2 Konstrukce FV modulů

Všechny části povrchu budov, které jsou vystavené přímému slunečnímu svitu se hodí pro instalaci FV systémů. Pro tyto účely jsou využívány tyto hlavní řešení montáží:

- 1) Na šikmé střechy
- 2) Na ploché střechy
- 3) Na fasády
- 4) Studená/teplá fasáda
- 5) Pro pozemní instalaci

Konstrukční systémy pro šikmé střechy zpravidla určují jak orientaci modulů, tak i jejich sklon. Před plánováním se musí prověřit vhodnost dané střechy. U montáže na střechu se montují moduly s kovovou konstrukcí nad stávající střešní krytinu. Střešní krytina tak zůstává a zachovává si svou funkci odvodu vody. Všechny konstrukční díly upevnění, elektrických přípojek a kabelů jsou vystaveny povětrnostním vlivům. Aby se zařízení zasadilo co nejlépe, měly by se moduly uspořádat tak, aby vznikla uzavřená plocha generátoru.



Obrázek 17 - Druhy montáže [7]

Kovová konstrukce pro upnutí modulů se skládá ze tří hlavních dílů:

- 1) Střešní upevnění
- 2) Nosné kolejnice
- 3) Upevnění modulu

S pomocí modulu se kolejnicový systém upevňuje skrze střešní krytinu na střešní konstrukci nebo přímo na střešní krytinu. Moduly se fixují s pomocí specifických prvků na nosné kolejnice.

Montážní systémy pro ploché střechy nabízejí velký potenciál nevyužívaných ploch, které se velmi hodí pro instalaci solárních zařízení. Ponechávají určitou svobodu při plánování generátoru. Často je možné zvolit orientaci přesně na jih a optimálně nastavit i úhel sklonu. Na plochých střechách je nezbytné pracovat se zvláštní opatrností z důvodu možnosti poškození střešní krytiny, což může vést k netěsnosti a nepříjemným následným škodám.

Upevnění podstavců na ploché střechy má velký význam. Kvůli velké kontaktní ploše generátorů se musí při upevňování zohledňovat výrazné větrné síly. Výběr upevnění je závislý na statické střeše. Pokud víme, že můžeme střechu dostatečně zatížit, je možné zařízení volně instalovat.

U metody velkého zatížení se ukotvuje podstavec pro ploché střechy jako plovoucí. Poloha se zajišťuje pouze vlastní vahou a dodatečným zatížením. U střech se stávajícím zatížením polohy se využívají možnosti rozdělit zatížení plošně. Pokud může konstrukce přijímat vyšší zátěž, nabízí se betonové desky nebo konzole. Obvyklá plošná hmotnost je 90 až 125 kg/m² u betonových desek.

U určitých střešních krytin může upevnění proběhnout přímo na střešní krytinu. Na vhodné fóliové střechy se tak mohou speciálním postupem nalepit kotvící body. Kotvy jsou dle systému vyrobeny z kovu, plastu nebo také ze dřeva. Existují kompletní systémy, u nichž mohou být na kotvy upevněny plastové vany. Použité plasty by měly splňovat doporučení pro

použití plastů ve stavebnictví. Práci musí provádět školený personál, aby nedocházelo k žádným netěsnostem.

Pokud není těžké zatížení ze statických důvodů možné a nemůže ani dojít ke spojení se střešním pláštěm, musí se generátor pevně ukotvit na nosné části domu. K tomu se montuje podstavec na traverzy, které se upevní buď na horní strop nebo atiku. Kde je střešní izolace proražena, musí se provést pečlivé utěsnění kotvicích bodů, a to s přihlédnutím ke směrnici o plochých střeších. Při plánování by měla být vyvinuta snaha udržovat počet průsečíků co nejnižší. [7]

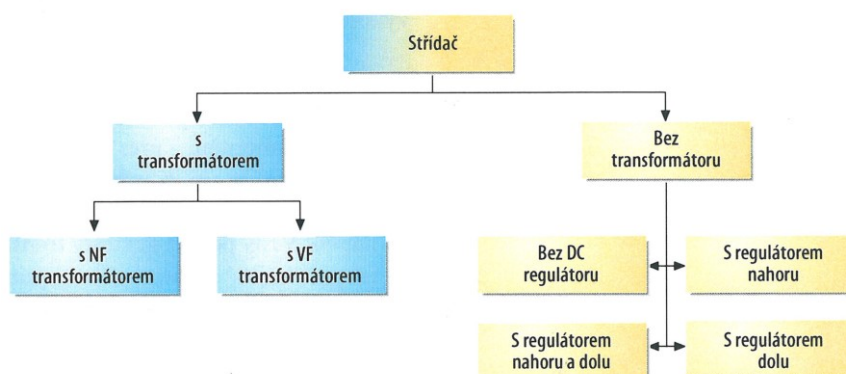
5.3 Střídač

Solární střídač představuje spojovací článek mezi FV generátorem a spotřebiči střídavého proudu. Jeho základní úlohou je přeměna solárního stejnosměrného proudu vyrobeného FV generátorem na střídavý proud. Přitom se musí napájení přizpůsobit na kmitočet a napětí rozvodné sítě. V ostrovních systémech nebo v systémech napojených na rozvodnou síť umožňují střídače provoz spotřebičů využívající střídavého proudu.

U zasíťovaných FV systémů je střídač přímo nebo přes domovní rozvody napojen na veřejnou rozvodnou síť. Napájení vyrobeným proudem probíhá při přímém napojení jen do veřejné sítě. Při navázání přes domácí rozvod se vyrobený proud spotřebuje nejprve v domě a přebytky se v daném případě odevzdají do veřejné sítě. FV zařízení do 5 kWp se většinou rozvádí jednofázově. U větších zařízení jsou trojfázové rozvody a napájení se provádí do sítě třífázového proudu.

Aby se do rozvodné sítě dodal maximální výkon, musí střídač pracovat s maximálním jmenovitým výkonem solárního generátoru. Přizpůsobení na příslušný výkon zajišťuje ve střídači regulátor MPP. Střídač díky proměnlivému výkonu musí často měnit pracovní bod.

Dále střídač zajišťuje sběr provozních dat a signalizaci. Obsahuje AC a DC bezpečnostní zařízení, která zajišťuje ochranu proti přepólování a přetížení, detekci elektrického oblouku. Zajišťuje ochranu sítě a funkce řízení automatické redukce činného výkonu a výrobu jalového výkonu. [7]



Obrázek 18 - Rozdělení FV střídačů [7]

5.3.1 Střídače s NF a VF transformátorem

U sítí řízených střídačů se někdy používají nízkofrekvenční transformátory na 50 Hz, které slouží k přizpůsobení k síti. Díky magnetickému poli transformátoru je stejnoměrný okruh galvanicky oddělen od střídavého. Transformátor rovněž snižuje elektromagnetické ovlivňování. V transformátoru dochází ke ztrátě výkonu. Typický NF transformátor se skládá z následujících hlavních spínacích dílů:

- Spínací regulátor
- Síťový transformátor
- Úplný můstek
- MPPT (Maximum Power Point Tracker)
- Monitorovací logika

VF transformátory s obvyklými kmitočty 10 až 100 Hz se vyznačují, ve srovnání s NF transformátory, nepatrnými ztrátami, malými rozměry a cenou. Avšak náklady na zapojení a stínění jsou vyšší, takže hmotnost, účinnost a nízká cena ve srovnání s NF střídači není takovou výhodou.

Výhody střídačů s transformátorem:

- Možnost malého ochranného napětí $U < 120$ V
- Snižování elektromagnetického ovlivňování
- Není nutná kompenzace napětí FV generátoru

Nevýhody:

- Ztráty v transformátoru

- Vyšší hmotnost
- Vyšší konstrukční velikost

5.3.2 Střídače bez transformátoru

Nejvyššího stupně účinnosti se dosahuje u střídačů bez transformátoru. Ztráty střídače se odpadnutím transformátoru značně zmenší. Kromě toho se také redukuje konstrukční velikost, hmotnost a cena. Napětí FV generátoru musí být zřetelně vyšší než vrcholová hodnota síťového napětí. Kvůli chybějícímu galvanickému oddělení je vazba elektromagnetických rušivých impulsů na FV generátoru usnadněna.

Výhody střídačů bez transformátoru:

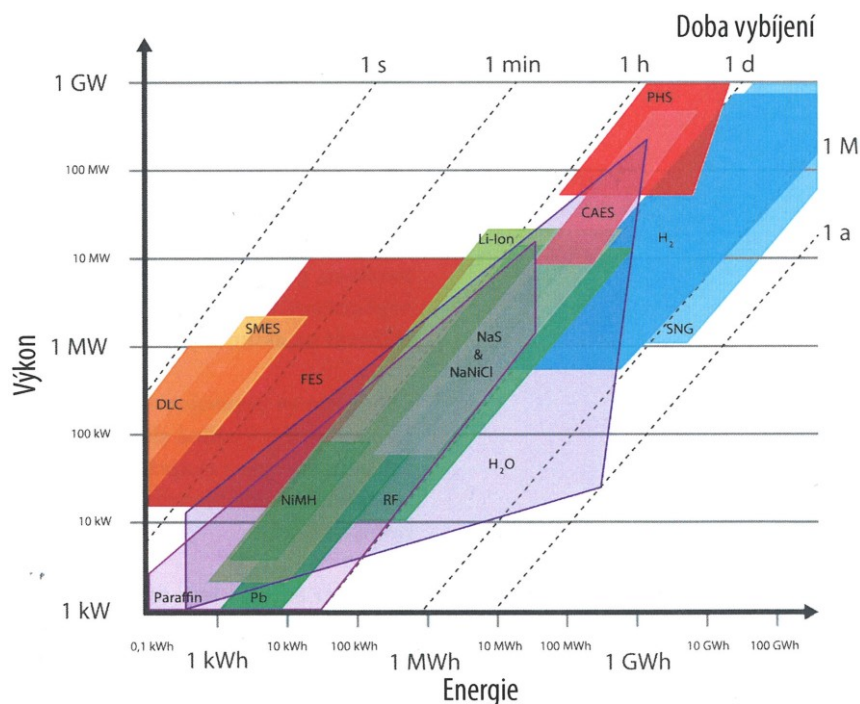
- Vysoký stupeň účinnosti, tím i vyšší výnosy
- Menší hmotnost
- Menší konstrukční velikost

Nevýhody střídačů bez transformátoru:

- Použití dodatečných ochranných zařízení
- Zakrytí dílů pod napětím
- Vyšší elektromagnetické ovlivňování

5.4 Bateriové technologie

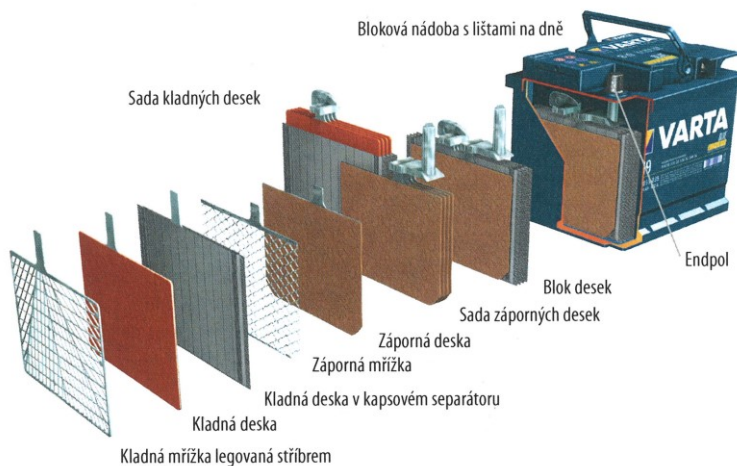
Nabídka sluneční energie silně kolísá v průběhu dne i roku. Pokud spotřeba solárního proudu je vyšší než jeho nabídky, musí se použít akumulátory. Pro stabilní systém zásobování elektrickou energií je třeba využívat a rozlišovat různé formy akumulace.



Obrázek 19 - Přehled technologií ukládání elektrické energie [7]

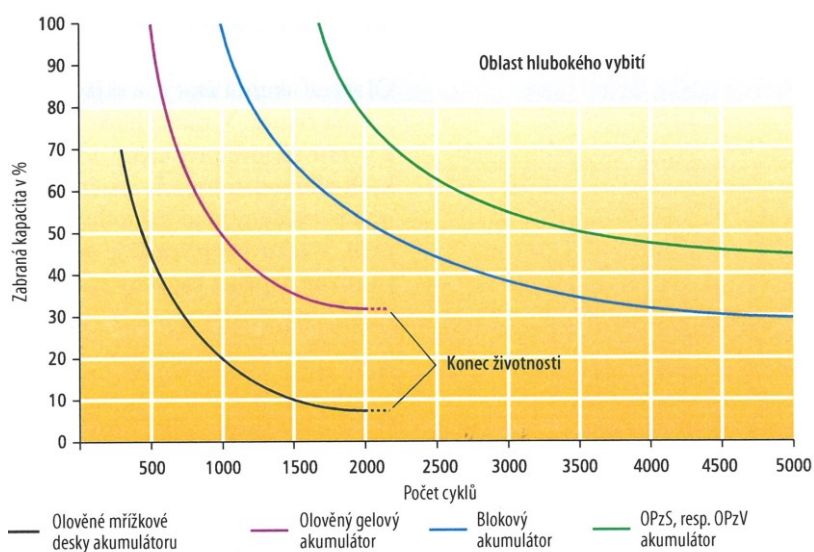
5.4.1 Konstrukce a princip olověných akumulátorů

Olověné akumulátory se skládají z několika dílčích článků o jmenovitém napětí 2 V na článek. V rámci blokové konstrukce jsou uloženy ve společném pouzdru a uvnitř jsou sériově propojeny do bloku. Akumulátorový článek představuje nádobka naplněná kapalným elektrolytem, který tvoří zředěná kyselina sírová, do něhož jsou ponořeny dvě sady desek opačné polarity. Tyto desky slouží jako elektrody a skládají se z nosiče olova ve tvaru mřížky a aktivního materiálu.



Obrázek 20 - Konstrukce olověného akumulátoru [7]

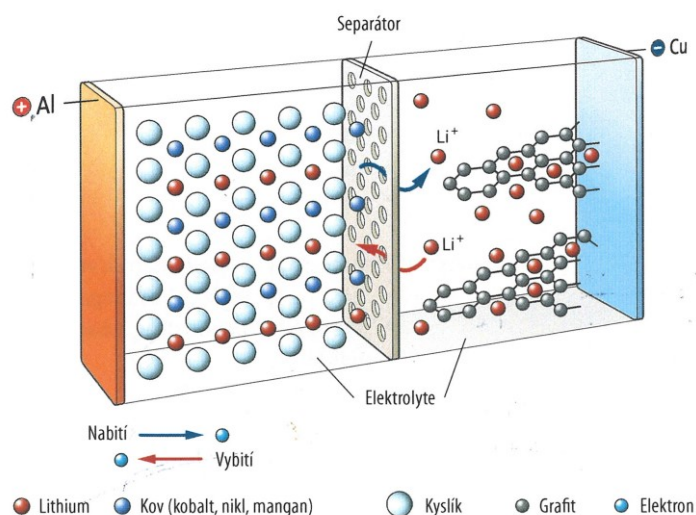
Při odběru proudu protékají spotřebičem elektrony ze záporného pólu ke kladnému a způsobují chemickou reakci mezi deskami a kyselinou sírovou. Při opakovaném nabíjení akumulátoru z FV generátoru, které je vyšší než aktuální napětí akumulátoru, dochází k pohybu elektronů opačným směrem, tedy od kladného k zápornému. Tím nastane vratná chemická reakce a dochází k nabíjení akumulátoru. Proces není plně reversibilní, protože malé množství síranu olovnatého se už zpátky nerozpustí při zpětné chemické reakci. Akumulátor utrpí při každém cyklu vybití/nabití úbytek kapacity. [7]



Obrázek 21 - Degradace olověných akumulátorů podle počtu cyklů [7]

5.5 Lithium-iontový akumulátor

Vůči olověným akumulátorům mají lithiové iontové akumulátory některé přednosti. Jsou atraktivní pro aplikace jako energetické zásobníky ve FV zařízeních díky značně vyšším počtům cyklu vybití/nabití. Dále mají větší energetickou kapacitu při zároveň větší hloubce vybití tzv. „Depth of Discharge“. V dnešní době se zdá, že lithium iontové akumulátory představují všeobecně aplikovatelné zdroje bez potřeby údržby s životností 20 let. Tyto údaje jsou pouze ze zrychlených testů s nikoliv jasně určenými parametry.

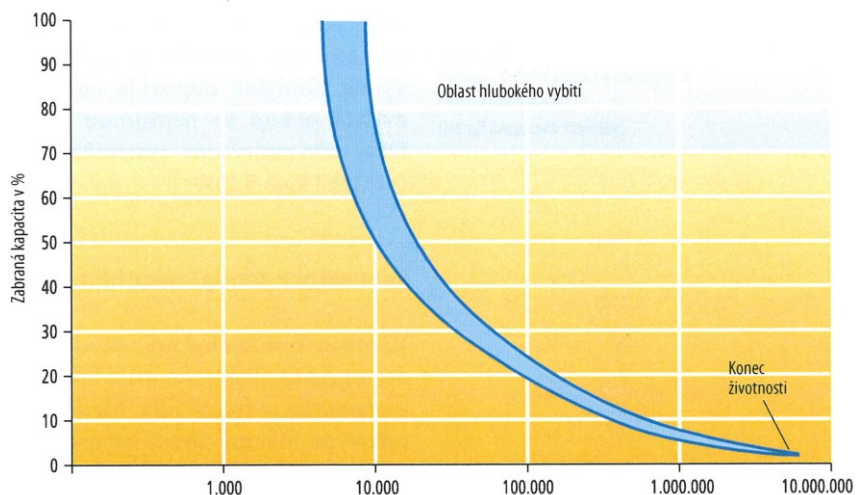


Obrázek 22 - Konstrukce lithium-iontových článků [7]

Všeobecně se kladný pól skládá z oxidu kovu lithia, záporný pól z grafitu. Elektrolyt mezi fóliemi obou pólů tvoří soli lithia s obsahem fluoru a organická rozpouštědla. Membrána s propustností pro ionty (separátor) mezi pólovými fóliemi chrání baterii před vnitřními zkraty.

