

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH ZÁLOŽNÍHO ENERGETICKÉHO ZDROJE PRO RODINNÝ DŮM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR LIČMAN

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Petr Ličman

ID: 134543

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Návrh záložního energetického zdroje pro rodinný dům

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na vytvoření komplexního projektu záložního napájení pro malý rodinný dům a to s využitím obnovitelných zdrojů energie, především sluneční energie. Cílem je zhodnotit výchozí stav a spotřebu objektu, vytipovat klíčové spotřebiče s nutností zálohování, určení rizik při výpadku napájení a jejich četnosti. Dále pak samostatný návrh fotovoltaické nebo větrné elektrárny s akumulací a možností paralelní spolupráce se sítí a práce v ostrovním režimu.

- Potenciál solární elektrárny v podmínkách ČR.
- Možnosti predikce výroby v solární a větrné elektrárně a její spolehlivost.
- Návrh systému řízení spotřeby pro malé domovní aplikace.
- Návrh záložního systému napájení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 22.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

LIČMAN, P. *Návrh záložního energetického zdroje pro rodinný dům*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Chtěl bych na tomto místě poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci. Také bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě podporovali v průběhu celé doby mého studia.

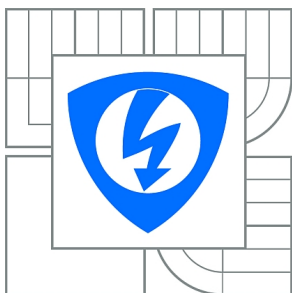
Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH ZÁLOŽNÍHO ENERGETICKÉHO ZDROJE PRO RODINNÝ DŮM

PROPOSAL FOR HOUSE BACKUP ENERGY SOURCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR LIČMAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

BRNO 2015

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem záložního zdroje napájení využívající obnovitelné zdroje energie, konkrétně sluneční energii. V první části je popsán potenciál solární elektrárny v podmínkách ČR. Další části popisují typy fotovoltaických systémů, jejich komponenty, dimenzování fotovoltaických systémů a možnosti řízení spotřeby. Kvůli proměnlivé dodávce z OZE se práce také zabývá možnostmi predikce výroby elektrické energie z těchto zdrojů. V praktické části je proveden návrh záložního systému napájení pro rodinný dům, který v letním období funguje také jako optimalizátor vlastní spotřeby. Pro tento návrh bylo provedeno finanční zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaická elektrárna; hybridní fotovoltaický systém; akumulace energie; predikce výroby

ABSTRACT

This master's thesis deals with a design of backup power system, which will be using renewable energy sources, particularly solar energy. The first part describes the potential of solar power plant in the Czech Republic. The next parts describe types of photovoltaic systems, their components, design of photovoltaic systems and possibilities of controlling power consumption. Due to the fluctuating supply from renewable energy sources the thesis also deals with possibilities of predicting of the production electricity from these sources. In the practical part the design of backup power system for the house is done, which will also be working in summer as an optimizer for own consumption. A financial evaluation was done for this proposal.

KEY WORDS: photovoltaic power plant; hybrid photovoltaic system; energy storage; power prediction

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	15
2 SLUNEČNÍ ENERGIE.....	16
2.1 POTENCIÁL SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V PODMÍNKÁCH ČR	17
2.2 SHRNU TÍ KAPITOLY	19
3 FOTOVOLTAICKÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM	20
3.1 FV ČLÁNEK.....	20
3.2 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ	23
3.2.1 DROBNÉ APLIKACE	23
3.2.2 OSTROVNÍ SYSTÉMY (OFF-GRID)	24
3.2.3 SÍŤOVÉ SYSTÉMY (ON-GRID).....	26
3.3 VÝVOJ FVE V ČR	27
3.4 SHRNU TÍ KAPITOLY	28
4 MOŽNOST PREDIKCE VÝROBY V SOLÁRNÍ A VĚTRNÉ ELEKTRÁRNĚ A JEJÍ SPOLEHLIVOST	30
4.1 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA	30
4.1.1 NUMERICKÉ PŘEDPOVĚDNÍ MODELY	31
4.2 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA.....	31
4.2.1 ENERGIE VĚTRU	31
4.2.2 METODY PRO URČENÍ POLE RYCHLOSTI VĚTRU A JEJICH PŘESNOST	32
4.2.3 PROSTŘEDKY PRO PREDIKCI VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE	34
4.3 SHRNU TÍ KAPITOLY	35
5 NÁVRH SYSTÉMU ŘÍZENÍ SPOTŘEBY PRO MALÉ DOMOVNÍ APLIKACE.....	36
5.1 SYSTÉMOVÉ KOMPONENTY	36
5.1.1 FV PANE LY	36
5.1.2 SOLÁRNÍ REGULÁTOR	36
5.1.3 AKUMULÁTOR	38
5.1.4 STRÍDAČ.....	38
5.1.5 SPOTŘEBIČE	39
5.2 RŮZNÉ TYPY APLIKACÍ	39
5.2.1 INTELIGENTNÍ SYSTÉM.....	39
5.2.2 SOLÁRNÍ REGULÁTOR	40
5.2.3 HYBRIDNÍ STRÍDAČ	40
5.2.4 SYSTÉM S RS.....	41
5.3 STRNU TÍ KAPITOLY	41
6 DIMENZO VÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ FV SYSTÉMU	42
6.1 DIMENZO VÁNÍ FV PANE LŮ.....	42