Pokud se akumulátor vybíjí, odevzdávají lithiové atomy přítomné na anodě každý po jednom elektronu, který proteče vnějším proudovým obvodem přes spotřebič ke katodě. Paralelně tečou přes separátor hned volné lithiové ionty také od anody ke katodě. Lithium přitom zůstává na straně katody jako iont. Pokud se akumulátor nabíjí, probíhá obrácený proces.

U akumulátorů je velmi důležité vyvarovat se příliš hlubokého vybití a nabíjení nad konečné nabíjecí napětí, jinak se může akumulátor nevratně zničit. Pokud je možno využít inteligentní řízení nabíjení a akumulátor provozovat při konstantní teplotě, lze dosáhnout životnosti i větší než 20 let. [7]



Obrázek 23 - Počet cyklů v závislosti na hloubce vybití [7]

Výhody:

- Vyšší napětí článku
- Vysoká měrná energie
- Vyšší účinnost nabíjení
- Nepatrné samovybíjení
- Žádný paměťový jev
- Bezúdržbovost
- Vysoký počet cyklů

Nevýhody:

- Nutný bateriový management
- Stabilní teplota akumulátoru
- Vysoké bezpečnostní požadavky
- Náklady

5.6 Kably, vedení a připojovací technika

Pro elektrickou instalaci fotovoltaického zařízení se musí používat jen taková vedení a kabely, které splňují požadavky příslušné aplikace. Hlavní vedení mezi jednotlivými FV moduly se nazývají stringová vedení. Tato vedení jsou většinou instalována ve venkovním prostředí. Aby se zaručila pokládka odolná vůči zemi a zkratu, nesmí se kladný a záporný pól

vést v rámci společného vedení. Jako praktické řešení se osvědčily jednožilové kabely s dvojitou izolací. V přípojných krabicích modulů je možno ke svorkám připojit vodiče průřezu od 1,5 mm² do maximálně 6 mm². Vedení se nabízí ve třech barvách červené, modré a černé.

Připojovací technika vedení a ostatní DC kabeláže by se měla provést velmi pečlivě. Špatně provedené kontakty mohou vést ke tvorbě elektrických oblouků a tím zvýšení rizika požárů.

Obvykle se aplikují čtyři následující techniky:

- 1) Šroubové svorky – používají se k připojení ke šroubovým svorkám na konci ohebných vedení s tenkými vodiči.
- 2) Šroubové spoje – připojení se provádí pomocí kabelových ok, které se stáhnou mezi maticí a šroub
- 3) Tažné pružinové svorky - bezpečné připojení kabelů bez žilových objímek na konci
- 4) Konektory – používají se pro usnadnění montáže [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

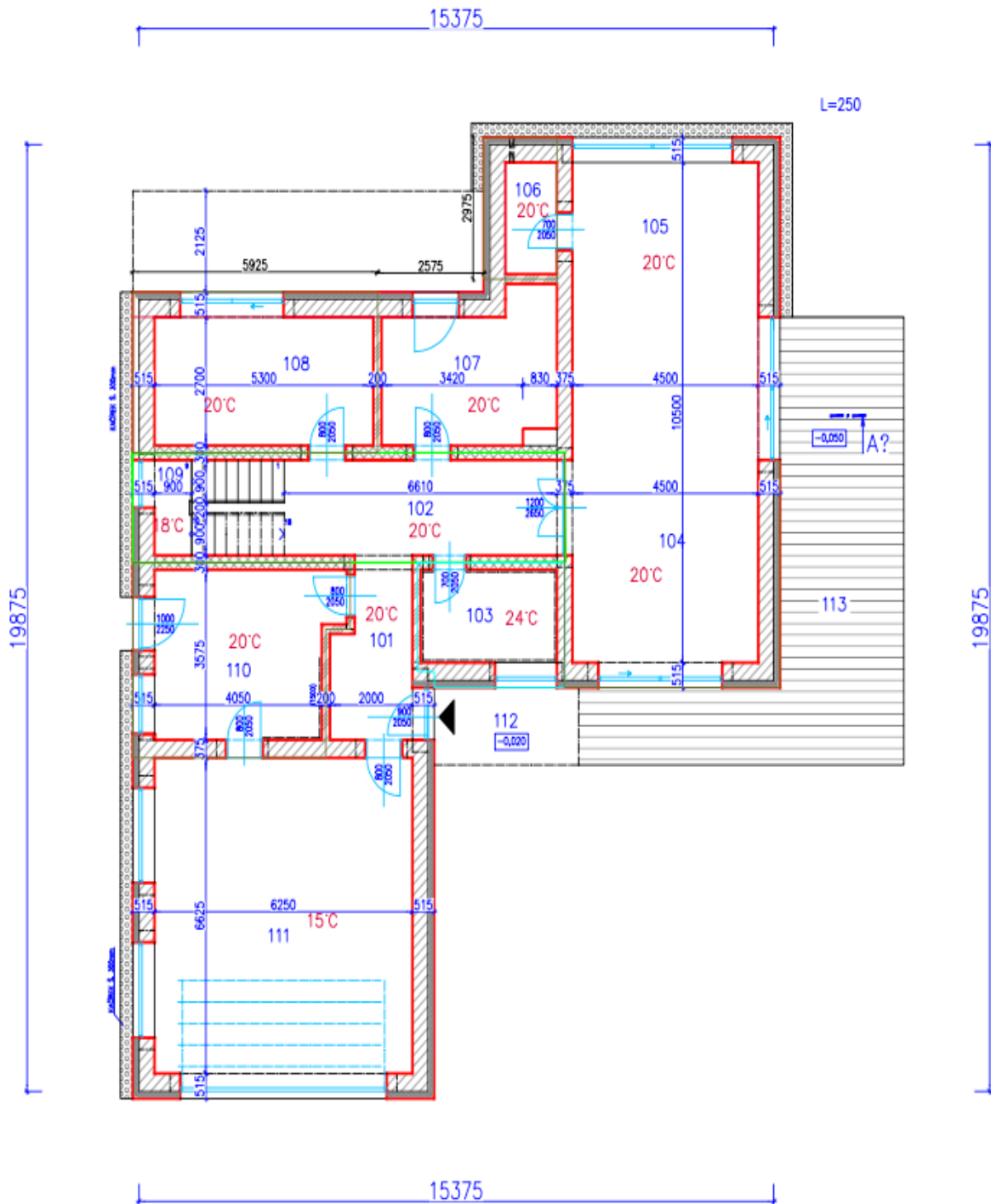
6 POPIS A PARAMETRY BUDOVY

Plánovaná novostavba se bude nacházet v katastrálním území Pozlovice. Stavba objektu je plánována na rok 2018. Objekt bude primárně využíván pro rodinné bydlení. V objektu by se měli pohybovat standardně 4 lidé, 2 dospělí a 2 děti.

Tabulka 5 - Okrajové podmínky lokality

Pozlovice (Zlínský kraj)	
Nadmořská výška	302 m
Délka topného období	238
Průměrná venkovní teplota přes topné období	3,8 °C
Návrhová venkovní teplota	-15 °C

Rodinný dům je řešen jako samostatně stojící objekt, nepodsklepený, se dvěma nadzemními podlažími. Je vhodný do rovinnatého, případně mírně svažitého terénu. Rodinný dům patří mezi střední domy s 6 pokoji, kuchyní spojenou s jídelnou a obývacím prostorem. Garáž (111) je navržena pro 2 automobily. Vstup je umístěn ve střední části objektu, kde se přes zádveří (101) vstupuje na chodbu (102). 1. nadzemní podlaží (1NP) je dále tvořeno z pracovny (108), technické místnosti (107) pro použité technologie v objektu, skladové místnosti (110), garážového prostoru a velké společné místnosti s kuchyní, jídelnou a obývacím prostorem (104 + 105).



Obrázek 24 – Půdorys 1NP

Tabulka 6 - Dispozice pokojů – 1NP

#	Jméno	Plocha [m ²]	Úprava podlahy
101	Zádveří	7,45	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
102	Chodba	20,25	
103	Koupelna	6,44	Ker, dlažba
104	Obývací pokoj	30,25	Vinylová podlaha + lišta
105	Kuchyně + jídelna	18,7	Vinylová podlaha + lišta
106	Spíž	2,9	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
107	Technická místnost	12,35	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
108	Pracovna	14,31	Vinylová podlaha + lišta
109	Schodiště	6,18	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
110	Sklad	15,45	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
111	Garáž	43,3	Gumová stěrka
112	Závětrí	8,3	Zámková dlažba
113	Terasa	42	WPC

2. nadzemní podlaží (2NP) se skládá ze dvou koupelen (204, 205), ložnice (202) pro rodiče a dvou dětských pokojů (207, 208). Z každého pokoje je možnost vstupu na terasu (211, 212).

Tabulka 7 - Dispozice pokojů – 2NP

#	Jméno	Plocha [m ²]	Úprava podlahy
201	Chodba	13,82	Laminátová podl. + sokl
202	Ložnice	22,5	Laminátová podl. + sokl
203	Šatna	5,4	Laminátová podl. + sokl
204	Koupelna	6,25	Ker, dlažba
205	Koupelna	10,56	Ker, dlažba
206	Dětský pokoj	17,1	Laminátová podl. + sokl
207	Dětský pokoj	17	Laminátová podl. + sokl
208	Schodiště	6,8	Ker. Dlažba + sokl 100 mm
211	Terasa	53	PVC izolace
212	Terasa	59	PVC izolace

6.1 Vlastnosti dílčích konstrukcí objektu

Abychom zjistili tepelné vlastnosti objektu, je nutné stanovit součinitel prostupu tepla neboli U-hodnotu pro dílčí konstrukce objektu. U-hodnota vyjadřuje celkovou výměnu tepla v ustáleném stavu mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami. U-hodnota vyjadřuje kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K. V tabulkách 8 až 11 lze vidět složení konstrukcí, ze kterých je objekt navržen.

Tabulka 8 - Složení konstrukce – podlaha

Podlaha na zemině	d [m]
Podsyp ze sěrpkopísku	0,1
Železo-betonová základová deska	0,15
Hydroizolace z asf, pásů	0,002
Polystyren EPS100S	0,12
Polystyren + podl. krytina	0,05
Betonová krycí vrstva	0,05
Keramická dlažba	0,02

Tabulka 9 - Složení konstrukce – strop

Střecha1	d [m]
Hydroizolace PVC	0,0015
Polystyren EPS100S	0,28
Samolep. Modi asf. Pás	0,0015
OSB Deska	0,015
OSB Deska	0,015
Krokev	0,18

Tabulka 10 - Složení konstrukce – strop kuchyň

Střecha2	d [m]
Hydroizolace	0,0015
Pol. Synthos XPS 630L	0,05
pylstyren EPS100	0,14
modifikovaný asf, pás.	0,0015
spád. Vrstva lehčený beton	0,05
systém strop heluz	0,25

Tabulka 11 - Složení konstrukce – stěna

Stěna obvodová 1	d [m]
Interiérová omítka	0,01
Obvodové zdivo Heluz Plus 365 mm	0,365
Potěr	0,01
Tep. Izolace 140 mm	0,14
Exteriérová omítka	0,01

Požadavky na součinitel prostupu tepla uvádí norma ČSN 73 0540-2. Pro každou vypočítanou stavební konstrukci musí platit $U \leq U_N$. U_N je normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla.

Tabulka 12 - Požadavky na součinitel prostupu tepla

Konstrukce obálky budovy	Plocha A_j	Součinitel prostupu tepla		Činitel teplotní redukce b_j	Měrná ztráta pro- stupem tepla $H_{T,j}$	
		Vypočtená hodnota U_j	Referenční hodnota $U_{N,rq,j}$	Splněno		
	[m ²]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	(ano/ne)	[-]	[W/K]
SO1 Stěna obvodová 1	222,3	0,13	0,30 / 0,25	-	1,00	29,0
DO1 Dveře vchodové 1	1,8	1,00	1,70 / 1,20	-	1,00	1,8
OT2 Okno 3x2,25	6,8	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	6,8
OT2 Okno 3x2,25	6,8	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	6,8
OT9 Okno 2x2,25	9,0	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	9,0
OT5 Okno 1x2,75	2,8	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	2,8
DO2 Dveře vchodové 2	6,8	1,00	1,70 / 1,20	-	1,00	6,8
OT6 Okno 1,25x0,75	1,9	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	1,9
OT1 Okno 1,5x0,75	1,1	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	1,1
OT7 Okno 0,8x2,05	6,6	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	6,6
OT8 Okno 2x1,25	5,0	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	5,0
OT3 Okno 3,88x1	3,9	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	3,9
OT4 Okno 2,5x2,25	5,6	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	5,6
OT10 Okno 0,75x2,125	6,4	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	6,4
OT11 Okno 1,5x0,875	1,3	1,00	1,50 / 1,20	-	1,00	1,3
SO2 Vnitřní stěna 365	22,9	0,28	0,60 / 0,40	-	1,00	6,5
SCH1 Střecha1	123,1	0,11	0,30 / 0,20	-	1,00	13,3
SCH2 Střecha2	60,1	0,14	0,30 / 0,20	-	1,00	8,5
PDL1 Podlaha na zemině	163,7	0,20	0,45 / 0,30	-	1,00	32,7
Celkem	657,8					155,7

Požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla jsou uvedeny v kapitole 2.1. Pro určení musíme nejprve zjistit plochy jednotlivých konstrukcí, a proto vypočítáme měrné ztráty pro-
stupem tepla. Na základě získaných hodnot určíme průměrný součinitel prostupu tepla. Ten musí splňovat podmínku $U_{em} \leq U_{em,R}$.

Tabulka 13 - Požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla

Zóna	Převažující návrhová vnitřní teplota $\Theta_{im,j}$	Objem zóny V_j	Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny $U_{em,R,j}$
	[°C]	[m ³]	[W/(m ² ·K)]
Zóna 1 - RD Pozlovice	20,0	888,9	0,39

Tabulka 14 - Průměrný součinitel prostupu tepla

Budova	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy		
	Vypočtená hodnota U_{em} ($U_{em} = H_T/A$)	Referenční hodnota $U_{em,R}$ ($U_{em,R} = \Sigma(V_j \cdot U_{em,R,j})/V$)	Splněno
	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)]	(ano/ne)
	0,237	0,392	ANO

Vypočítaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla splňuje podmínku $U_{em} \leq U_{em,R}$.

6.2 Tepelné ztráty místností

Výpočty tepelných ztrát se provádějí podle normy ČSN EN 12831. Pro výpočet byl použit software PROTECH, který zpracovává výpočetní výstupy tepelných ztrát a zisků.

Na obrázku 26 jsou uvedeny výpočtové teploty pro jednotlivé místnosti.

$t_e = -15 \text{ } ^\circ\text{C}$ $t_{ib} = 20,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ $n_{50} = 5,0$ systém rozměrů: E - vnější

podl.	č.m.	účel	úsek	t_i °C	n_p	V_{np} m ³ .h ⁻¹	V_{n50} m ³ .h ⁻¹	V_{mech} m ³ .h ⁻¹	f_{RH}
ÚSEK 1									
1	101		1	20	0,5	10,4	4,1	0,0	0
1	102		1	20	0,5	28,1	11,3	0,0	0
1	103		1	24	0,5	8,9	3,6	0,0	0
1	104		1	20	0,5	45,2	27,1	0,0	0
1	105		1	20	0,5	20,3	8,1	0,0	0
1	106		1	20	0,5	4,0	0,0	0,0	0
1	107		1	20	0,5	17,2	6,9	0,0	0
1	108		1	20	0,5	19,9	8,0	0,0	0
1	110		1	20	0,5	21,5	12,9	0,0	0
2	201		1	20	0,5	19,2	7,7	0,0	0
2	202		1	20	0,5	31,3	18,8	0,0	0
2	203		1	20	0,5	7,5	3,0	0,0	0
2	204		1	24	0,5	8,7	3,5	0,0	0
2	205		1	24	0,5	14,7	5,9	0,0	0
2	207		1	20	0,5	23,8	14,3	0,0	0
2	208		1	20	0,5	23,6	14,2	0,0	0

Obrázek 26 – Tabulka PROTECH – výpočtové teploty

č.m.	úsek	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	H_{Tm} W/K	H_{Vm} W/K	Φ_{Tm} W	Φ_{Vm} W	Φ_{RHm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	Q_z W
ÚSEK 1											
101	1	20,7	7,5	4	4	130	123	0	253	253	0
102	1	56,3	20,3	5	10	190	335	0	525	525	0
103	1	17,9	6,4	3	3	123	119	0	241	241	0
104	1	90,3	32,5	26	15	915	538	0	1 452	1 452	0
105	1	40,7	14,6	11	7	400	242	0	642	642	0
106	1	8,1	2,9	2	1	85	48	0	133	133	0
107	1	34,3	12,3	4	6	152	204	0	356	356	0
108	1	39,8	14,3	10	7	362	237	0	599	599	0
110	1	43,0	15,4	9	7	324	256	0	580	580	0
201	1	38,4	13,8	7	7	232	229	0	460	460	0
202	1	62,5	22,5	16	11	548	372	0	920	920	0
203	1	15,0	5,4	3	3	109	89	0	198	198	0
204	1	17,4	6,3	5	3	168	103	0	272	272	0
205	1	29,4	10,6	3	5	113	175	0	288	288	0
207	1	47,5	17,1	11	8	400	283	0	683	683	0
208	1	47,3	17,0	11	8	396	281	0	677	677	0

Obrázek 27 – Tabulka vypočítaných tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti

č.m.	úsek	V_{mi} m ³	A_{pi} m ²	H_{Tm} W/K	H_{Vm} W/K	Φ_{Tm} W	Φ_{Vm} W	Φ_{RHm} W	Φ_{HLm} W	Q_{cm} W	Q_z W
Σ úsek 1 ÚSEK 1		608,6	218,9	132	103	4 647	3 633	0	8 281	8 281	0

Obrázek 28 – Tabulka celkové tepelné ztráty objektu

Legenda:

 V_{np} - hygienická výměna vzduchu

 V_{n50} - výměna vzduchu pláštěm budovy

f_{RH} - zátopový součinitel

Φ_{Tm} - tepelná ztráta místnosti prostupem tepla

Φ_{Vm} - tepelná ztráta místnosti větráním

Φ_{RHm} - tepelný výkon místnosti pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění

Φ_{HLm} - celkový návrhový tepelný výkon místnosti

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

Celková tepelná ztráta objektu se skládá ze součtu tepelné ztráty prostupem tepla konstrukcí, ztráty tepelných mostů a tepelné ztráty infilrací a větráním. Celková tepelná ztráta RD byla vypočítána na **8281 W**.

6.3 Tepelné zisky místností

V programu PROTECH byly vypočítány předpokládané tepelné zisky ze slunečního záření dopadající na rodinný dům.

měsíc: červenec $t_{\max} = 30,0^{\circ}\text{C}$ opravný činitel $c_0 = 1,15$

č.m.	název	t_v °C	Δt K	τ_{\max} h	Q_{osl} W	k_{Mm} %	$Q_{lidé}$ W	$Q_{osv.}$ W	Δt_v K	Q_v W	Q_{tech} W	$Q_{jiné}$ W	$Q_{citelné}$ W	kx	Q_{celkem} W
101		26	2	12	398	0,0	0	0	2,0	0	0	0	398	1,00	398
102		26	2	13	163	0,0	0	0	2,0	0	0	0	163	1,00	163
103		26	2	16	290	0,0	0	0	2,0	0	0	0	290	1,00	290
104		26	2	15	2 418	0,0	0	0	2,0	0	0	0	2 418	1,00	2 418
105		26	2	8	985	0,0	0	0	2,0	0	0	0	985	1,00	985
106		26	2	7	2	0,0	0	0	2,0	0	0	0	2	1,00	2
107		26	2	8	557	0,0	0	0	2,0	0	0	0	557	1,00	557
108		26	2	8	1 391	0,0	0	0	2,0	0	0	0	1 391	1,00	1 391
110		26	2	13	355	0,0	0	0	2,0	0	0	0	355	1,00	355
201		26	2	12	935	0,0	0	0	2,0	0	0	0	935	1,00	935
202		26	2	9	1 612	0,0	0	0	2,0	0	0	0	1 612	1,00	1 612
203		26	2	8	401	0,0	0	0	2,0	0	0	0	401	1,00	401
204		26	2	8	334	0,0	0	0	2,0	0	0	0	334	1,00	334
205		26	2	13	66	0,0	0	0	2,0	0	0	0	66	1,00	66
207		26	2	16	1 496	0,0	0	0	2,0	0	0	0	1 496	1,00	1 496
208		26	2	16	1 500	0,0	0	0	2,0	0	0	0	1 500	1,00	1 500

Obrázek 29 – Tabulka průměrné tepelné zisky pro jednotlivé místnosti v měsíci červenec. Výpočet proveden v programu PROTECH

τ_{\max} h	Q_{osl} W	$Q_{\text{lidé}}$ W	$Q_{\text{osv.}}$ W	Q_v W	Q_{tech} W	$Q_{\text{jiné}}$ W	$Q_{\text{citelné}}$ W	Q_{celkem} W
15	8 343	0	0	0	0	0	8 343	8 343

Obrázek 30 – Celkové tepelné zisky rodinného domu z osvětlení.

Na obrázku 29 můžeme vyčíst potřebný výkon, který musí mít vhodně vybraný zdroj chladu, aby pokryl tyto tepelné zisky.

7 VÝBĚR ZDROJE ENERGIE

Při výběru vhodného zdroje tepla vzniká vždy otázka, jaký zdroj tepla bude nejlepší a nejlevnější. Je nutné si vždy odpovědět, k jakým účelům bude zdroj tepla primárně sloužit.

Je více variant provedení TČ, které se od sebe navzájem liší především zdrojem, odkud nízkoteplotní energii získáváme k přeměně na teplotu použitelnou pro systém vytápění. V našem případě potřebujeme vybrat takový zdroj tepla, aby dokázal pokrýt celkovou tepelnou ztrátu objektu, připravit dostatečné množství TUV a v letních měsících ho můžeme využít také jako zdroj chladu. Pro takové účely je nejvhodnější využití TČ. Jak již bylo uvedeno v teoretické části, v dnešní době máme na výběr ze tří druhů TČ.

RD v Pozlovicích je situován na kopci, což může mít za následek menší množství zásob podzemních vod, alespoň ne na tolik, abychom mohli využít TČ voda/voda. Ekonomicky nejvíce výhodné na počáteční náklady je zvolit TČ vzduch/voda. Bohužel topný faktor klesá se snižující se venkovní teplotou, takže je nutný bivalentní zdroj, který přichází na řadu při nízkých venkovních teplotách. Z tohoto důvodu se tyto TČ nedimenzují na plný výkon k pokrytí tepelných ztrát objektu. Bivalentním zdrojem může být el. patrona osazená v akumulární nádrži, která bývá součástí systému TČ. Systémy země/voda odebírají teplo ze země, či povrchově. Tato tepelná čerpadla mají vyšší topný faktor, nicméně počáteční investice na vybudování vrtů či plošného kolektoru je ve srovnání s TČ vzduch/voda vyšší.

Pro potřeby rodinného domu bylo vybráno TČ země/voda, zejména z důvodu, že tento systém, je považován, ve srovnání s ostatními, za nejstabilnější.

7.1 Tepelné čerpadlo země/voda

Pro potřeby RD bylo jako hlavní zdroj pro vytápění a přípravu TV vybráno tepelné čerpadlo typu země/voda. Konkrétně bylo vybráno TČ IVT GEO 312 C o topném výkonu 11,8 kW z 0/35. TČ obsahuje dvojité rotační frekvenčně řízený kompresor pro optimální regulaci při nižších potřebách dodávky TV. Čerpadlo dále nabízí oddělený chladicí okruh, díky kterému lze připravovat vodu na chlazení dvěma způsoby. Aktivní způsob využívá reverzibilního chodu čerpadla, díky čemuž lze využít vzniklé odpadní teplo pro regeneraci vrtů nebo plošného kolektoru. Při pasivním způsobu chlazení běží pouze úsporné oběhové čerpadlo, které vhání potřebný chlad z vrtů do akumulární nádrže. Součástí dodávky TČ je bivalentní zdroj tepla, jehož výkon se pohybuje ve třech stupních 3/6/9 kW.

TČ obsahuje zásobník z nerezové oceli na TV o velikosti 190 l. Při této velikosti zásobníku je možné připravit 280 l vody o teplotě 40 °C. TČ je vybaveno základní regulací s 3 režimy ohřevu TV. Funkce BCM slouží pro hlídání podchlazení vrtů. V případě potřeby regulace přizpůsobuje výkon aktuální teplotě ve vrtu a zabraňuje trvalejšímu podchlazení.

V kombinaci s fotovoltaickým systémem pro výrobu elektrické energie dokáže využít přebytek vyrobené energie a akumulovat ji např. do akumulární nádoby. TČ čerpadlo se propojí komunikačním kabelem se střídačem, který má na starost správu vyráběné energie z FV systému a dokáže tak optimálně řídit chod TČ na základě množství dopadajícího slunečního záření.

7.1.1 Geologická struktura

Pozlovice se všeobecně řadí do Karpatské soustavy. Patří do tzv. flyšového pásma. Vrstvy geologické struktury se skládají ze středně až hrubě zrnitého pískovce. Geologická struktura je velmi důležitá při dimenzování vrtů pro TČ. Na základě složení vrstev lze vypočítat hloubku vrtů pro zvolený výkon z TČ země/voda.

7.1.2 Hlubinný vrt

V podpovrchové geotermální vrstvě se skrývá zdroj tepla, který je možno využívat celoročně, protože má v podstatě konstantní teplotu. Je možno jej využívat pro jakýkoli typ budovy, velkou či malou, veřejnou či soukromou. Vyžaduje minimum prostoru a hlubinný vrt je možno provést i na nejmenších parcelách.

Z normy ČSN EN 15450 byla stanovena hloubka hlubinného vrtu na základě geologické struktury oblasti, ve které se objekt nachází. Výkonové hodnoty půdy se pohybují pro pískovec v rozmezí 65 až 80 W/m při době provozu TČ 1800 hodin. Aby byl pokryt výkon TČ 11,8 KW, musí být hloubka vrtu alespoň 158 m.

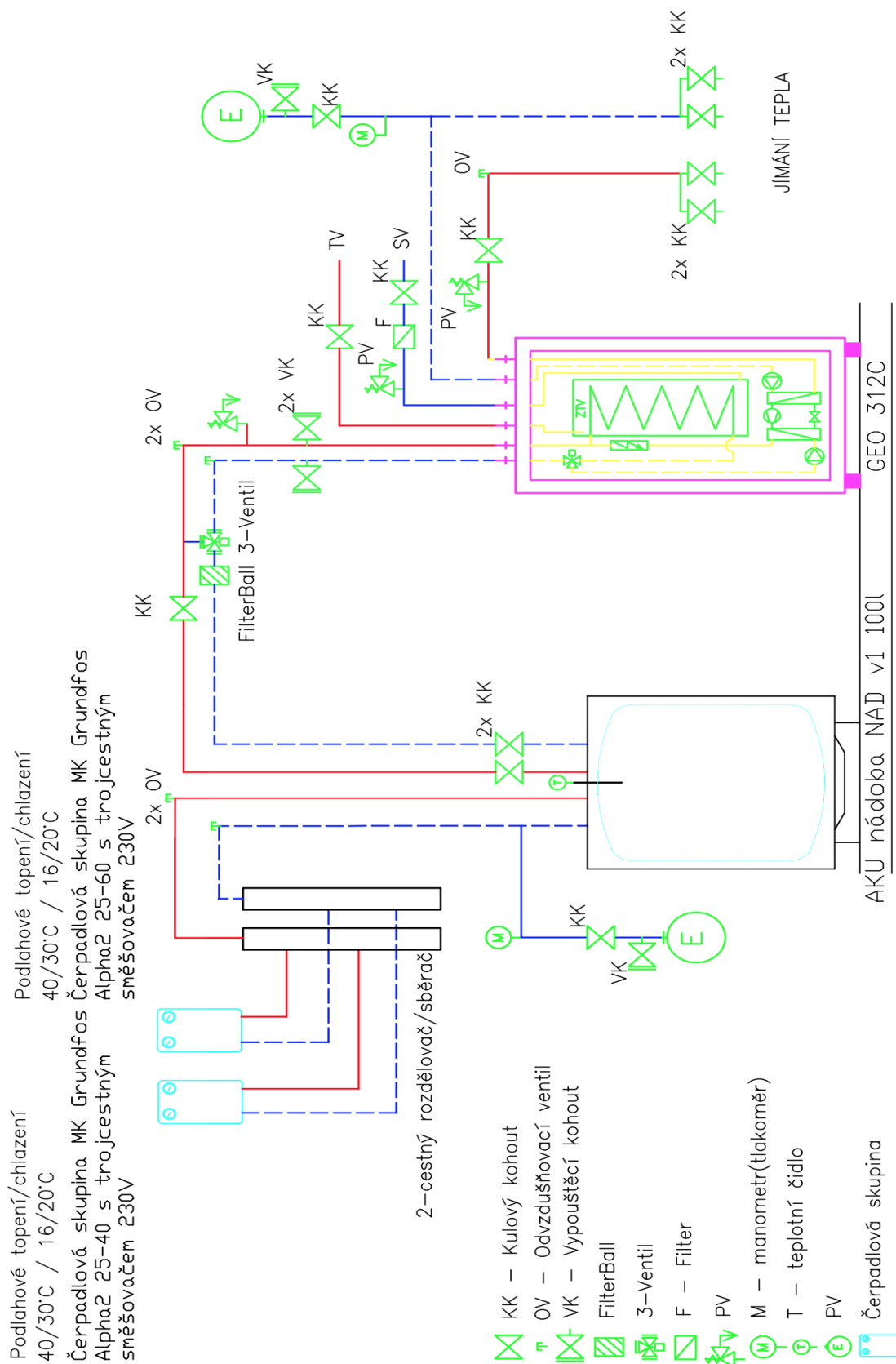


Obrázek 31 - Vystrojení geotermálního vrtu - sonda

7.1.3 Napojení do objektu

Již při samotném projektování novostavby je nutné se zamyslet, jakým způsobem budou vrty napojeny do rodinného domu. V našem případě máme stále prázdný pozemek, na kterém lze v předstihu připravit vrty. Po provedení hlubinných prací je nutné vyvést vrty do sběrné jámky. Ve sběrné jámce dochází k napouštění primáru a jeho odvodu. Ze sběrné jámky je vyvedeno izolované potrubí a přivedeno do technické místnosti, kde bude umístěno TČ.

7.2 Schéma zapojení pro systém vytápění a chlazení



Obrázek 32 – Schéma zapojení systému s TČ

Navrhovaná tepelná soustava obsahuje jako hlavní zdroj tepla tepelné čerpadlo země/voda o výkonu 11,8 kW. Součástí dodávky TČ je topná patrona, která zajišťuje dodávku při potenciální poruše TČ. Tento elektrokotel slouží jako bivalentní zdroj. Tepelné čerpadlo je umístěno v technické místnosti 107.

V celém RD bude použit systém podlahového vytápění, který bude pokrývat veškeré tepelné ztráty v jednotlivých obytných místnostech. Teplotní spád pro podlahové vytápění je 40/30 °C. teplota podlahy by se měla pohybovat v rozmezí teplot od 19 do 26°C. Veškerou regulaci vytápění a chlazení zajišťuje regulace REGO 2000, která je založena na akvitermním řízení.

Objemový průtok:

$$V = \frac{P}{\rho \times c_p \times \Delta\theta} \quad (30)$$

Kde:

- P – Výkon okruhu
- ρ – Hustota vody [kg/m³]
- c_p – Měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]
- $\Delta\theta$ – Rozdíl teplot [K] Průměr potrubí:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times w}} \quad (31)$$

Kde:

- d – Průměr potrubí [m]
- V – Objemový průtok [m³/h]
- w – Rychlost tekutiny v potrubí [m/s]

Reynoldsovo kritérium:

$$Re = \frac{w \times d}{\nu} \quad (32)$$

Kde:

- ν – Kinematická viskozita při 35°C je $7,295 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$

Součinitel tření:

$$\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (33)$$

Kde:

- λ - Součinitel tření [-]

Tlakové ztráty třením:

$$p_\lambda = \lambda \times \frac{l}{d} \times \frac{w^2}{2} \times \rho \quad (34)$$

Kde:

- P_λ - Tlaková ztráta třením [Pa]

Tlakové ztráty vraženými odpory – Přípojka nebude příliš členitá proto 40%

$$\Delta p_\xi = 0,4 \times p_\lambda \quad (35)$$

Kde:

- P_ξ - Tlaková ztráta vraženými odpory [Pa]
-

Tabulka 15 – Celkové ztráty vedení potrubí

Pozice	P [kg/m ³]	C _p [kg ⁻¹ K ⁻¹]	Δθ [°C]	V [m ³ /h]	d [m]	Re [-]	λ [-]	Δp _λ [Pa]	Δp _ξ [Pa]	Δp _c [Pa]
Okruh 1NP	988	4178	10	0,417	0,017	19771	0,027	4443	1777	6221
Okruh 2NP	988	4178	10	0,305	0,015	16908	0,028	5403	2161	7564

Tlaková ztráta 3-cestným ventilem:

$$\Delta p_v = p_a \times \Delta p_c = 0,5 \times 7564 = 3782 \text{ Pa} \quad (36)$$

Průtokový součinitel:

$$k_v = \frac{V}{\sqrt{\Delta p_v}} = 3,71 \text{ m}^3/\text{h} \quad (37)$$

Jmenovitý průtokový součinitel

$$k_{vS} = (1,1 \div 1,3) \times k_v = 4,081 \div 4,823$$

V tabulce 15 jsou vypočítány celkové tlakové ztráty pro okruhy 1NP a 2NP až po rozdělovač/sběrač podlahového vytápění. Tento rozvod nebude příliš členitý, proto byla zvolena tlaková ztráta vraženými odpory na 40 %. Celková tlaková ztráta pro 1NP je 6221 Pa a pro 2NP byla vypočítána na 7564 Pa.

V tabulce 16 jsou vypočítány tlakové ztráty veškerých dílčích okruhů podlahového vytápění pro 1NP a 2NP.

Tabulka 16 – Ztráty podlahového vytápění

#	P [W]	Potrubí	Plocha	Rozteč [mm]	Délka potrubí + přípojka [m]	Tlakové ztráty na 1m [Pa]	Celkové ztráty [Pa]
101	253	16x2	6,7	250	33	100	3300
102	525	16x2	15,6	250	33	100	3300
103	241	16x2	7,6	200	42	100	4200
104 + 105	2096	16x2	49,2	250	80,6	100	8060
					84,6	100	8460
					80,6	100	8060
106	133	16x1	2,5	250	23	100	2300
107	356	16x2	11,6	250	11,2	100	1120
108	599	16x2	13,6	250	82	100	8200
110	580	16x2	17,1	250	90	100	9000
201	460	16x2	13,2	250	55	100	5500
202	920	16x2	24,1	250	102	100	10200
203	198	16x2	6,0	250	36	100	3600
204	272	16x2	9,5	250	56	100	5600
205	288	16x2	9,5	250	54	100	5400
207	683	16x2	18,3	250	79	100	7900
208	677	16x2	18,1	250	82	100	8200

Z tabulky 15 a 16 vyplývá, že oběhová čerpadla byla vybrána tak, aby pokryla tlakovou ztrátu jednotlivých okruhů. Pro okruh 1NP byla vybrána čerpadlová skupina MK Grundfos Alpha2 25-40 s trojcestným směšovačem 230V. Pro okruh 2NP byla vybrána čerpadlová skupina MK Grundfos Alpha2 25-45 s trojcestným směšovačem 230V.