6.2 DIMENZOVÁNÍ STRÍDAČE	43
6.3 DIMENZOVÁNÍ AKUMULÁTORŮ.....	44
6.4 DIMENZOVÁNÍ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN	45
6.5 SHRNUÍ KAPITOLY	46
7 NÁVRH ZÁLOŽNÍHO SYSTÉMU NAPÁJENÍ	47
7.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE	47
7.2 VOLBA JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT	48
7.2.1 FV PANE LY	48
7.2.2 STRÍDAČ.....	48
7.2.3 PROPOJOVACÍ PRVKY	50
7.2.4 PŘEPĚŤOVÉ OCHRANY	51
7.2.5 AKUMULÁTORY	52
7.3 PŘIPOJENÍ K DS A ZPŮSOB ZAPOJENÍ	52
7.4 VÝPOČET VYROBENÉ ENERGIE	52
7.5 SPOTŘEBA OBJEKTU A ZÁLOHOVÁNÍ.....	53
7.6 INVESTIČNÍ NÁKLADY	55
7.7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
7.8 SHRNUÍ KAPITOLY	57
8 ZÁVĚR.....	58
POUŽITÁ LITERATURA	60
PŘÍLOHY	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Tepelná bilance dopadajícího slunečního záření [44]</i>	16
<i>Obr. 2-2 Roční suma globálního záření na vodorovnou plochu ČR [38]</i>	18
<i>Obr. 2-3 Roční průměrná doba slunečního záření v ČR [49]</i>	18
<i>Obr. 2-4 Roční průměrný počet bezoblačných dní v ČR [49]</i>	19
<i>Obr. 3-1 Rozdělení solárních systémů dle způsobu využití energie [31]</i>	20
<i>Obr. 3-2 Princip činnosti FV článku [20]</i>	21
<i>Obr. 3-3 Vliv intenzity záření na V-A charakteristiku [3]</i>	22
<i>Obr. 3-4 Schéma ostrovního systému s přímým napájením [49]</i>	24
<i>Obr. 3-5 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie [49]</i>	25
<i>Obr. 3-6 Hybridní ostrovní systém [49]</i>	25
<i>Obr. 3-7 Zapojení systému pro vlastní spotřebu [49]</i>	26
<i>Obr. 3-8 Zapojení systému pro dodávku do sítě [49]</i>	26
<i>Obr. 3-9 Hybridní systém s akumulací a záložním zdrojem [49]</i>	27
<i>Obr. 4-1 Výstup ze systému Suncast [13]</i>	30
<i>Obr. 4-2 Příklad výkonové křivky malé větrné elektrárny [23]</i>	32
<i>Obr. 4-3 Větrná mapa ČR ve výšce 10 m nad povrchem [53]</i>	33
<i>Obr. 4-4 Předpověď výroby elektrické energie pomocí systému Previento [13]</i>	34
<i>Obr. 5-1 A) V-A charakteristika FV modulu, B) výstupní výkon ve 12 V systému</i>	37
<i>Obr. 5-2 Principiální schéma s použitím inteligentního prvku</i>	39
<i>Obr. 5-3 Principiální schéma se solárním regulátorem, jakožto ovládacím prvkem [26]</i>	40
<i>Obr. 5-4 Principiální schéma hybridního systému [51]</i>	40
<i>Obr. 5-5 Principiální schéma s aplikací WATTrouteru [48]</i>	41
<i>Obr. 6-1 Vyrobená denní el. energie při různých sklonech FV panelů o výkonu 1 kWp [38]</i>	42
<i>Obr. 6-2 Měsíční produkce el. energie FV panelu o výkonu 1 kWp při sklonu 35° [38]</i>	43
<i>Obr. 6-3 Závislost životnosti akumulátoru na hloubce vybíjení [42]</i>	45
<i>Obr. 6-4 Principiální schéma zapojení FV systému a umístění přepěťových ochran [52]</i>	46

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Součinitele znečištění [31]</i>	17
<i>Tab. 3-1 Základní informace o jednotlivých typech FV článků [28]</i>	23
<i>Tab. 3-2 Instalovaný výkon nových FVE v jednotlivých letech [17]</i>	28
<i>Tab. 7-1 Základní údaje FV panelu [36]</i>	48
<i>Tab. 7-2 Základní informace střídače [56]</i>	49
<i>Tab. 7-3 Zadané parametry v aplikaci PVGIS [38]</i>	53
<i>Tab. 7-4 Výstup z webové aplikace PVGIS [38]</i>	53
<i>Tab. 7-5 Seznam spotřebičů a jejich používání</i>	54
<i>Tab. 7-6 Dílčí investiční náklady</i>	55
<i>Tab. 7-7 Návratnost investice ve 20. ročním období</i>	57

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM SYMBOLŮ:

Symbol	Veličina	Jednotka
A	plocha	$[m^2]$
AM	vzduchová hmota	$[-]$
C	jmenovitá kapacita akumulátoru	$[Ah]$
CF_t	plán cash-flow z investičního projektu v jednotlivých letech	$[Kč]$
DOD	hloubka vybíjení	$[\%]$
DP	diskontované příjmy	$[Kč]$
E	energie	$[J]$
E_d	průměrná vyrobená energie za den	$[Wh]$
E_m	průměrná vyrobená energie za měsíc	$[Wh]$
E_1	celková roční vyrobená energie s uvažováním degradace	$[Wh]$
E_0	celková vyrobená energie v prvním roce bez uvažování degradace	$[Wh]$
FF	činitel plnění	$[-]$
I	elektrický proud	$[A]$
I_{VYB}	vybíjecí proud	$[A]$
I_{DC-MAX}	maximální vstupní proud na DC straně střídače	$[A]$
$I_{MAX(NAB)}$	maximální nabíjecí proud střídače	$[A]$
$I_{MAX(VYB)}$	maximální vybíjecí proud střídače	$[A]$
I_{MPP}	elektrický proud při P_{MPP}	$[A]$
$I_{N(AC-OUT)}$	jmenovitý proud na výstupní AC straně střídače	$[A]$
I_{SC}	elektrický proud nakrátko	$[A]$
I_p	intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu	$[W \cdot m^{-2}]$
I_{PN}	intenzita přímého slunečního záření na kolmou plochu	$[W \cdot m^{-2}]$
$K_{degradace}$	koeficient respektující degradaci systému v průběhu času	$[-]$
K_i	investiční náklady	$[Kč]$
NPV	čistá současná hodnota	$[Kč]$
I_0	sluneční konstanta	$[W]$
P	elektrický výkon	$[W]$
P	příjmy z vlastní spotřeby	$[Kč]$
P_{in}	výkon dopadajícího slunečního záření	$[W]$