Expanzní nádoba

Výpočet vychází ze vztahu:

$$V_{et} = 1,3 \times V_o \times n \times \frac{1}{\eta} \quad (38)$$

Stupeň využití EN:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,a}}{p_{h,dov,A}} = \frac{300 - 155}{300} = 0,4833 \quad (39)$$

Objem expanzní nádoby:

$$V_{et} = 1,3 \times V_o \times n \times \frac{1}{\eta} = 1,3 \times 350 \times 0,4833 \times \frac{1}{0,4833} = 30,105 \text{ l}$$

Pojistný ventil

Tepelné čerpadlo již pojistný ventil obsahuje a jeho pracovní tlak je 2,5 baru. Je nutné navrhnout pojistný ventil pro okruh podlahového vytápění.

Pojistný výkon pro skupinu A2 (výměníky tepla):

$$Q_p = 2 \times Q_N = 2 \times 11,8 = 23,6 \text{ kW} \quad (40)$$

Minimální průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_o = \frac{Q_n \times 2}{\alpha_w \sqrt{p_{ot}}} = \frac{23,6}{0,444 \times \sqrt{250000}} = 6,72 \text{ mm}^2 \quad (41)$$

Vnitřní průměr pojistného potrubí:

$$d_v = 10 + 0,6x \sqrt{Q_p} = 10 + 0,6x \sqrt{10} = 12,91 \text{ mm} \quad (42)$$

Byl vybrán pojistný ventil pro topení - 1/2"x3/4", Kv 0,444, 2,5bar, KD15 DUCO. Tento ventil má otevírací tlak 2,5 baru, výtokový součinitel 0,444. Nominální výkon zdroje je 11,8 kW.

7.3 Rozpočet systému vytápění a chlazení pomocí TČ

Tabulka 17 – Investiční náklady na systém vytápění a chlazení

RD Pozlovice					
Tepelné čerpadlo, aktivní chlazení, podlahové topení					
Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	cena / MJ	Cena celkem (Kč)
Technická místnost					304 135,15
	Tepelné čerpadlo IVT GEO 312 C Qt=11,8kW vč. příslušenství	ks	1,0	254 000,00	254 000,00
	Akumulační nádobka NAD 100 v1, V=120litrů	ks	1,0	3 326,69	3 326,69
	Čerpadlová skupina MK Grundfos Alpha2 25-40 s trojcestným směšovačem 230V	ks	1,0	10 845,91	10 845,91
	Čerpadlová skupina MK Grundfos Alpha2 25-60 s trojcestným směšovačem 230V	ks	1,0	11 250,39	11 250,39
	Směšovací ventil VRG131, DN25; KVS 6,3	ks	1,0	790,00	790,00
	Servopohon ARA651	ks	1,0	1 662,16	1 662,16
	Expanzní nádobka 35l/6bar	ks	1,0	804,00	804,00
	Expanzní nádobka 12l/6bar	ks	1,0	982,00	982,00
	Rozdělovač pro čerpadlovou skupinu pro dva topné okruhy s izolací	ks	1,0	3 332,00	3 332,00
	Konzole na stěnu	ks	1,0	250,00	250,00
	Upevňovací pásková konzola pro expan. Nád.	ks	2,0	221,00	442,00
	Montáž tepelného čerpadla	kpl	1,0	12 500,00	12 500,00
	Montáž akumulačních nádob	kpl	1,0	1 250,00	1 250,00
	Montáž expanzní nádoby	kpl	2,0	500,00	1 000,00
	Montáž čerpadlových skupin	kpl	2,0	350,00	700,00
	Montáž 3-ventilu s pohonem	kpl	1,0	250,00	250,00
	Montáž rozdělovače	kpl	1,0	750,00	750,00
Armatury					14 269,00
	Kulový kohout se zajištěním MK 3/4"	ks	2,0	592,00	1 184,00
	Kulový kohout 3/4"	ks	2,0	74,00	148,00
	Kulový kohout 5/4"	ks	6,0	189,00	1 134,00
	Kulový kohout 6/4"	ks	4,0	338,00	1 352,00
	Kulový kohout s filtrem 5/4"	ks	1,0	2 105,00	2 105,00
	Automatizovaný odvzdušňovací ventil 1/2"	ks	6,0	173,00	1 038,00
	Teploměr radiální 0°C až 120°C,	ks	1,0	622,00	622,00
	Tlakoměr	ks	2,0	250,00	500,00
	Vypouštěcí kulový uzávěr s páčkou, 1/2"M	ks	4,0	123,00	492,00
	Ventil pojistný	ks	3,0	658,00	1 974,00
	Montáž armatur	kpl	31,0	120,00	3 720,00
Podlahové topení					99 061,00
	Trubka 16x2 mm	ks	1 024,0	21,00	21 504,00
	Separální podložka s rastrem	m2	222,0	17,00	3 774,00
	Sponky pro kotvení lišty k izolaci	ks	2 000,0	2,80	5 600,00
	Dilatační páska s PE folií, lepicí pásek	m	300,0	9,00	2 700,00
	Rozdělovač nerez 10-cestný	ks	1,0	7 368,00	7 368,00
	Rozdělovač nerez 7-cestný	ks	1,0	8 840,00	8 840,00
	COSMO skříň rozdělovače podomítku 5-8 okruhů	ks	1,0	2 095,00	2 095,00
	COSMO skříň rozdělovače podomítku 9-10 okruhů	ks	1,0	2 330,00	2 330,00
	Ochranná trubka 16-20mm (husí krk)	m	50,0	9,00	450,00
	Montáž podlahového topení	kpl	1,0	44 400,00	44 400,00
Vrty a primár					191 768,00
	Příprava a vyvrtání vrtu	m	160,0	900,00	144 000,00
	Hlubinná sonda 4x32	ks	2,0	13 384,00	26 768,00
	Jímka pro jímání tepla z vrtu	ks	1,0	21 000,00	21 000,00
	Nemrzoucí kapalina	l			
Rozvod potrubí					25 250,00
	Potrubí vícevrstvé 16x2	m	40,0	222,00	8 880,00
	Potrubí vícevrstvé 26x3	m	20,0	280,00	5 600,00
	Potrubí vícevrstvé 32x3	m	10,0	342,00	3 420,00
	Kaučuková izolace	kpl	1,0	7 350,00	7 350,00
Ostatní náklady					32 708,61
	Projektová dokumentace	kpl	1	15 000,00	15 000,00
	Doprava 3%	kpl	1	13 281,45	13 281,45
	Vnitrostaveništní přesuny 1%	kpl	1	4 427,15	4 427,15
CELKEM					667 191,76

8 FV SYSTÉM PRO OBLAST RD

Instalace FV systému vyžaduje rozsáhlé odborné znalosti a za určitých okolností spolupráci různých profesí. Je třeba dodržovat technické podklady výrobců a montážní návody. Nemělo by se jim ovšem slepě důvěřovat. Mohou obsahovat chyby nebo informace pro podporu prodeje, které nemusí vést k optimálnímu řešení.

Pro zahájení projektování FV systému je nezbytná prohlídka místa. Nejprve je třeba stanovit, zda je objekt vhodný pro instalaci FV zařízení. Důkladná prohlídka ušetří chyby projektování a chybnou kalkulaci při vypracování nabídky. Prohlídce a vyhodnocování údajů by se měla věnovat pozornost následujícím bodům:

- Přání zákazníka výběru druhu modulů, způsobu montáže apod.
- Požadovaný FV výkon a energetický výnos
- Potřeba vlastní spotřeby, roční spotřeba energie, pro jaké spotřebiče, průběh zatížení
- Finanční rámec s ohledem na podmínky dotace
- Využitelná plocha střechy
- Nasměrování a sklon
- Tvar a konstrukce střechy
- Údaje k zastínění
- Místo montáže pro rozvaděč generátoru, odpojovače zařízení, střídače, baterie.
- Elektroměrová skříň a místo pro další elektroměr
- Délky a způsob tras vedení.

8.1 Obecné podmínky pro montáž a instalaci FV systémů

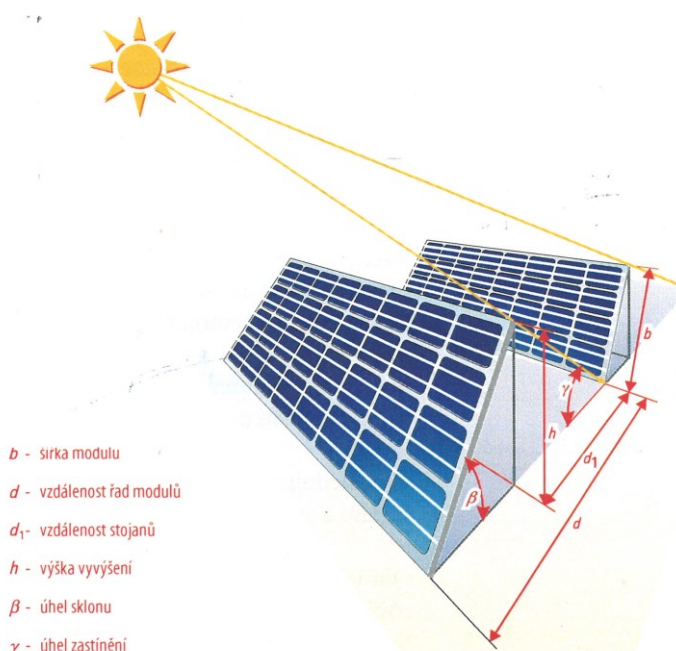
FV generátory jsou instalovány venku, proto se musí u použitých komponentů dodržovat pokyny pro venkovní montáž (stupeň ochrany IP, odolnost proti UV záření, povětrnostním vlivům, teplotní rozsah). FV generátory mají na rozdíl od běžných zdrojů napětí výrazně jiné provozní vlastnosti. Na rozdíly mezi stejnosměrnou a střídavou instalací je potřeba dávat velký pozor.

Elektroinstalace na straně DC napětí může provést „neelektrikář“. Práce však musí být prováděny pod odborným dohledem v oboru elektro. Systémy na střechu může instalovat elektroinstalatér po zaškolení do odborných pravidel a bezpečnostních směrnic pro střešní práce. Elektroinstalace od připojení střídače a uvedení FV systému do provozu musí provést autorizovaný elektroinstalatér.

8.2 Orientace a sklon panelů

Nejvíce elektřiny vyrobí v České republice fotovoltaický panel orientovaný k jihu se sklonem kolem 35° . Při změně zvýšení dojde k zastínění dále stojících řad modulů vlivem před nimi stojících vyvýšených řad. Aby se tyto ztráty omezily, musí mít řady mezi sebou jistou vzdálenost. Stupeň využití plochy se určí z poměru šířky modulu ke vzdálenosti řad modulů:

$$f = \frac{b}{d} \quad (43)$$



Obrázek 33 - Zastínění u vyvýšených FV zařízení

Výsledná vzdálenost řad modulů závisí na šířce modulu a úhlu sklonu:

$$d = b \times \frac{\sin(180^\circ) - \beta - \gamma}{\sin(\gamma)} \quad (44)$$

8.3 Překážky a stínění panelů

Díky překážkám a stíněním panelů nastává komplikovanější situace, například v městské zástavbě nebo na venkově množstvím vzrostlých stromů. V tom případě je optimální sklon

a orientaci možno určit například počítačovou simulací. Počítačová simulace byla vytvořena v programu PV*SOL a je popsána podrobněji dále v textu.

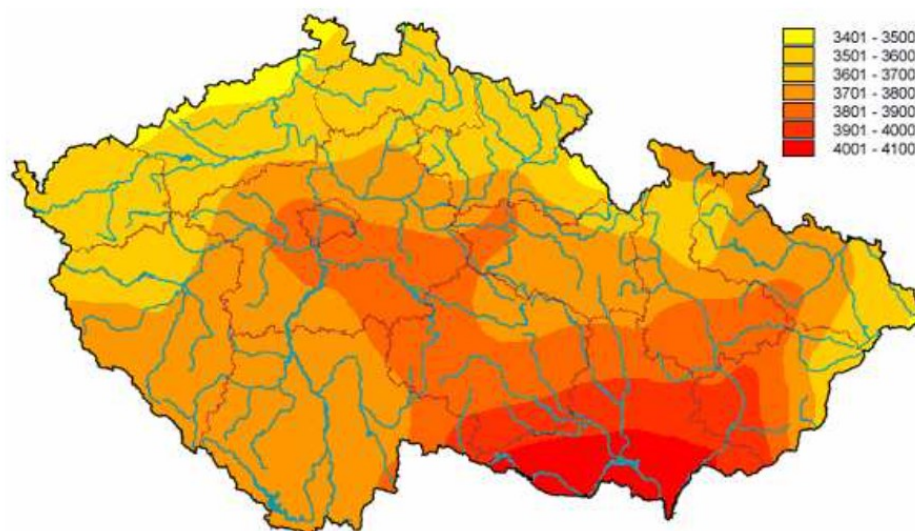
8.4 Stabilita a statika FV systému

Fotovoltaické systémy jsou konstrukční systémy a musí být dle všech stavebních pravidel stabilní jako celek. Vlastní zatížení vyplývá z hmotnosti konstrukčních dílů. Typické zatížení vlastní vahou se pohybuje od 0,12 a 0,16 kN/m². Přesné hodnoty jsou uvedeny v datových listech výrobců. [7]

Povětrnostní podmínky jsou závislé na poloze budovy, výšce hřebenu, tvaru a sklonu střechy. Tlak rychlosti závisí na změně větru, krajině v okolí a na výšce budovy nad zemským povrchem. Na výběr jsou čtyři kategorie zóny větru. RD v Pozlovicích můžeme zařadit do kategorie II, terén s křovinami, domy nebo stromy. [7]

8.5 Množství dopadající energie

Nad hranicí zemské atmosféry dopadá na metr čtvereční plochy nastavené kolmo ke slunečným paprskům zářivý výkon 1367 W. Jde o tzv. solární konstantu. Při průchodu atmosférou je část záření odražena, část pohlcena a rozptýlena, a na povrch Země se dostává jednak přímé záření a jednak záření rozptýlené a odražené od mraků. Na zemském povrchu výkon slunečního záření zpravidla nepřesahuje 1kW/m² při čisté obloze. Při zatažené obloze je k dispozici jen rozptýlené záření o znatelně menší intenzitě, přibližně 10× nižší.



Obrázek 34 - Průměrný roční úhrn globálního záření [7]

Důležitější je údaj, kolik energie dopadne za delší časový úsek na určitou plochu. Celkové množství energie, které se dá získat za rok v určitém místě závisí především na zeměpisné šířce a na místním klimatu. Na stránkách PVGIS Solar Irradiance Data je mapka ukazující rozložení celkového ročního množství sluneční energie v Evropě. Na území České republiky rozdíly v množství dopadající energie nejsou příliš výrazné, přibližně můžeme počítat s 1 MWh/m² za rok. Pro RD v Pozlovicích byly vytvořeny dva scénáře výpočtu množství vyrobené energie. Množství vyrobené energie pomocí orientace panelů na JIH a orientace panelů VÝCHOD/ZÁPAD.

8.6 Ekonomické podmínky provozování FV systému

U fotovoltaického systému jsou výrobní náklady elektřiny určeny hlavně investičními náklady, protože nejsou žádné náklady na palivo a vlastní provozní náklady. Ekonomická efektivnost FV systému je dána tehdy, když jsou zisky z úhrad za dodávku energie do sítě v posuzovaném časovém období vyšší než očekávané náklady na zřízení a provoz FV systému. Vhodnými výpočetními programy lze vypočítat zúročení vloženého kapitálu.

Je jasně zřejmé, že vysoká kvóta vlastní spotřeby zlepšuje renditu systému, protože úspory dosažené neodebíráním elektřiny ze sítě jsou vysoké. Studie německého ústavu IOW uvádí, že zpravidla lze bez akumulátorů spotřebovat pro vlastní spotřebu cca 20 až 40 % z vyrobené energie. Pak se musí dodávat větší část vyrobené energie do sítě. Zabudováním akumulátor energie do FV systému se zvýší rendita celého systému na 60 – 90 %.

8.7 Využití vyrobené energie

Vyrozená energie bude sloužit v rodinném domě zejména k chodu TČ a spotřebičů v domácnosti. Využití energie na přípravu TV a otopné vody pro vytápěcí systém se jeví jako neoptimálnější využití vyrobené energie. V letních měsících bude energie využívána na chod spotřebičů v domácnosti, přípravu TV a vody na chlazení pomocí tepelného čerpadla. Způsob využití a fungování aktivního a pasivního způsobu přípravy studené vody tepelným čerpadlem bylo popsáno v předchozích kapitolách.

8.7.1 Předpokládaná spotřeba elektrických spotřebičů v objektu

Jak již bylo popsáno výše, RD bude sloužit pro bydlení 4-členné rodiny. V tabulce 18 jsou všechny hlavní spotřebiče, které slouží pro chod domácnosti. U každého spotřebiče je stanovena spotřeba a předpokládaná doba provozu. Na základě těchto údajů lze stanovit množství spotřebované elektrické energie za rok.