P_{MPP}	jmenovitý výkon FV panelu	[Wp]
$P_{N(AC-OUT)}$	jmenovitý výkon na výstupní AC straně střídače	[W]
P_S	výkon rotoru větrné elektrárny	[W]
P_v	hustota výkonu větru	[W·m ⁻²]
R_k	odpor na jednotku délky	[Ω·km ⁻¹]
P_t	příjem z investice v jednotlivých letech životnosti	[Kč]
S	plocha rotoru větrné elektrárny	[m ²]
S	zdánlivý výkon	[VA]
$SAIDI$	ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení	[min·rok ⁻¹]
$SAIFI$	ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení	[1·rok ⁻¹]
T	termodynamická teplota	[K]
T_{OC}	teplotní koeficient napětí naprázdno	[%·K ⁻¹]
U	elektrické napětí	[V]
U_{CPV}	maximální trvalé provozní napětí	[V]
U_{DC-MAX}	maximální vstupní napětí na DC straně střídače	[V]
U_{MPP}	elektrické napětí při P_{MPP}	[V]
$U_{MPP-MAX}$	maximální vstupní napětí MPPT střídače	[V]
$U_{MPP-MIN}$	minimální vstupní napětí MPPT střídače	[V]
U_{OC}	elektrické napětí naprázdno	[V]
U_{OC-STC}	normalizované zkušební napětí naprázdno FV panelů	[V]
$U_{N(DC)}$	jmenovité napětí střídače na straně akumulátorů	[V]
Z	součinitel znečištění	[-]
c	cena za elektřinu	[Kč·kWh ⁻¹]
c_p	součinitel výkonu	[-]
f	frekvence	[Hz]
i	diskontovaná míra	[-]
l	vzdálenost	[m]
n	doba životnosti investičního projektu	[rok]
n	počet cyklů	[-]
n_p	počet panelů	[-]
n_{VC}	výkupní cena na elektřinu	[Kč·kWh ⁻¹]
t	životnost	[rok]
v	rychlost větru	[m·s ⁻¹]
$\Delta P\%$	procentuální výkonové ztráty	[%]

$\Delta P_{\%(\text{AC-OUT})}$	procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi střídačem a DR	[%]
$\Delta P_{\%(\text{AKU})}$	procentuální výkonové ztráty na akumulátorech	[%]
$\Delta P_{\%(\text{celkem})}$	celkové procentuální výkonové ztráty systému	[%]
$\Delta P_{\%(\text{DC-FV})}$	procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi panely a střídačem	[%]
$\Delta P_{\%(\text{DC-NAB})}$	procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi baterií a střídačem	[%]
$\Delta P_{\%(\text{DC/DC})}$	procentuální výkonové ztráty střídače při nabíjení baterií	[%]
$\Delta P_{\%(\text{DC/AC})}$	procentuální výkonové ztráty střídače při vybíjení baterií	[%]
$\Delta P_{\%(\text{vedení})}$	souhrnné procentuální výkonové ztráty na vodičích	[%]
$\Delta P_{\%(\text{ostatní})}$	ostatní procentuální výkonové ztráty	[%]
γ	úhel dopadu slunečních paprsků	[°]
η	účinnost	[%]
ϑ	Celsiova teplota	[°C]
λ	vlnová délka	[m]
ρ	hustota vzduchu	[kg·m ⁻³]

SEZNAM ZKRATEK:

AC	střídavý proud (Alternating Current)
AGM	absorbující skelný materiál (Absorbed Glass Mat)
ALADIN	omezená oblast, dynamická adaptace, mezinárodní vývoj (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International)
AM	vzduchová hmota (Air Mass)
AV	Akademie věd
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DC	stejnoseměrný elektrický proud (Direct Current)
DOD	hloubka vybíjení (Depth Of Discharge)
DR	domovní rozvaděč
DS	distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrizační soustava
FV	fotovoltaický
FVE	fotovoltaická elektrárna
GFS	globální předpovědní systém (Global Forecast System)
HFVE	hybridní fotovoltaická elektrárna

LCD	displej z tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
LED	dioda emitující světlo (Light Emitting Diode)
MM5	model se středně velkou rozlohou páté generace (Mesoscale Model 5)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPP	bod maximálního výkonu (Maximum Power Point)
MPPT	sledovač bodu maximálního výkonu (Maximum Power Point Tracker)
NCAR	Národním centrum pro výzkum atmosféry (National Center for Atmospheric Research)
NEZ	novela energetického zákona
NN	nízké napětí
NOAA	Národní úřad pro oceán a atmosféru (National Oceanic and Atmospheric Administration)
NWP	numerická předpověď počasí (Numerical Weather Prediction)
OTE	operátor trhu s elektřinou
OZE	obnovitelné zdroje energie
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PVGIS	fotovoltaický geografický informační systém (Photovoltaic Geographical Information System)
PWM	pulzní šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RD	rodinný dům
RS	regulátor spotřeby
SAIDI	ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení (System Average Interruption Duration Index)
SAIFI	ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení (System Average Interruption Frequency Index)
TV	teplá voda
USA	Spojené státy americké (United States of America)
VAS	Větrný atlas (Wind Atlas)
VRLA	ventilem řízené olovněné (Valve Regulated Lead Acid)
VTE	větrná elektrárna
WAsP	program pro analýzu a aplikaci Větrného atlasu (Wind Atlas Analysis and Application Program)

1 ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie, dále už jen OZE, se stávají každoročně diskutabilním tématem. Ze zpravodajských portálů a dalších informačních zdrojů se lze většinou dočíst, o kolik se zvýšil instalovaný výkon OZE v daném roce. Nejsilnější faktor, který značně ovlivňuje zmíněný růst, je dán politikou států. Evropská unie se nejvíce zasazuje na rozvoji OZE a snižování emisí, produkovaných výrobami elektrické energie, které spalují fosilní paliva. Česká republika, jakožto člen EU, se zavázala, že do roku 2020 bude hrubá spotřeba energie tvořena minimálně 13% podílem z OZE.