Tabulka 18 – Předpokládaná spotřeba spotřebičů v domácnosti [16]

Spotřebič	Příkon [W]	Doba provozu [h/den]	Roční spotřeba [kWh]
Elektrický sporák	2000	1	730
Elektrická trouba	2000	0,5	365
Rychlovarná konvice	2000	0,12	88
Mikrovlnná trouba	600	0,3	66
Kombinovaná chladnička	120	6	263
Myčka nádobí	650	1,5	356
Pračka	600	1,5	329
Žehlička	2000	0,25	182
Osvětlení 1	18	8	53
Osvětlení 2	12	4	18
TV	70	6	153
PC	80	6	175
Internet (modem)	10	24	88
Celkem			2866 kWh

8.7.2 Předpokládaná spotřeba tepelného čerpadla

RD bude sloužit pro bydlení 4-členné rodiny. Tepelná ztráta, kterou musí primární zdroj pokrýt, činí necelých 8,3 kW. Příprava teplé vody je počítána s 50 l/os.den po dobu celého roku. Délka otopného období je počítána na 248 dnů s průměrnou venkovní teplotou 3,8°. Výpočet byl proveden pomocí kalkulačky „Porovnání nákladů na vytápění TZB-info“.

Tabulka 19 – Předpokládaná spotřeba energie TČ [16]

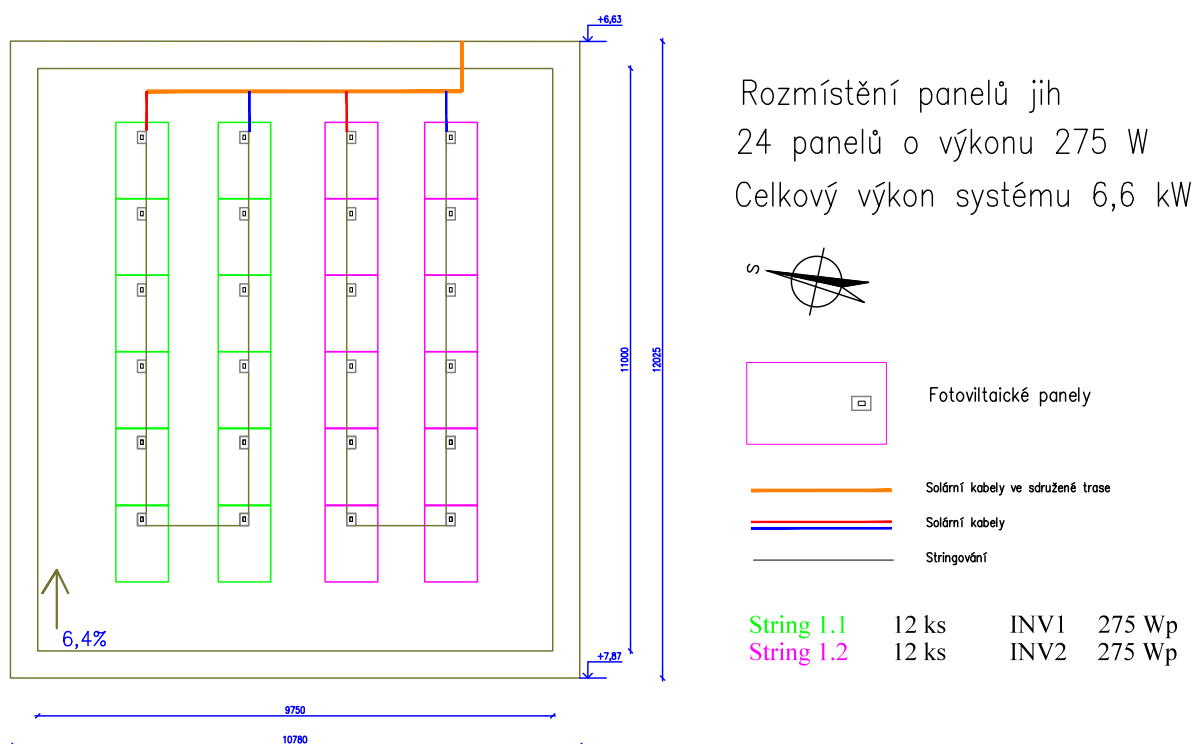
Předpokládaná spotřeba energie TČ	
Energie na vytápění	4525 kW
Energie na přípravu TV	955 kW
Celkem	5480 kW

9 NÁVRH ŘEŠENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO RD

Pro lepší demonstraci výsledků množství vyrobené energie z FV systému budou prezentovány dva způsoby rozložení FV modulů na ploché střeše RD. Tyto systémy se liší zejména orientací panelů směrem ke světovým stranám, kdy první systém je reprezentován orientací panelů směrem na JIH a u druhého systému jsou moduly směřovány na VÝCHOD/ZÁPAD.

9.1 FV systém – JIH

První systém je reprezentován orientací panelů směrem na JIH s úhlem naklonění modulů 20° (obrázek 35). FV systém se skládá z 24 modulů o jmenovitém výkonu 275 W. Struktura zapojení panelů je vytvořena pro dva hybridní inventory o výkonech $2 \times 3,03$ kW na AC straně. Pro optimální chod byly oba stringy 1,1 a 1,2 navrženy z 12 kusů FV modulů a připojeny na DC stranu obou inventurů.



Obrázek 35 - Rozložení panelů na střeše RD – orientace JIH

Na základě těchto informací lze určit ze stránek PVGIS Solar Irradiance Data množství vyrobené energie za konkrétní časové období.

9.1.1 Stanovení výkonu FV systému

Tabulka 20 popisuje parametry umístění RD na mapě, dále nadmořskou výšku, ve které se objekt nachází. Díky těmto údajům lze provést výpočet výkonu FV systému z databáze PVGIS-CMSAF. V této databázi se nacházejí údaje o množství dopadajícího globálního záření na zadané souřadnice, azimut a polohu slunce v průběhu dne a mnoho dalších. Výpočet také zahrnuje od výsledné hodnoty odhadované ztráty způsobené teplotou a nízkým ozářením, ztráty způsobené účinky úhlové odrazivosti a ostatní ztráty, do kterých patří ztráty vedením, ztráty vzniklé při ukládání energie do bateriového systému a ztráty vznikající při přeměně DC na AC napětí.

Tabulka 20 – Výroba FVE – JIH [15]

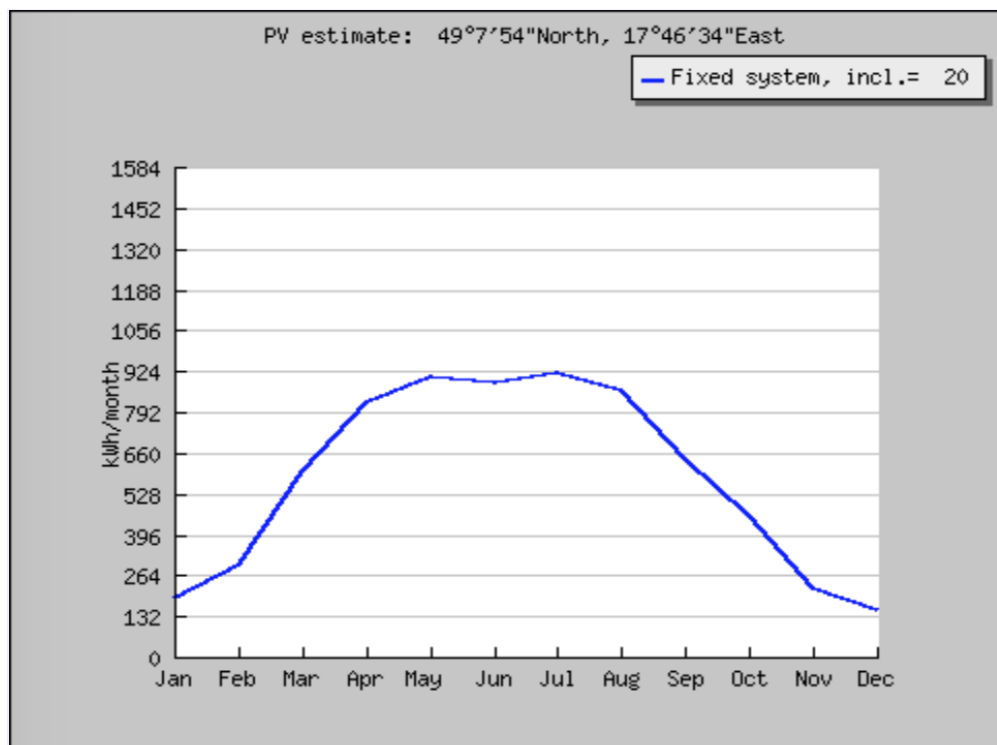
PVGIS odhad výroby elektrické energie – systém JIH	
Umístění	49°7'54" North, 17°46'34" East
Nadmořská výška	331 m. n. m.
Databáze solárního záření	PVGIS-CMSAF
Jmenovitý výkon PV systému (polykrystal)	6,6 kW
Odhadované ztráty způsobené teplotou a nízkým ozářením	7,5 %
Odhadovaná ztráta způsobená účinky úhlové odrazivosti	3,3%
Ostatní ztráty (vedení, měnič)	5
Kombinace ztrát FV systému	14,8

V další tabulce už můžeme najít předpokládaný roční zisk vyrobené elektrické energie. Součástí tabulky je průměrná denní výroba v jednotlivých měsících E_d , měsíční produkce elektrické energie E_m , průměrný denní součet globálního ozařování na čtvereční metr přijatý modulem daného systému H_d a průměrný součet globálního ozařování na čtvereční metr přijatý modulem daného systému H_m .

Tabulka 21 – Průměrné výnosy energie v průběhu roku – JIH [15]

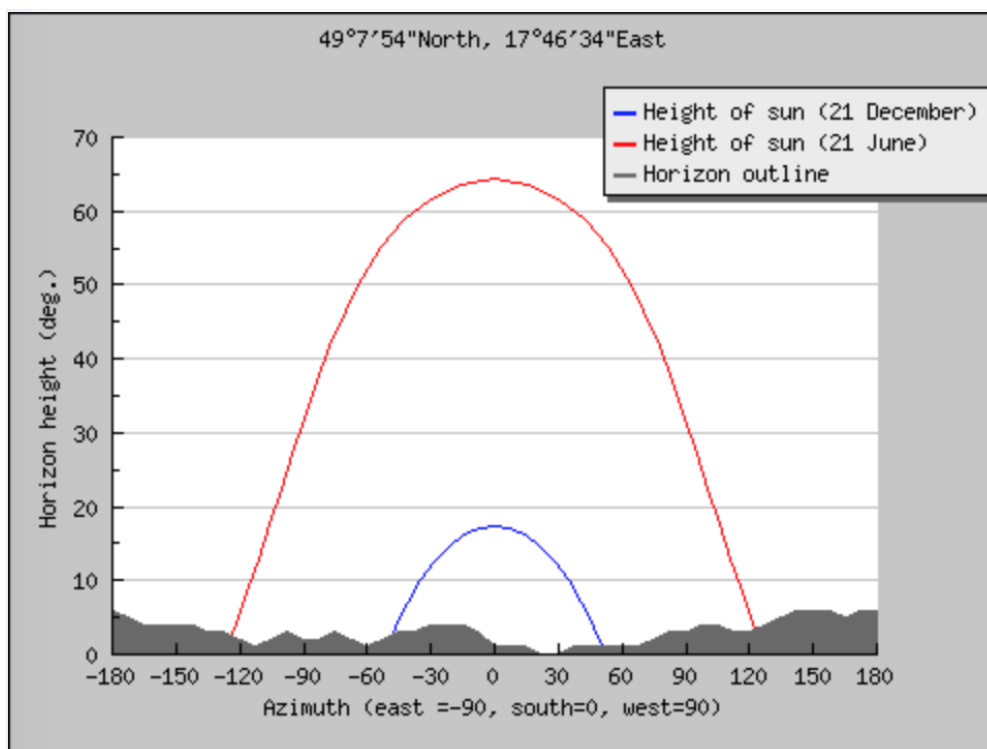
Pevný systém: Sklon=20°, orientace=7°				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m ²]	H_m [kWh/m ²]
Leden	6.17	191	1.01	31.3
Únor	10.70	301	1.76	49.4
Březen	19.40	601	3.31	102
Duben	27.50	826	4.87	146
Květen	29.20	904	5.28	164
Červen	29.60	888	5.46	164
Červenec	29.70	921	5.54	172
Srpen	27.80	860	5.13	159
Září	21.40	643	3.83	115
Říjen	14.70	454	2.53	78.5
Listopad	7.38	221	1.25	37.4
Prosinec	4.99	155	0.82	25.5
Roční průměr	19.1	580	3.41	104
Celkem za rok	6970		1240	

Graf 1 znázorňuje množství předpokládané výroby v časovém horizontu 1 rok.



Graf 1 – Předpokládaná měsíční výroba FV generátoru [15]

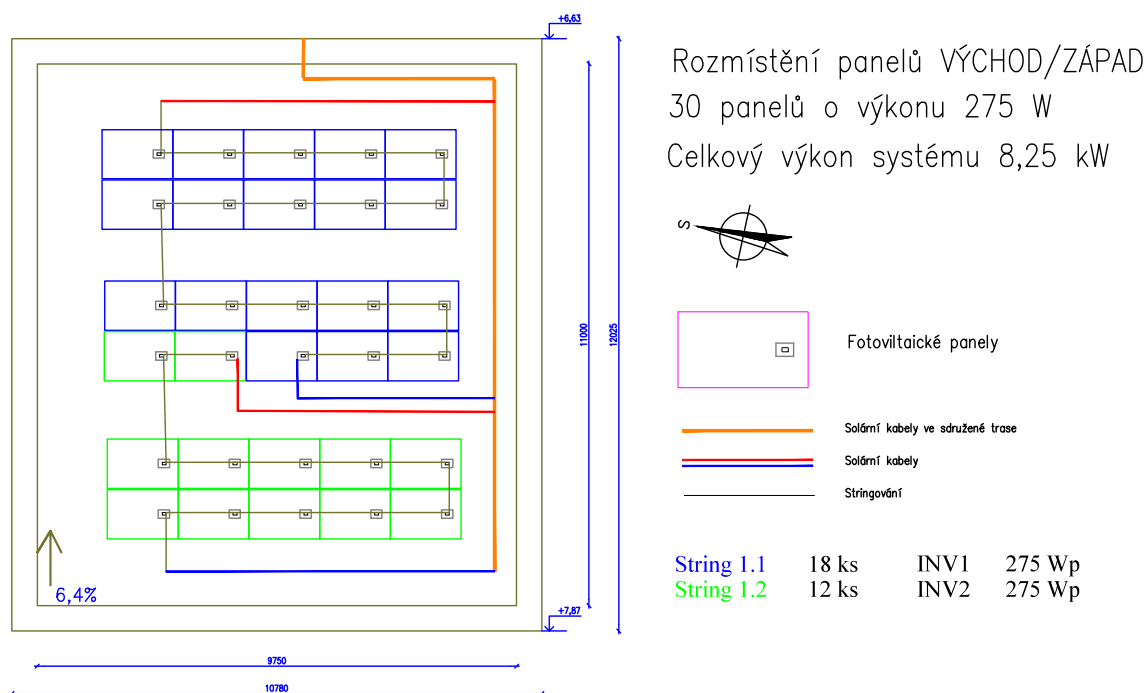
Graf 2 zobrazuje výšku slunce nad obzorem 21. června, kdy výška slunce dosahuje maxima a výšku slunce 21. prosince, kdy je výška slunce na nejnižší úrovni.



Graf 2 – Výška slunce v závislosti na ročním období [15]

9.2 FV systém – VÝCHOD/ZÁPAD

U druhého systému jsou moduly orientovány na VÝCHOD/ZÁPAD s úhlem náklonu 10° jak pro východní stranu, tak i pro západní stranu (obrázek 36). FV systém se skládá z 30 modulů o jmenovitém výkonu 275 W. Struktura zapojení panelů je vytvořena pro dva hybridní inventory o výkonech 5,04 a 3,03 kW na AC straně. Pro optimální chod byl první string 1,1 navržen s 18 kusy FV modulů a připojen na DC stranu inventoru 1. K druhému inventoru je připojen string 1,2, který je tvořen z 12 kusů FV modulů.



Obrázek 36 - Rozložení panelů na střeše RD – orientace VÝCHOD/ZÁPAD

9.2.1 Stanovení výkonu FV systému

Tabulka 22 popisuje parametry umístění RD na mapě, dále nadmořskou výšku, ve které se objekt nachází. Díky těmto základním údajům lze vzít potřebné údaje pro výpočet výkonu FV systému z databáze PVGIS-CMSAF. V této databázi se nacházejí údaje o množství dopadajícího globálního záření na zadané souřadnice, azimut a polohu slunce v průběhu dne a mnoho dalších. Výpočet také zahrnuje od výsledné hodnoty odhadované ztráty způsobené teplotou a nízkým ozářením, ztráty způsobené účinky úhlové odrazivosti a ostatní ztráty, do kterých patří ztráty vedením, ztráty vzniklé při ukládání energie do bateriového systému a ztráty vznikající při přeměně DC na AC napětí.