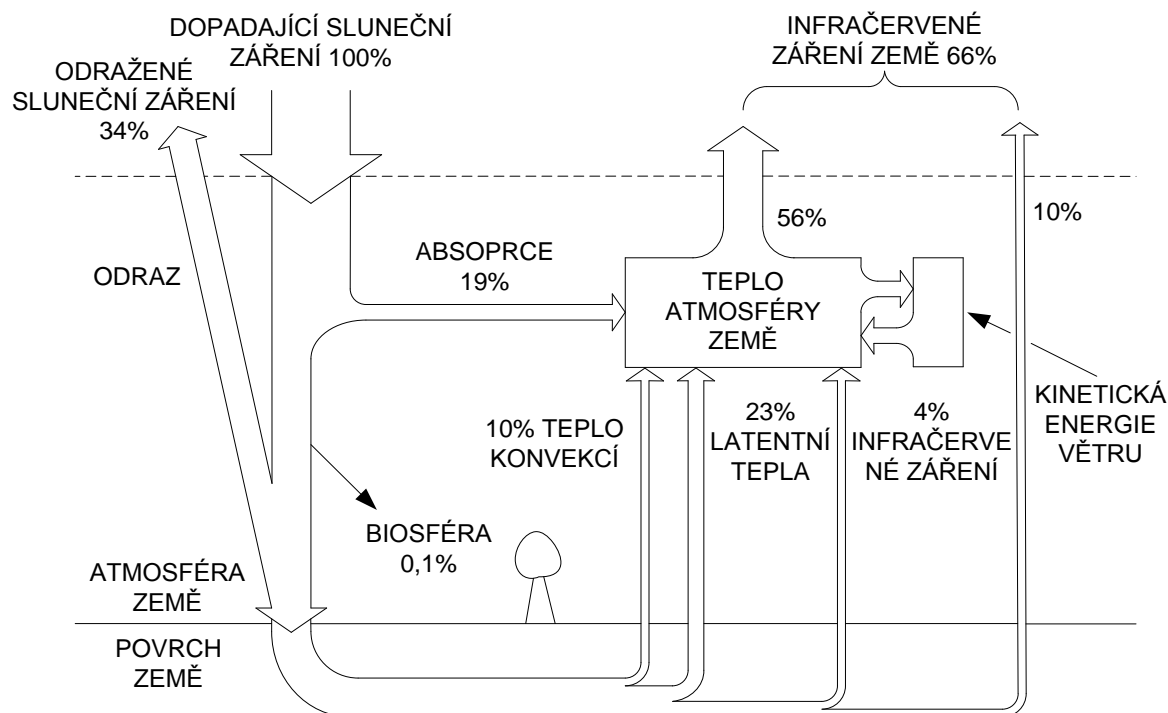
Fotovoltaické elektrárny se v posledních letech staly nejrychleji rostoucím OZE v ČR. Výroba elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů se zdá být na první pohled k životnímu prostředí šetrná, ale pokud se v úvahu vezmou výrobní procesy a následná likvidace, respektive recyklace, tak už tolik ekologická není. Zrušením státní podpory pro výrobní elektrické energie ze solární energie nastává otázka, hlavně pro majitele rodinných domů, zda se umístěním pár FV panelů na jejich střechy někdy vůbec zhodnotí. Pro někoho může být důležitá soběstačnost a nezávislost, která je však nepřímo úměrná komfortu a pohodlí.

Slibným doplňkovým energetickým zdrojem pro menší systémy může být malá větrná elektrárna, která u hybridních systémů může poskytnout energii, když zrovna není dostatek slunečního záření. Kombinací fotovoltaické a větrné elektrárny se systém stává značně závislý na počasí. Přesná a spolehlivá předpověď počasí je pak důležitou součástí akumuláčních systému.

2 SLUNEČNÍ ENERGIE

Slunce tvoří centrum sluneční soustavy a jedná se o nejbližší hvězdu k Zemi. Slunce má v porovnání se Zemí přibližně 330000 krát větší hmotnost a lze ho popsat, jako kouli žhavého plazmatu, která každý okamžik produkuje ohromné množství energie. Výkon, kterým Slunce disponuje, činí $4 \cdot 10^{26}$ W a na Zemi dopadá přibližně 45 miliardtin. Teplota na jeho povrchu se pohybuje okolo 5780 K a v jádru dokonce až $15,6 \cdot 10^6$ K. Díky extrémním podmínkám v jádře, způsobené vysokým tlakem a teplotou, v něm dokáže probíhat termojaderná fúze. Jedná se o vícestupňový proces, ve kterém je spálen vodík na hélium. Většina energie, tedy něco kolem 96 %, získaná během tohoto procesu, je po průchodu fotosférou ve formě elektromagnetického záření [45][46].

Na Zemi pak dopadá záření o výkonu 180 tisíc TW, z kterého se přibližně třetina odráží od atmosféry zpět do vesmíru, necelá pětina je pohlcena v atmosféře a skoro polovina je pohlcena povrchem pevnin a oceánů a mění se následně v teplo. Malý zlomek dopadajícího záření se mění na chemickou energii biomasy přes fotosyntézu zelených rostlin. Více jak polovina zachycené sluneční energie se posléze vyzáří do kosmu ve formě infračerveného záření. Na obr. 2-1 lze následně vidět popsanou tepelnou bilanci dopadajícího slunečního záření na Zemi [44].



Obr. 2-1 Tepelná bilance dopadajícího slunečního záření [44]

Na obr. 2-1 ještě zbývá jeden nezmíněný jev a to cyklus větrné energie. Důsledkem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením dochází ke vzniku větru. Od zemského povrchu, v kterém se dopadající sluneční záření mění na teplo, se ohřívá i přilehlá vzduchová vrstva. Teplý vzduch má nižší měrnou hmotnost než studený, a proto začne stoupat směrem vzhůru. Tento děj je značně ovlivněn střídáním dne a noci a také rotací Země. Popsané události vedou ke vzniku tlakových rozdílů v atmosféře, nebo-li k vytváření tlakových níží a výší. Vyrovnáním zmíněných tlakových rozdílů vzniká vítr, který proudí od tlakové výše k tlakové níži [31].

Sluneční záření se dělí na dvě složky [31]:

- přímé sluneční záření – vyznačuje se mnohonásobně vyšší intenzitou v jednom směru než v ostatních,
- difúzní sluneční záření – má ve všech směrech stejnou intenzitu; vzniká v atmosféře rozptylem o molekuly ve vzduchu, částičky prachu a mraky.

Teoretické množství energie dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu mimo zemskou atmosféru se nazývá sluneční konstanta a její hodnota je přibližně $I_0 = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Mírou zmenšení intenzity tohoto záření je tzv. součinitel znečištění Z , který závisí na obsahu příměsi a atmosférického tlaku vzduchu [31].