Tabulka 22 - Výroba FVE – VÝCHOD/ZÁPAD [15]

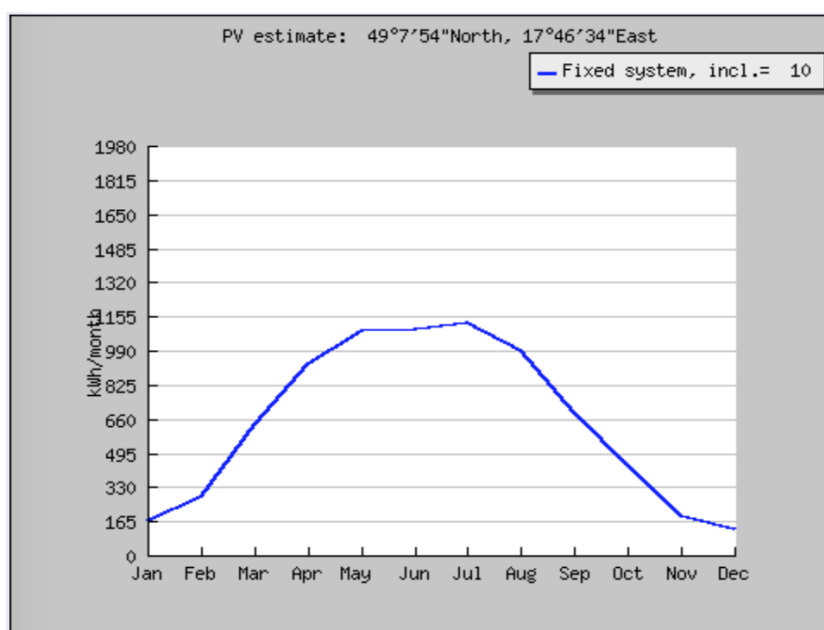
PVGIS odhad výroby elektrické energie – systém JIH	
Umístění	49°7'54" North, 17°46'34" East
Nadmořská výška	331 m. n. m.
Databáze solárního záření	PVGIS-CMSAF
Jmenovitý výkon PV systému (polykrystal)	8,25 kW
Odhadované ztráty způsobené teplotou a nízkým ozářením	7,5 %
Odhadovaná ztráta způsobená účinky úhlové odrazivosti	3,3%
Ostatní ztráty (vedení, měnič)	5
Kombinace ztrát FV systému	14,8

V další tabulce už můžeme najít předpokládaný roční zisk vyrobené elektrické energie. Součástí tabulky je průměrná denní výroba v jednotlivých měsících E_d , měsíční produkce elektrické energie E_m , průměrný denní součet globálního ozařování na čtvereční metr přijatý modulem daného systému H_d a průměrný součet globálního ozařování na čtvereční metr přijatý modulem daného systému H_m .

Tabulka 23 - Průměrné výnosy energie v průběhu roku – VÝCHOD/ZÁPAD [15]

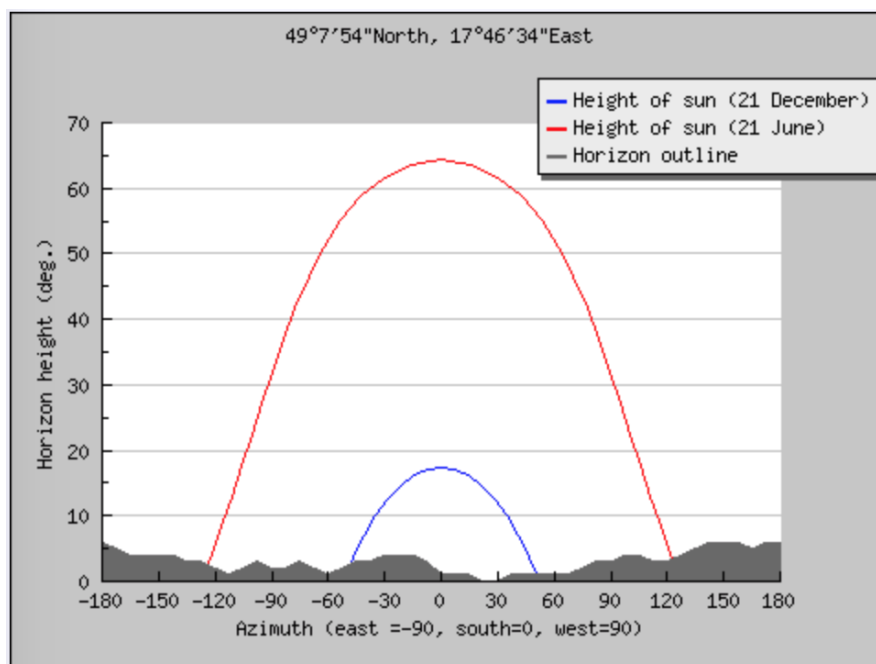
Pevný systém: Sklon=20°, orientace=7°				
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh/m ²]	H_m [kWh/m ²]
Leden	5.36	166	0.76	23.6
Únor	10.20	287	1.39	39.0
Březen	20.30	630	2.78	86.1
Duben	31.00	930	4.34	130
Květen	35.10	1090	5.02	156
Červen	36.50	1100	5.33	160
Červenec	36.20	1120	5.34	166
Srpen	31.90	988	4.67	145
Září	22.90	686	3.26	97.9
Říjen	14.10	438	1.99	61.8
Listopad	6.43	193	0.93	27.9
Prosinec	4.19	130	0.61	19.0
Roční průměr	21,2	646	3.04	92,6
Celkem za rok	7750		1110	

Graf 3 znázorňuje množství předpokládané výroby v časovém horizontu 1 rok.



Graf 3 – Předpokládaná měsíční výroba FV generátoru [15]

Graf 4 zobrazuje výšku slunce nad obzorem 21 června, kdy výška slunce dosahuje maxima a výšku slunce 21 prosince, kdy je výška slunce na nejnižší úrovni.



Graf 4 – Výška slunce v závislosti na ročním období [15]

9.3 Volba optimálního FV systému pro RD

V kapitolách 8.1 a 8.2 byly popsány dva způsoby řešení pro FV systém RD. První návrh FV systému o celkovém výkonu 6,6 kWp s orientací panelů na JIH a druhý návrh FV systému VÝCHOD/ZÁPAD dosahoval jmenovitého výkonu 8,25 kWp.

Při porovnání množství vyrobené elektrické energie nám první systém, s orientací panelů na JIH, vychází efektivnější z důvodu sklonu a orientace dopadajícího záření, než FV systém s orientací na VÝCHOD/ZÁPAD.

Pro naše účely RD budeme tedy dále počítat se systémem, který je orientovaný směrem na JIH. Množství vyrobené energie nebude přesahovat množství potřebné energie samotným objektem.

9.3.1 Typ panelu

Jako generátor energie je navrženo 24 ks polykrystalických křemíkových fotovoltaických panelů WINAICO WST-275P6, výkon 275 Wp, nominální napětí 31,3 V, nominální proud

8,81 A. Fotovoltaické panely mají rozměr 1665x999x35 mm. 2 větve (stringy) jsou složeny z 2x 12 ks FV panelů (string 1,1 a string 1,2) a jsou orientovány na JIH. Stringy jsou napojeny solárními kabely do rozvaděče RDC-RAC (do DC části). Rozvaděč je umístěn v prostoru technické místnosti.

Solární pole je tvořeno na ploché střeše. FV moduly jsou uspořádanými v souběžných řadách horizontálně na nosné konstrukci se sklonem střechy (6,4°).

Velikost napětí na DC větvích (stringu) při provozu závisí zejména na intenzitě dopadajícího slunečního záření a teplotě FV panelu. Pro účely návrhu a dimenzování zařízení je uvažována max. hodnota tohoto napětí ve výši 700V.

AC výstup ze střídače je jištěn v rozvaděči RDC-RAC (AC část) a propojen do společného třífázového systému.

Tabulka 24 – Parametry stringů

String č.	Počet FV panelů ve stringu	Výkon stringu	Jm. napětí	Napětí na-prázdko	Jm. proud
1,1	12	3,3 Wp	375,6 V	462 V	8,81 A
1,2	12	3,3 Wp	375,6 V	462 V	8,81 A

9.4 Rozvaděč RDC-RAC

Rozvaděč RDC-RAC je navržen pro nástěnné provedení, krytí IP66 a je umístěn v prostoru technické místnosti na stěně.

Rozvaděč je rozdělený na dvě části. První část je určena pro stejnosměrný rozvod (DC). V této části bude rozvodnice vybavena pojistkovým odpojovačem s pojistkami pro jištění stringů a přepět'ovou ochranou. Při standardní manipulaci s pojistkami je nutno nejprve vypnout střídač na AC straně, poté odepnout stejnosměrný vypínač na střídači.

Druhá část rozvodnice je určena pro střídavý rozvod (AC). Zde bude instalované vyvedení výkonu do DC, AC jištění střídače a ochrana proti přepětí AC strany.

9.5 Střídač napětí

Pro přeměnu DC napětí na AC jsou instalovány dva třífázové hybridní střídače Fronius SYMO HYBRID 3.0.3-S, max. výstupní výkon je 3000 W, max. výstupní proud 8,3 A, max.

vstupní výkon 5000 Wp, max. vstupní napětí 1000V, výstupní napětí 400 V/ 230V, 50 Hz AC.

Střídač v navržené HFVE zajišťuje přímou dodávku vyrobené solární elektřiny v automatickém režimu nařazování na místní síť 3x400V, 50Hz. [21]

Bezpečné odpojení na DC straně střídače zajistí elektronický mechanický vypínač ESS, který je součástí dodávky střídače. Střídač je vybaven bezpečnostní podpěťovou, nadpěťovou, podfrekvenční a nadfrekvenční ochranou, které automaticky odpojí solární generátor (střídač) od sítě při překročení nastavených parametrů sítě. Jejich software je upraven a nastaven dle podmínek použití v sítích ČR.

FV panely budou napojeny ke střídači (přes rozvaděč RDC-RAC) solárními kabely (+ a -) 6mm² a strana AC ze střídače bude připojena kabelem CYKY-J 5x2,5mm² do rozvaděče RDC-RAC (do AC části).

Při montáži a uvedení do provozu je nutné dodržet pokyny výrobce (Fronius). Při jakékoliv manipulaci, opravě, údržbě apod. se střídačem, je nutné nejdříve vypnout AC stranu a teprve potom DC stranu!!!

Přestože střídač sám hlídá parametry napájecí sítě a sám sebe v případě potřeby odpojí, je podle požadavku provozovatele distribuční soustavy, před napojením FV elektrárny na distribuční síť v domovním rozvaděči nutné umístění monitorovacího napěťového relé (Schrack) a frekvenčního relé, zajišťující ochranu sítě před zpětnými vlivy zdrojů energie. Relé v sobě sdružují tyto ochranné prvky:

- nadfrekvenční a podfrekvenční ochranu
- přepěťovou a podpěťovou ochranu
- hlídání sledu fází
- ochranu proti napěťové nesymetrii

Požadavky na kvalitu vyrobené elektrické energie:

Tabulka 25 – Požadavky na kvalitu vyrobené energie

Parametr	Max. nastavení pro vypnutí	Max. vypínací čas
Podpětí 1. stupeň $U <$	$0,9U_n$	$t = 0,5s$
Přepětí 1. stupeň $U >$	$1,1 U_n$	$t = 0,5s$
Podfrekvence 1. stupeň $f <$	48,0Hz	$t = 0,5s$
Nadfrekvence 1. stupeň $f >$	50,2Hz	$t = 0,5s$

Zapůsobením této ochrany dojde k odpojení celého systému FV panelů od sítě pomocí stykače, který je v bezporuchovém stavu sepnutý.

Správnost nastavení relé popř. ochrany střídače musí ověřit tzv. „Ochranář“, což je pracovník autorizované zkušebny nebo provozovatel distribuční sítě, vybavený zařízením, které je schopno ověřit, zda FVE bude odpojena při výpadku příslušné fáze sítě nebo při nedodržení mezních hodnot napětí. Tyto parametry platí jak ze strany výroby (HFVE), tak ze strany distribuční sítě.

9.5.1 Fronius Smart Meter

Fronius Smart Meter je obousměrný elektroměr, který optimalizuje vlastní spotřebu a zaznamenává křivku zatížení domácnosti. Se střídačem „komunikuje“ pomocí Modbus RTU protokolu. V případě, kdy by se spotřeba domácnosti blížila k nule, baterie jsou nabitě a Slunce svítí, je schopný sepnout ohřev vody. [21]

9.6 Bateriový systém

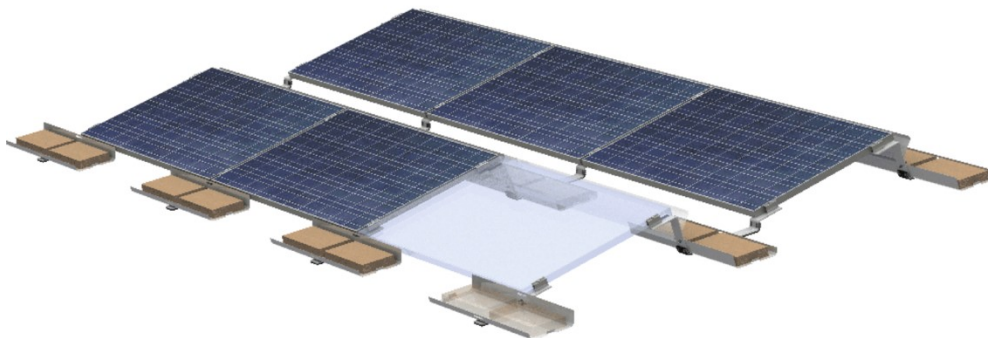
Ke střídačům Fronius SYMO HYBRID 3.0.3-S patří bateriový pack Fronius Solar Battery 12.0. Jedná se LiFePO4 bateriový systém, disponuje dlouhou životností až 8000 cyklů, krátkou dobou nabíjení a možností hluboké míry vybití. Využitelná kapacita baterie je 12 kWh energie. Rozsah napětí pro bateriový systém se pohybuje od 320 - 460 V. [22]



Obrázek 37 - Bateriový rack Fronius Solar Battery 12.0

9.7 Konstrukce

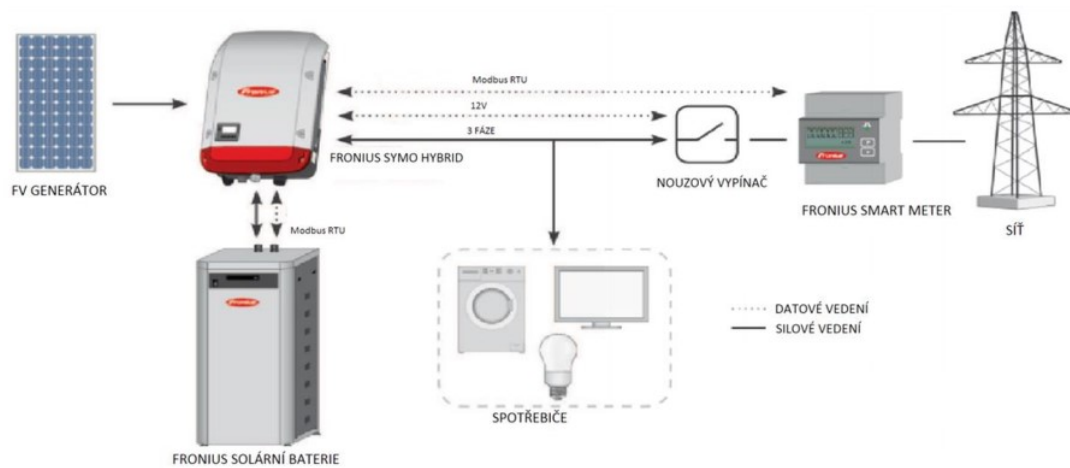
FV systém bude instalován na plochou střechu s orientací na JIH. Konstrukční systém byl vybrán s ohledem na samotnou orientaci modulů a jejich sklonu. Na základě těchto dvou parametrů byl vybrán konstrukční systém od firmy Alumero s obchodním názvem „Aero-compact mounting systém“ ve verzi 2.1. Tento systém má oproti předchůdci rychlejší montážní čas, kdy 1kWp dokáží 2 lidé nainstalovat do 5 min. Další výhodou je větší škálovatelnost nastavení vzdálenosti jednotlivých řad. Zvýšila se i možnost zvolení optimálnějšího sklonu panelů, který nyní činí 18 – 25°. Konstrukce je nutné zatížit zátěží v připravených drážkách betonovými tvárnicemi. Tím je konstrukce dostatečně zabezpečena před větrným zatížením.



Obrázek 38 - Konstrukční systém pro ploché střechy AeroCompact 2.1 [25]

9.8 Schéma zapojení systému

Na obrázku 39 lze vidět vzorové zapojení hybridního systému od firmy FRONIUS. Systém se skládá z FV generátoru, střídačů Fronius SYMO HYBRID 3.0-3 S, bateriového systému o kapacitě 12 kWh a Fronius SMART METERu, který slouží k řízení přetoků do rozvodné sítě.



Obrázek 39 – Blokové schéma hybridního systému FRONIUS s bateriovou zálohou [23]

10 AKUMULACE ENERGIE A MOŽNOSTI VYUŽITÍ

Možnosti akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů již byly popsány. Pro účely zkoumaného rodinného domu budeme uvažovat dva hlavní způsoby akumulace vyrobené elektrické energie z FV generátoru. Prvním způsobem bude uložení energie do elektro-chemických článků. V kapitole 8.1 byl navržen k tomu určený systém od firmy Fronius. Kapacita bateriového packu je 12 kWh. Pro přeměnu DC napětí na AC napětí jsou použity dva inventory Fronius SYMO Hybrid 3.0.3 – S. Výstup na straně AC je 2x 3 kW.

Druhým způsobem akumulace energie z FV generátorů je energii uložit do vody. Systém byl navržen, aby bylo možné využívat přebytky jak v topném období k výrobě teplé vody pro otopný systém a přípravu TV, tak i přípravě studené vody pro chlazení. K tomuto účelu slouží akumulární nádoba na teplo a chlad.

10.1 Simulace HFVE systému v programu PV*SOL

Simulační program PV*SOL se vyvíjí a prodává od roku 1998 společností „Valentine Energie Software GmbH“. PV*SOL je primárně zaměřen na projektanty a montéry. Grafické rozhraní je vlídné, ale vstupy a procesy nejsou vždy samovysvětlující. Má několik jazykových mutací včetně angličtiny.

V PV*SOL lze modelovat systémy jak grid on, tak i systémy off-grid, mimo toho se berou v úvahu přetoky energie do rozvodné sítě. Obsahuje velmi rozsáhlé a často aktualizované databáze FV modulů, střídačů a bateriových systémů.