Tab. 2-1 Součinitele znečištění [31]

Typ oblasti	Součinitel znečištění Z
Místa nad 2000 m n.m.	2,0
Místa nad 1000 m n.m.	2,5
Venkov bez průmyslových exhalací	3,0
Města a průmyslová střediska	4,0
Silně znečištěné prostředí	$\geq 5,0$

Intenzitu přímého slunečního záření I_{PN} dopadajícího na plochu A kolmou ke směru paprsků lze popsat rovnicí [31]:

$$I_{\text{PN}} = I_0 \cdot A^{-Z}. \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}\cdot\text{m}^{-2}, -) \quad (2.1)$$

Intenzita přímého záření na obecně položenou plochu I_{P} je dána vztahem [31]:

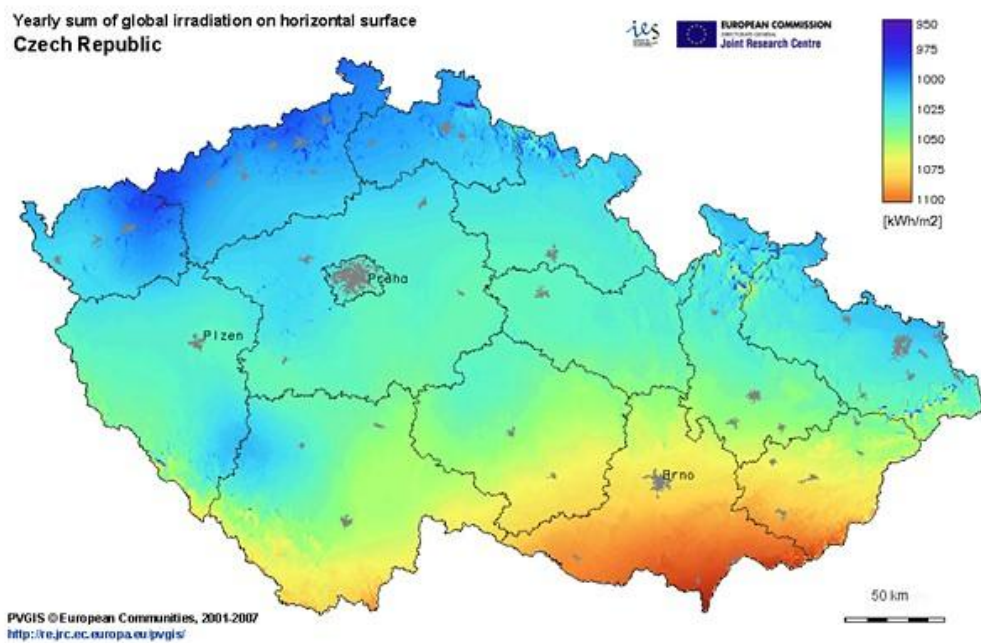
$$I_{\text{P}} = I_{\text{PN}} \cdot \cos \gamma, \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}\cdot\text{m}^{-2}, -) \quad (2.2)$$

kde γ je úhel dopadu slunečních paprsků.

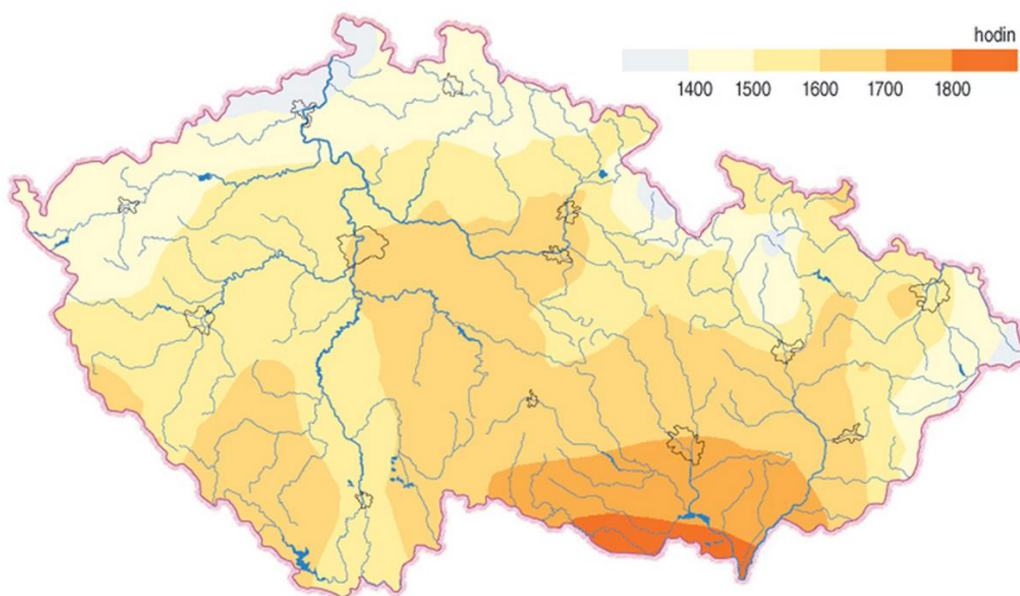
Optimální úhel sklonu absorpční plochy se mění v závislosti na ročním období. V létě se pohybuje v rozmezí $30^\circ - 45^\circ$ a v zimě mezi 60° a 90° [31].

2.1 Potenciál solární elektrárny v podmínkách ČR

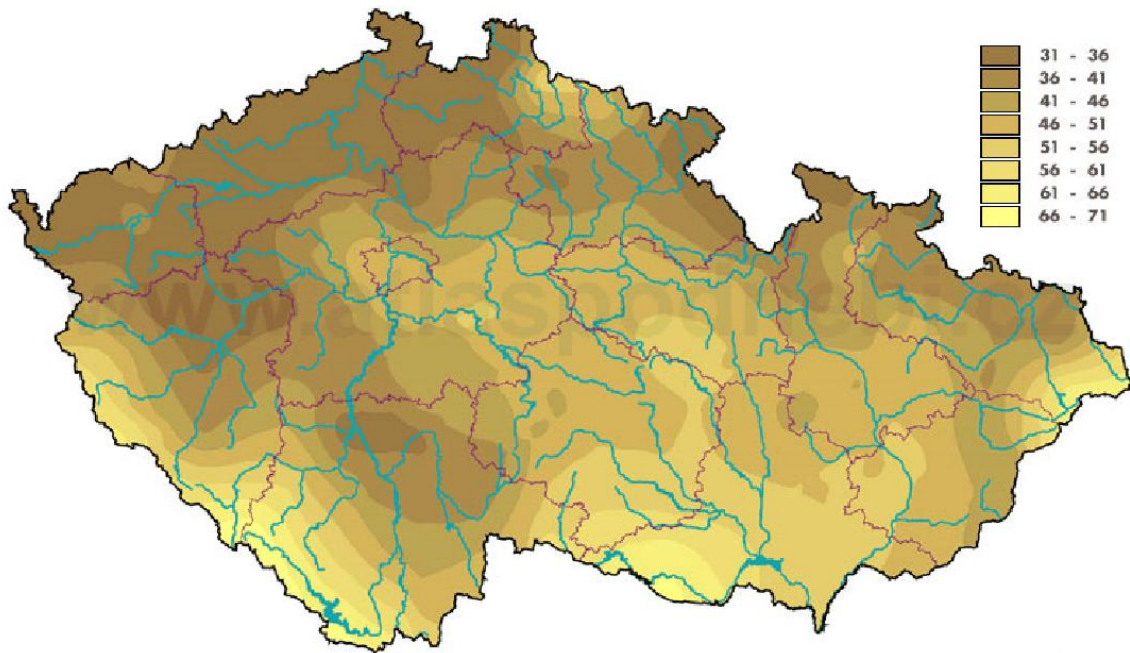
Dostupnost solární energie v ČR je zpravidla ovlivněna několika faktory. Patří mezi ně především zeměpisná šířka, roční doba, oblačnost, lokální podmínky, sklon plochy na níž sluneční záření dopadá a další. V našich zeměpisných šířkách dopadá více než tři čtvrtiny zářivé sluneční energie v letní polovině roku, tedy od dubna do září. Na obr. 2-2 lze pozorovat roční sumu globálního záření. Na naše území dopadá průměrně za rok na 1 m^2 950 – 1100 kWh energie. Nejlepší podmínky se naskytují na jižní Moravě, v jižních Čechách a na Vysočině. Naopak nejhorší podmínky jsou v Krušných horách, Krkonoších, Jesenících, Šumavě či Beskydech. Z hlediska roční průměrné doby slunečního záření (obr. 2-3) a ročního průměru bezoblačných dní (obr. 2-4) jsou podmínky obdobné. V ČR se průměrná doba slunečního svitu pohybuje v rozmezí 1400 – 1800 hodin za rok. V rámci Evropy se v ČR vytváří difúzní záření v celoročním poměru 50 – 70 % z globálního záření, a dokonce v zimě dosahuje až 90 %. Z geografického hlediska mají lepší podmínky jižní státy Evropy či severní Afriky [39].



Obr. 2-2 Roční suma globálního záření na vodorovnou plochu ČR [38]



Obr. 2-3 Roční průměrná doba slunečního záření v ČR [49]



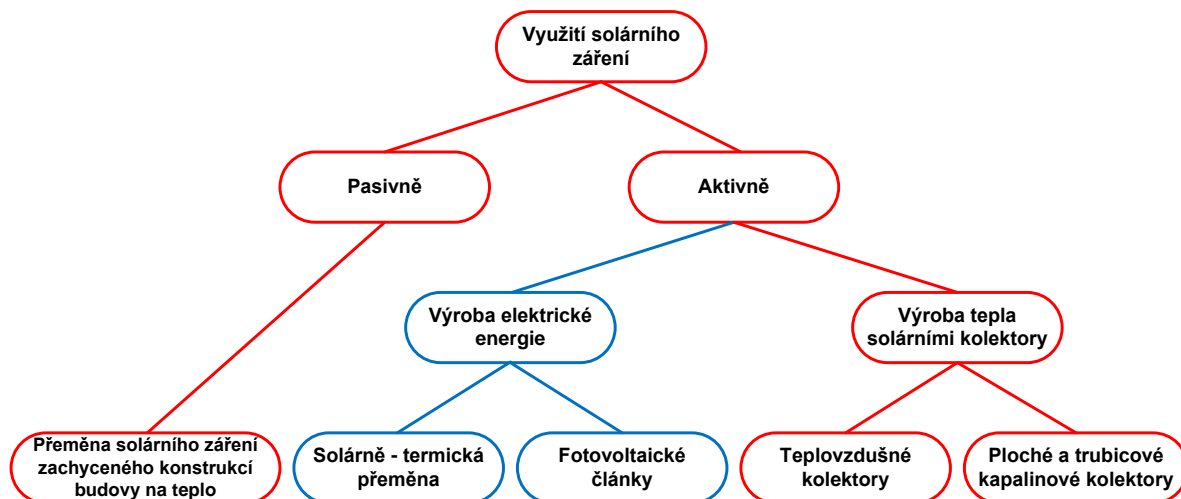
Obr. 2-4 Roční průměrný počet bezoblačných dní v ČR [49]

2.2 Shrnutí kapitoly

V této kapitole je popsán vývoj slunečního záření mající původ v termojaderné fúzi ve Slunci až po jeho dopad na naši planetu. Nechybí ani popis slunečního záření po jeho průchodu zemskou atmosférou. V rámci geografického umístění ČR se nejedná o nejvhodnějšího kandidáta pro větší výstavbu FVE a nutno říct, že jižnější státy budou mít lepší podmínky.

3 FOTOVOLTAICKÝ SOLÁRNÍ SYSTÉM

V dnešní době existuje několik variabilních systémů, které umí přeměňovat sluneční energii na tepelnou či elektrickou energii. Obr. 3-1 zobrazuje rozdělení solárních systémů, které lze dělit na aktivní, či pasivní a na výrobu elektrické nebo tepelné energie. Výroba elektrické energie se řadí pod aktivní využití sluneční energie a lze ji rozdělit na dvě technologické koncepce, tj. solárně – termická přeměna a fotovoltaické články [31].