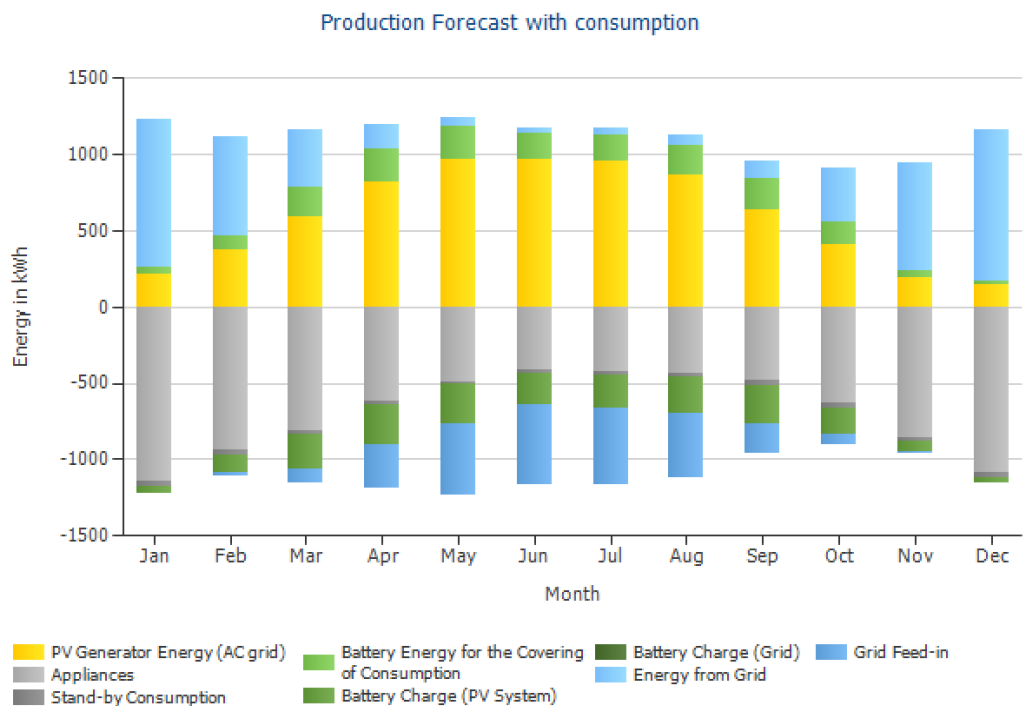
V simulačním programu byl vytvořen vzorový projekt, který popisuje navržený HFVE pro zkoumaný objekt. Simulace byla navržena na FV systém připojený k rozvodné síti s využitím bateriového systému. Klimatická data byla nastavena pro nejbližší možnou lokalitu, která se nacházela v databázi. Z kapitoly 8.7 byla určena předpokládaná spotřeba elektrických spotřebičů (spotřeba činí 2866 kWh/rok) a také spotřeba vyprodukovaná na přípravu TUV a TV pro RD (spotřeba vypočítána na 5480 kWh/rok). Celková předpokládaná spotřeba elektrické energie byla vypočítána tedy na 8346 kWh.

Specifikace, orientace a náklon FV elektrárny byl vybrán dle návrhu, který byl popsána v kapitole 9.1 FV systém – JIH. Na základě těchto nastavení byla provedena simulace využití HFVE.

10.1.1 Výsledek simulace programu PV*SOL a využití HFVE

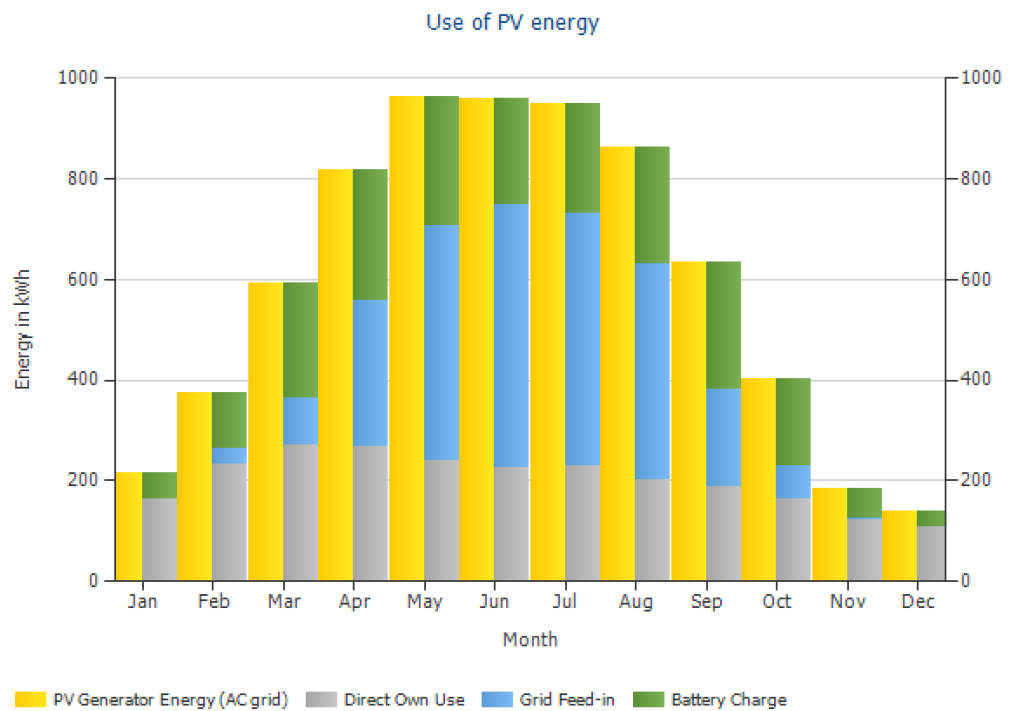
Výsledky provedené simulace jsou prezentovány ve formě grafů. Ty popisují 4 hlavní porovnání mezi výrobou z FV systému, spotřebou energie pro vlastní využití, uložení vyrobené energie do baterií a množství přebytků energie, která je pouštěna do rozvodné sítě.

Graf 5 popisuje produkční prognózu výroby elektrické energie z FVE se spotřebou. Z grafu lze vypočítat, že v měsících květen – srpen dokáže navržený systém pracovat téměř bez napojení na rozvodnou síť. V těchto měsících jsou díky vysokému množství dopadajícího záření větší přebytky, které systém nedokáže využít, a proto posílá energii do bateriového systému nebo prodává energii do rozvodné sítě. V ostatních měsících je systém nucen využívat více energii z rozvodné sítě. Největší nedostatek energie z FVE je v měsících listopad – leden.



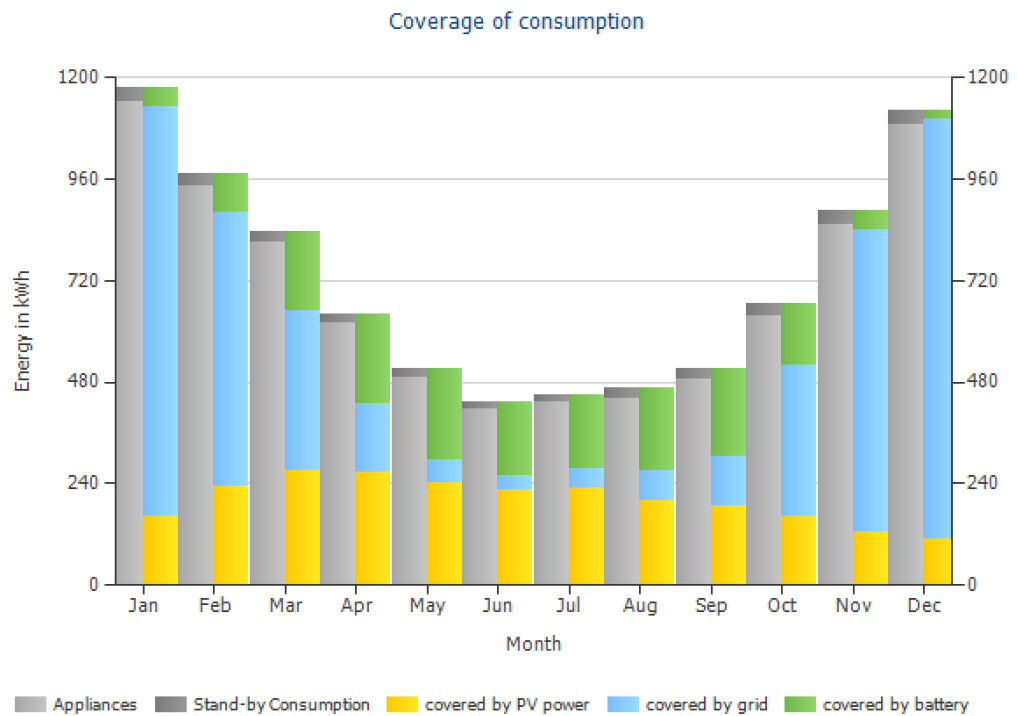
Graf 5 – Produkční prognóza výroby FV energie se spotřebou [26]

Graf 6 zobrazuje podrobné využití vyrobené energie z FV generátoru. Vyrobená energie je využita zejména pro vlastní spotřebu objektu, nabíjení bateriového systému a přebytečnou energii pošláš systém do rozvodné sítě.



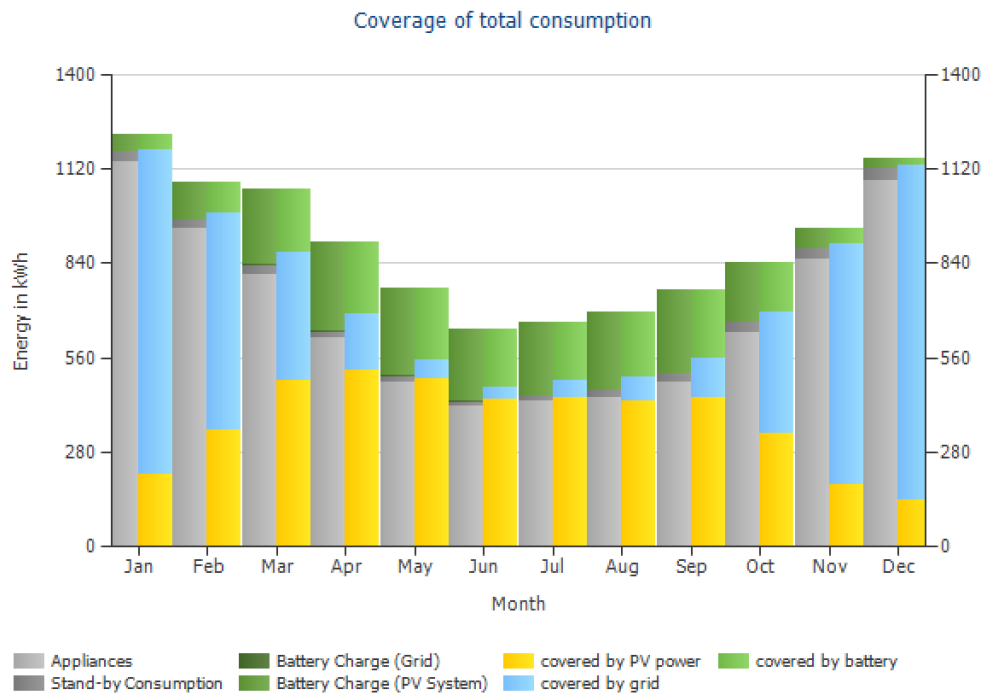
Graf 6 – Využití FV energie [26]

Graf 7 popisuje podíl pokrytí vyrobené energie a spotřeby zkoumatého objektu. V měsících květen – srpen dokáže systém téměř z 90 % pokrýt veškerou spotřebu RD. V ostatních měsících je potřeba hodně využívat odběr energie z rozvodné sítě.



Graf 7 – Pokrytí spotřeby HFVE [26]

Graf 8 slučuje více grafů do jednoho a znázorňuje pokrytí celkové výroby a spotřeby HFVE.

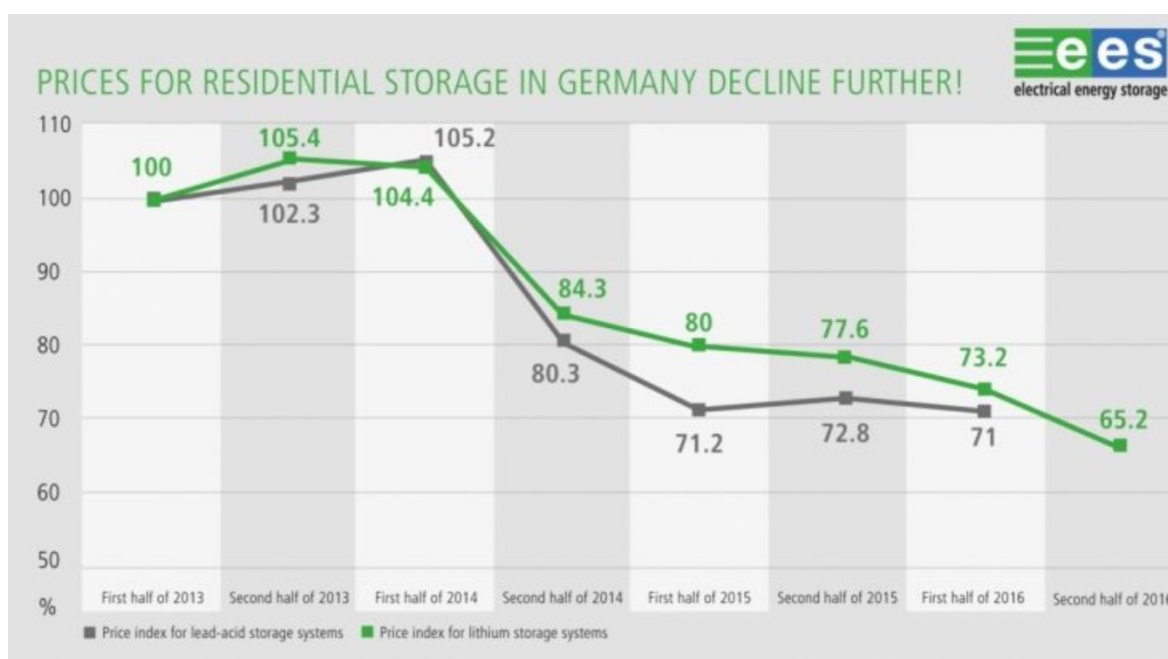


Graf 8 – Celková výroba a spotřeba HFVE [26]

11 EKONOMICKO TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

11.1 Ekonomické podmínky provozování FV systému

Na základě provedené simulace FV systému pro RD, popsané v kapitole 10.2 Simulace HFVE systému v programu PV*SOL, lze posoudit, zda se vyplatí návrh a provozování FV generátoru s bateriovým systémem pro akumulaci energie. Zájem o instalace domácích bateriových systémů strmě stoupá. Tento zájem je zejména díky nižším nákladům na instalaci SSE. Celá situace s těmito systémy se blíží k bodu, kdy bude dosažena „bateriová parita“. To znamená, že cena elektřiny ze sítě bude vyšší než náklady na výrobu vlastní energie z FV generátoru a její akumulaci s SSE pro pozdější spotřebu.



Obrázek 40 – Vývoj cen SSE systémů v Německu [24]

Pro představu uvádím vývoj cen SSE systému od roku 2013. Z grafu lze vyčíst, že cena se rok od roku výrazně snižuje. V rozmezí roku 2014 – 2016 klesla cena těchto systémů o více jak 30 %.

Z kalkulátoru srovnání cen elektrické energie byla zjištěna průměrná cena za 1 kWh na 5 Kč bez DPH. Budeme-li vycházet z hodnot simulace, můžeme říci, že FV systém dokáže vyprodukovat 7085 kWh/rok. Z vyrobené energie dokáže objekt využít 2410 kWh/rok pro vlastní spotřebu. Díky velkým přebytkům a možnosti tuto energii akumulovat do baterio-

vého systému lze dle simulace zpracovat 2081 kWh/rok. Zbylou vyrobenou energií lze prodávat do rozvodné sítě. Její hodnota je 2595 kWh/rok. Pro lepší přehlednost jsou všechny hodnoty uvedeny v tabulce 26.