Obr. 3-1 Rozdělení solárních systémů dle způsobu využití energie [31]

FV solární systémy fungují na principu přímé přeměny slunečního záření. Tato technologie byla objevena už v 19. století, kdy se francouzský fyzik Becquerel zabýval prvními experimenty, při kterých pozoroval přímou přeměnu záření na elektřinu, nebo-li fotoelektrický jev. Další výzkumy vedly k výrobě velkých monokrystalů křemíku, které daly vznik FV článků, jak je známe dnes. Za rozvojem FV článků stála kosmonautika od 60. let minulého století, neboť se aplikovaly, jako zdroje pro satelity a uplatňují se i nyní. Na začátku 80. let dostala výroba FV panelů nový spád kvůli ropné krizi. V ČR zaznamenal nebyvalý růst FVE v minulém desetiletí v důsledku dotačních programů [8].

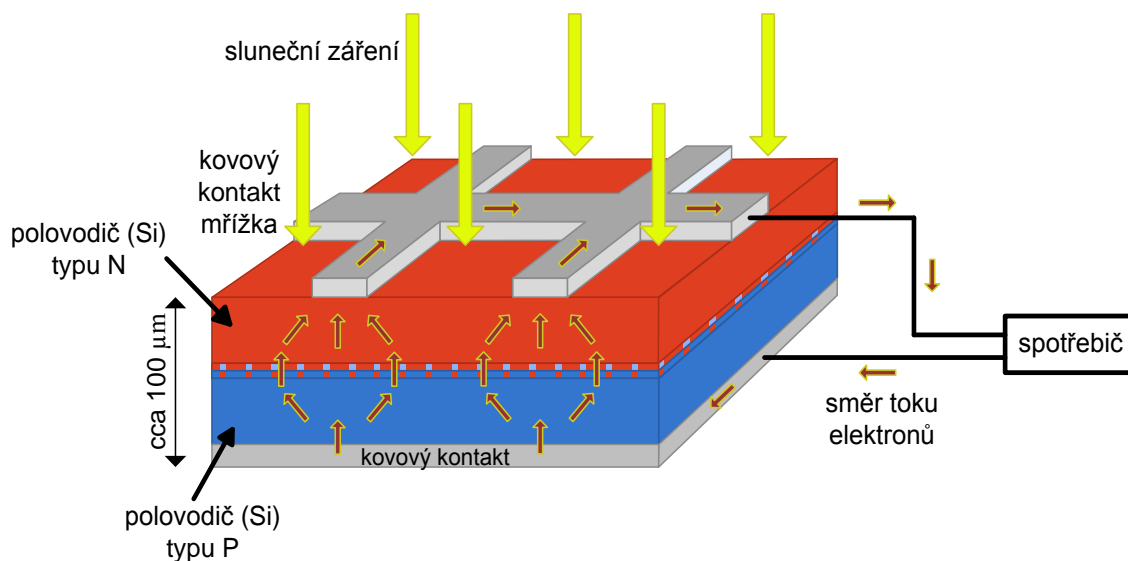
3.1 FV článek

Základem FV článku se stal křemík, který je na naší planetě druhým nejrozšířenějším prvkem. Díky jeho významné potřebě v mikroelektronice se vyrábí krystaly křemíku dosahující téměř 100% čistoty. Používání právě křemíku je dáno z důvodu jeho úzkého zakázaného pasu, který dokáže generovat značné množství volných nosičů nábojů [19].

Na FV článek musí dopadat takové záření, které obsahuje fotony o vlnové délce menší než 1105 nm. Tato hraniční vlnová délka udává, že fotony budou muset disponovat minimální energií o hodnotě 1,12 eV, aby se elektron mohl uvolnit z krystalové mřížky. Elektron přechází z valenčního pásu do vodivostního a vzniká pár elektron – díra [19].

FV článek je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda s jedním přechodem PN. Stavebním prvkem je plátek křemíku typu P s příměsí bóru (bór je chemický prvek s 3 valenčními elektrony). Jeho spodní strana je potíštěna vodivou stříbrnou mřížkou. Horní plocha je zastoupena vrstvou polovodiče typu N s příměsí fosforu (fosfor je chemický prvek s 5 valenčními elektrony), na které jsou umístěny úzké vodivé kontakty. Křemík je chemickým prvkem, který má 4 valenční elektrony [19].

Jelikož má bór jen 3 valenční elektrony, nedokáže v krystalové mřížce vytvořit kovalentní vazbu ze čtyř dvojic elektronů s okolními atomy křemíku, a proto budou vznikat díry. Jedná se o kladné náboje v polovodiči typu P. Naopak v polovodiči typu N budou 4 valenční elektrony navázány na sousední atomy křemíku a jeho pátý valenční elektron se bude moci lehce uvolnit z vazby s vlastním atomem. Mezi vrstvami vznikne přechod PN, který zabraňuje volnému přechodu elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P, ale umožňuje snadný přechod elektronů z vrstvy P do vrstvy N. Na obr. 3-2 je znázorněna činnost FV článku a je v něm naznačen tok elektronů ve vytvořeném elektrickém obvodu z FV článku, jako zdroji energie, a spotřebičem [19].



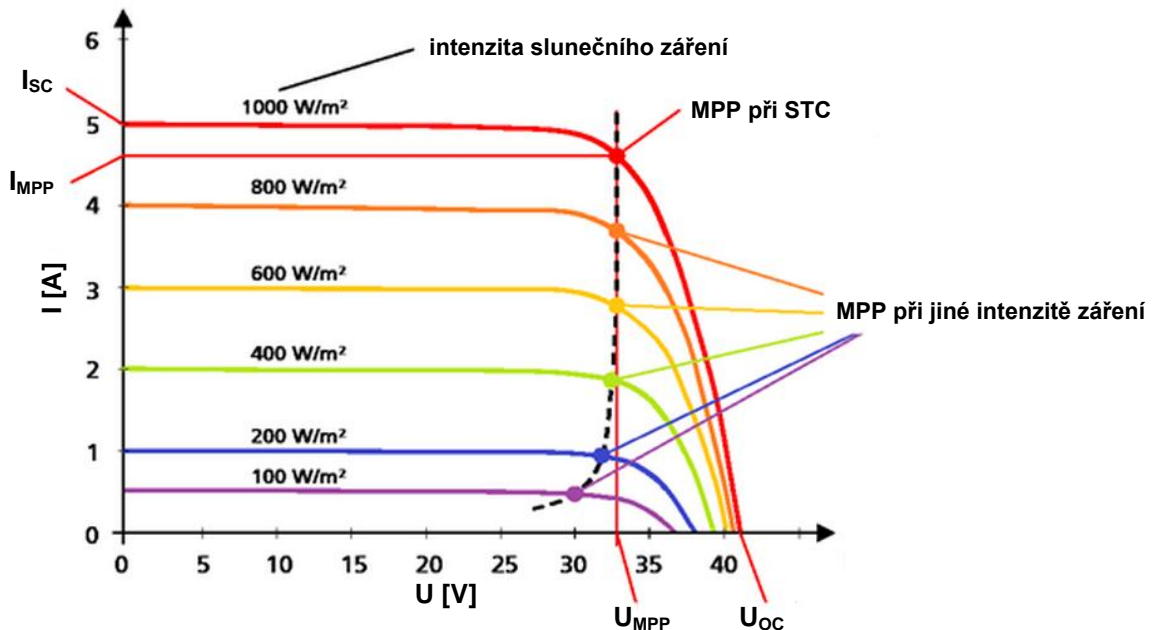
Obr. 3-2 Princip činnosti FV článku [20]