Tabulka 26 – Výsledky simulace

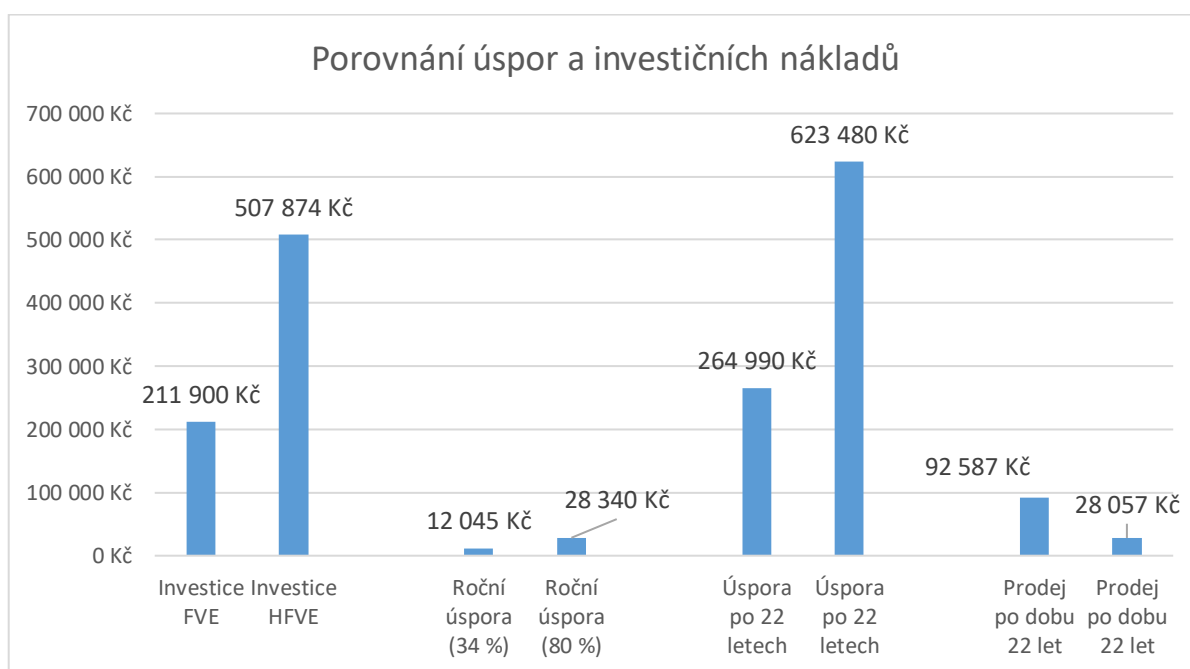
Výsledky simulace v programu PV*SOL	
Dodaná energie FV systému	7085 kWh/rok
Vlastní využití energie	2410 kWh/rok
Nabíjení baterie	2081 kWh/rok
Rozvodná síť	2595 kWh/rok

Na základě těchto hodnot vychází podíl vlastní spotřeby z FV systému pro vlastní využití na 34 %. Započítáme-li do podílu vlastní spotřeby i systém pro akumulaci energie do baterií, zvýší se tento podíl na 63,4 %. Z těchto výsledků můžeme říci, že navržený hybridní FV systém nám dle simulace dokáže i s použitím dodatečné akumulace do zásobníku pokrýt až 80 % nákladů elektrické energie.

Tabulka 27 – Investiční náklady HFVE

RD Pozlovice					
HFVE - Fotovoltaický systém s bateriovým úložištěm					
Číslo položky	Název položky	MJ	Množství	cena / MJ	Cena celkem (Kč)
Technická místnost					507 873,94
Panely					
	Fotovoltaický panel, výkon 275 Wp, polykrystal	ks	24,0	5 600,00	134 400,00
	Konstrukce pro FV modul, plochá střecha. Orientace JIH	ks	24,0	1 100,00	26 400,00
	El. zapojení FV modulu	ks	24,0	50,00	1 200,00
	Montáž FV modulů	ks	24,0	350,00	8 400,00
Střídače					
	Hybridní střídač Fronius SYMO HYBRID 3.0-3-S	ks	2,0	37 733,85	75 467,70
	Osazení střídače	ks	2,0	750,00	1 500,00
	Zapojení střídače AC, DC	ks	2,0	500,00	1 000,00
SSE					
	Fronius SOLAR BATTERY 12.0	ks	1,0	213 006,24	213 006,24
	Osazení	ks	1,0	3 500,00	3 500,00
	Zapojení	ks	1,0	1 500,00	1 500,00
Elektromontáže					
	Rozvaděč RDC-RAC	kpl	1,0	30 000,00	30 000,00
	Úložné konstrukce, krabice	kpl	1,0	4 000,00	4 000,00
	Kabely, šňůry	kpl	1,0	5 000,00	5 000,00
	HOP (hlavní ochranná přípojnice)	kpl	1,0	2 500,00	2 500,00
CELKEM					507 873,94

V tabulce 27 jsou popsány investiční náklady na pořízení hybridního FV systému s akumulací do baterií. Očekávaná výroba z FV systému je 7085 kWh/rok. Budeme-li předpokládat cenu za 1 kWh 5 Kč bez DHP, lze vypočítat, uvažujeme-li s podílem vlastní spotřeby FV systému pouze 34 %, že celková roční úspora energie je 12 045 Kč. Díky doplnění o SSE může vzrůst vlastní spotřeba objektu až na 80 %. Budeme-li počítat s touto hodnotou, celková roční úspora vzroste na 28 340 Kč/rok. Zbylá energie je prodávána dodavateli elektrické energie. Cena za výkup je v dnešní době směšná. Pohybuje se od 0,5 – 0,9 Kč za 1 kWh. Za prodej přebytků z FVE lze vyinkasovat, při ceně za 1 kWh = 0,9 Kč, 1276 Kč/rok.



Graf 9 – Porovnání úspor a investičních nákladů

V roce 2016 byl vydán aktualizovaný dotační program „Nová zelená úsporám“ 2016 - 2021. Díky němu je možné využít dotaci pro připravovaný FV systém. Ten ovšem musí splňovat kritéria nastavených podmínek. Navržený HFVE dosahuje na podporu C 3.6. Jedná se o klasickou FV elektrárnu s ukládáním přebytku do baterií. Nutné splnění podmínek:

- Nesmí být maximální instalovaný výkon systému vyšší než 10 kWp.
- Podpora se vztahuje na systémy připojené k distribuční síti po 1.1.2016
- O dotaci může vlastník domu požádat na jeden rodinný dům pouze jednou za dobu trvání programu
- FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 3000 kWh/rok

Splněním výše zmíněných podmínek lze získat podporu ve výši 50 % investičních nákladů, maximálně však 100 000 Kč.

Ziskem plné výše podpory klesnou investiční náklady na konečných 407 874 Kč. Díky celkové roční úspoře lze ušetřit 29 616 Kč/rok. Návratnost investice do HFVE s pomocí dotačního titulu je vypočítána na **13,77 roku**.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala zejména popisem současných použitelných obnovitelných technologií pro oblast rodinných domů. Při stavbě rodinného domu je kladen důraz na energetickou spotřebu a jeho vliv na životní prostředí. Je důležité, aby jednotlivé komponenty domu byly vyvážené, vzájemně spolupracovali a byl vyladěn dle potřeb majitele.

V teoretické části byly popsány základy stavební fyziky objektů, jejich tepelné ztráty a tepelné zisky. Pro oblast rodinných domů byly popsány možnosti využití obnovitelných zdrojů, typy tepelných čerpadel, jejich základní vlastnosti a funkčnost. Dopadající sluneční záření lze transformovat na elektrickou formu energie, kterou lze dále využít pro chod spotřebičů v domácnosti. Byly popsány aktuálně používané výrobní technologie FV článků, možnosti jejich specifického využití v závislosti na použité výrobní technologii a také předpokládaný vývoj těchto technologií v blízké budoucnosti. V dnešní době lze rozdělit FV systémy do dvou základních kategorií. ON GRID systémy jsou připojeny k rozvodné síti a OFF GRID systémy jsou energeticky soběstačné ostrovní systémy, které pracují mimo rozvodnou síť. Ty fungují díky možnosti ukládat vyrobenou elektrickou energii do systému určené pro skladování energie. Byly popsány hlavní komponenty FV systémů, jejich vlastnosti, pravidla jejich použití pro konkrétní aplikace a základní možnosti zapojení.

Praktická část byla zaměřena na využití získaných informací z teoretické části. Pro praktickou aplikaci popsaných technologií byl vybrán aktuálně projektovaný rodinný dům umístěný ve Zlínském kraji, v obci Pozlovice. Tepelné ztráty rodinného domu byly vypočítány na 8,3 kW a tepelné zisky na 8,5 kW. Na základě těchto hodnot bylo navrženo tepelné čerpadlo země/voda, jako primární zdroj tepla a chladu. Byla vypočítána potřebná minimální hloubka hlubinného vrtu. Systém s tepelným čerpadlem byl navržen zejména pro pokrytí tepelných ztrát objektu, přípravu teplé vody a v letním období využití reversního chodu čerpadla pro přípravu vody pro systém chlazení. Rodinný dům využívá rozvodů tepla a chladu pomocí podlahového vytápění, které je součástí 1NP a 2NP.

Hlavní část byla zaměřena na využití navrženého FV systému pro vzorový rodinný dům. Byly popsány obecné podmínky pro montáž a instalaci, orientace a sklon modulů, překážky, stínění a ekonomické podmínky provozování FV systémů. Byly vytvořeny dva vzorové návrhy rozmístění FV modulů na ploché střeše domu, vypočítány roční zisky a vybrán ten systém, jehož efektivita využití dopadající energie byla vyšší. FV systém byl rozšířen o bateriový systém sloužící k uložení elektrické energie. Byly vybrány a popsány komponenty

HFVE a tento návrh byl přenesen do simulačního programu PV*SOL. Výsledek simulace popisuje čtyři hlavní porovnání mezi výrobou z FV systému, spotřebou energie pro vlastní využití, uložení vyrobené energie do baterií a množství přebytků energie. Na konci diplomové práce byla provedena kalkulace investičních nákladů HFVE s využitím dotačního systému „Nová zelená úsporám“ a vypočítána návratnost investice na 13,77 roku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [2] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu. Přeložil Václav LOSÍK. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [3] GARLÍK, Bohumír. Inteligentní budovy. Praha: BEN - technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-440-8.
- [4] Existující normové a legislativní podklady.
- [5] Energetická náročnost budov [online]. TZB-info, 2016 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
- [6] Kategorizace rodinných domů [online]. Praha: Petr Škvor, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.precizni-drevostavby.cz/web/page/42-inspirace-kategorizace-RD-podle-energeticke-narocnosti.aspx>
- [7] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [8] TZB-info: Součinitel prostupu tepla [online]. Praha: Topinfo.cz, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [9] TZB-info: Tepelné ztráty objektu [online]. Praha: Topinfo.cz, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [10] TZB-info: Tepelné zisky objektu [online]. Praha: Topinfo.cz, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [11] Karlík, R. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada Publishing, a. s., 2009. ISBN: 978-80-247-2720-2.
- [12] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [13] Topení ze slunce. Cez [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>

- [14] Ukládání energie [online]. Praha: Karel Murtinger, 2011 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektriny-z-fotovoltaickych-a-vetrných-elektren.aspx>
- [15] PVGIS - Solar Radiation [online]. EU: JRC, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [16] TZB-info: Porovnání nákladů na vytápění [online]. Praha: Topinfo.cz, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [17] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2 Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2011
- [18] ČSN EN 12831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [19] ČSN EN 06 0830: Tepelné soustavy v budovách - Zabezpečovací zařízení. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [20] *Winaico - Fotovoltaický modul: Winaico WST 275P6* [online]. Německo: Winaico, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.winaico.com/fileadmin/redaktion/downloads/Datenblaetter_2017/AUS/WINAICO_d220_Datasheet_WST_P6_AUS_1216_mailing.pdf.
- [21] *Fronius: Hybrid SYMO 3.0-3 S* [online]. EU: Fronius Internation, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-BF968AAD-44E01148/fronius_international/hs.xsl/83_35333_ENG_HTML.htm#.WR_3EGiGNdg
- [22] *Fronius: Solar Battery 12* [online]. EU: Fronius Internation, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7EFF9842-1E55BAC5/fronius_international/hs.xsl/83_35480_ENG_HTML.htm#.WR_3NmGNdg
- [23] *Fronius: Schéma zapojení hybridního systému* [online]. ČR: Fronius Internation, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.fronius.cz>
- [24] *Ceny SSE* [online]. ČR: solárninovinky.cz, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017051603/10-ceny-domacich-baterii-poklesly-co-v-budoucnosti-potahne-boom-domacich-systemu-akumulace-energie>
- [25] *Konstrukce pro FV modul: Aerocompact 2.1* [online]. ČR: Alumero, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.alumero.at/en/Products/solar/Aerocompact>

- [26] *Simulační program: PV*SOL* [online]. ČR: Valentin-software, 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FV	Fotovoltaický (systém).
ČSN	Československá státní norma.
kWh	KiloWatthodina.
W	Watt.
W_p	Watt peak.
J	Joule.
TČ	Tepelné čerpadlo.
TUV	Teplá užitková voda.
TV	Teplá voda.
STC	Standardní testovací podmínky (Standard Test Condition).
FVE	Fotovoltaická elektrárna.
IP	Krytí (International protection).
AC	Střídavý proud (Alternating current).
DC	Stejnoseměrný proud (Direct current).
VF	Vysokofrekvenční (transformátor).
NF	Nízkofrekvenční (transformátor).
V-A	Volt-ampérová (charakteristika).
NP	Nadzemní podlaží.
RD	Rodinný dům.
BCM	Burner Cascade Manager.
HFVE	Hybridní fotovoltaická elektrárna.
SSE	Systém pro skladování energie.
RAC	Rozvaděč střídavého proudu.
RDC	Rozvaděč stejnosměrného proudu.

TV Televize.

PC Personal Computer.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Ztráty dopadajícího záření při průchodu atmosférou	26
Obrázek 2 - Schéma dvouokruhového kapalinového solárního systému [13]	27
Obrázek 3 - Základní rozdělení fotovoltaických systému [7]	28
Obrázek 4 - Způsob fungování krystalického FV článku [7]	29
Obrázek 5 - Náhradní schéma zapojení a charakteristická křivka [7]	30
Obrázek 6 - Rozšířené schéma zapojení FV článku [7].....	31
Obrázek 7 - Druhy článků [7].....	35
Obrázek 8 - Čtvercový, pseudočtvercový a kulatý monokrystalický článek [7]	36
Obrázek 9 - Polykrystalický plátek s/bez antireflexní vrstvy [7]	37
Obrázek 10 - Q-cells článek	37
Obrázek 11 - Semitransparentní tenkovrstvé moduly [7].....	38
Obrázek 12 - Struktura vrstev hybridního článku HIT [7]	39
Obrázek 13 - Fresnelova čočka koncentruje světlo na FV článek [7]	40
Obrázek 14 - Srovnání tloušťky, spotřeby a en. nákladů druhů FV článků [7]	41
Obrázek 15 - Propojení článků standartním modulem [7].....	46
Obrázek 16 - Připojovací krabice a konektory chráněné proti dotyku [7]	47
Obrázek 17 - Druhy montáže [7].....	48
Obrázek 18 - Rozdělení FV střídačů [7]	50
Obrázek 19 - Přehled technologií ukládání elektrické energie [7].....	52
Obrázek 20 - Konstrukce olověného akumulátoru [7].....	52
Obrázek 21 - Degradace olověných akumulátorů podle počtu cyklů [7]	53
Obrázek 22 - Konstrukce lithium-iontových článků [7].....	54
Obrázek 23 - Počet cyklů v závislosti na hloubce vybití [7]	55
Obrázek 24 – Půdorys 1NP	59
Obrázek 25 – Půdorys 2NP	61
Obrázek 26 – Tabulka PROTECH – výpočtové teploty.....	66
Obrázek 27 – Tabulka vypočítaných tepelných ztrát pro jednotlivé místnosti	66
Obrázek 28 – Tabulka celkové tepelné ztráty objektu.....	66
Obrázek 29 – Tabulka průměrné tepelné zisky pro jednotlivé místnosti v měsíci červenec. Výpočet proveden v programu PROTECH	67
Obrázek 30 – Celkové tepelné zisky rodinného domu z osvětlení.	68
Obrázek 31 - Vystrojení geotermálního vrtu - sonda.....	70

Obrázek 32 – Schéma zapojení systému s TČ	72
Obrázek 33 - Zastínění u vyvýšených FV zařízení	80
Obrázek 34 - Průměrný roční úhrn globálního záření [7].....	81
Obrázek 35 - Rozložení panelů na střeše RD – orientace JIH	84
Obrázek 36 - Rozložení panelů na střeše RD – orientace VÝCHOD/ZÁPAD.....	88
Obrázek 37 - Bateriový rack Fronius Solar Battery 12.0	93
Obrázek 38 - Konstrukční systém pro ploché střechy AeroCompact 2.1 [25].....	94
Obrázek 39 – Blokové schéma hybridního systému FRONIUS s bateriovou zálohou [23]	95
Obrázek 40 – Vývoj cen SSE systémů v Německu [24]	100

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Tepelné odpory při přestupu tepla dle ČSN 73 0540-3	17
Tabulka 2 - Požadované a doporučené hodnoty U-hodnoty [8].....	18
Tabulka 3 - Nejdůležitější charakteristické veličiny FV článků [7]	33
Tabulka 4 - Maximální účinnosti výrobních technologií FV článků [7]	41
Tabulka 5 - Okrajové podmínky lokality.....	58
Tabulka 6 - Dispozice pokojů – 1NP	60
Tabulka 7 - Dispozice pokojů – 2NP	62
Tabulka 8 - Složení konstrukce – podlaha.....	62
Tabulka 9 - Složení konstrukce – strop.....	62
Tabulka 10 - Složení konstrukce – strop kuchyň	63
Tabulka 11 - Složení konstrukce – stěna	63
Tabulka 12 - Požadavky na součinitel prostupu tepla	64
Tabulka 13 - Požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla	65
Tabulka 14 - Průměrný součinitel prostupu tepla	65
Tabulka 15 – Celkové ztráty vedení potrubí	74
Tabulka 16 – Ztráty podlahového vytápění	75
Tabulka 17 – Investiční náklady na systém vytápění a chlazení.....	78
Tabulka 18 – Předpokládaná spotřeba spotřebičů v domácnosti [16]	83
Tabulka 19 – Předpokládaná spotřeba energie TČ [16]	83
Tabulka 20 – Výroba FVE – JIH [15]	85
Tabulka 21 – Průměrné výnosy energie v průběhu roku – JIH [15].....	86
Tabulka 22 - Výroba FVE – VÝCHOD/ZÁPAD [15]	88
Tabulka 23 - Průměrné výnosy energie v průběhu roku – VÝCHOD/ZÁPAD [15]..	89
Tabulka 24 – Parametry stringů	91
Tabulka 25 – Požadavky na kvalitu vyrobené energie	92
Tabulka 26 – Výsledky simulace	101
Tabulka 27 – Investiční náklady HFVE	101

SEZNAM PŘÍLOH

P I Půdorys 1NP, 2NP

P II PROTECH

P III Schéma zapojení pro systém vytápění a chlazení

P IV FV systém

P V Technické listy použitých zařízení

Poznámka: přílohy jsou pouze v elektronické podobě