Při dopadu světla na povrch FV článku předávají fotony svou energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. V případě, kdy by PN přechod neexistoval, docházelo by volně k přenosu elektronů z místa přebytku do místa nedostatku a FV článek by se nemohl stát zdrojem napětí. Uskutečňovala by se tzv. rekombinace, nebo-li by docházelo ke spojování děr s elektrony. PN přechod se chová tak, že elektrony uvolněné ve vrstvě N se v ní začnou hromadit, protože elektrony nemůžou přecházet do vrstvy P. Elektrony uvolněné ve vrstvě P, naopak mohou přejít přes přechod PN do vrstvy N, kde se v ní začnou koncentrovat. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti 0,6 V [19].

Účinnost přeměny dopadající sluneční energie na využitelnou elektrickou energii FV článku není 100%, ale pohybuje se zpravidla kolem 16 %. V dnešní době se v laboratorních podmínkách objevují takové technologie, které dosahují účinnosti přes 40 %. Níže jsou vypsány přibližné ztráty ve FV článku [24]:

- reflexe a zastínění předními kontakty (3 %),
- příliš malá energie fotonů dlouhovlnného záření (22 %),
- nadměrná energie fotonů krátkovlnného záření (30,5 %),
- rekombinace (8 %),
- spád potenciálu především v pásmu prostorového náboje (20 %),
- tepelné ztráty proudu (0,5 %).

Činnost FV článku charakterizuje V-A charakteristika, která lze vidět na obr. 3-3. Mezi její hraniční veličiny patří napětí naprázdno U_{OC} a proud na krátko I_{SC} . Napětí naprázdno představuje maximální napětí na článku, které se objeví v případě, když není ke článku připojen spotřebič. Proud nakrátko představuje maximální proud, který může článek vyprodukovat při dané intenzitě slunečního záření. Výkon FV článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro danou charakteristiku při určité intenzitě slunečního záření platí, že na ni existuje tzv. bod maximálního výkonu (MPP) o napětí U_{MPP} a proudu I_{MPP} , ve kterém je výkon největší. Při standardních testovacích podmínkách (STC), jež jsou určeny teplotou $\vartheta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzitě slunečního záření dopadající kolmo na plochu $I_{PN} = 1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a definované vzduchové hmotě $AM = 1,5$, je pak daný MPP označován jako jmenovitý výkon P_{MPP} FV článku, respektive panelu [3][31].



Obr. 3-3 Vliv intenzity záření na V-A charakteristiku [3]

Kromě výše zmíněných veličin se k charakteristickým provozním hodnotám ještě řadí činitel plnění FF a účinnost η . Činitel plnění představuje podíl maximálního výkonu v bodu MPP při STC a součinu napětí naprázdno a proudu nakrátko a lze popsat rovnicí [3][31]:

$$FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (.; \text{ V, A, V, A}) \quad (3.1)$$

Účinnost je definována jako podíl maximálního výkonu v bodu MPP při STC a výkonu dopadajícího slunečního záření P_{in} . Účinnost lze vyjádřit následující rovnicí [31][50]:

$$\eta = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{P_{in}} \cdot 100 \quad (.; \text{ \%}, \text{ V, A, W}) \quad (3.2)$$

Na V-A charakteristiku má vliv i okolní teplota. Při zvýšení teploty dochází k snížení napětí naprázdno a to vede k poklesu výkonu i účinnosti. Pro FV články z krystalického křemíku platí přibližně pokles napětí naprázdno U_{OC} okolo $0,4\text{ \%}\cdot\text{K}^{-1}$ a pro účinnost $0,5\text{ \%}\cdot\text{K}^{-1}$ [31].

FV články se vyrábí různými výrobními procesy a jsou použity i různorodé materiály. V tab. 3-1 jsou uvedeny některé typy FV článků a také pár základních informací jich popisujících [24].

Tab. 3-1 Základní informace o jednotlivých typech FV článků [28]

Typ solárního článku	Mono-krystalický křemík	Poly-krystalický křemík	Amorfní křemík	CdTe	CIS/CIGS
Typická účinnost článku [%]	15 – 20	13 – 16	6 – 8	9 – 11	10 – 12
Maximální naměřená účinnost článku v laboratoři [%]	25,0	20,4	13,4	18,7	20,4
Potřebná plocha pro 1 kWp [m ²]	6 – 9	8 – 9	13 – 20	11 – 13	9 – 11
Životnost [rok]	25	25	10 – 25	–	–
Tepelná odolnost	Výkon klesá o 10 – 15 % při vyšších teplotách	Horší tepelná odolnost než u monokrystalu	Snáší extrémní teplo	Relativně nízký dopad na výkon	
Další podrobnosti	Nejstarší a nejrozšířenější	Menší spotřeba křemíku při výrobě	Rychlejší degradace než u krystalických typů		
			Nízká dostupnost na trhu		

Vývoj FV článku z dlouhodobého hlediska lze rozdělit následovně [31]:

- **Články první generace** – vyrábí se nejčastěji z monokrystalického křemíku a na trhu jsou od 70. let minulého století.
- **Články druhé generace** – jedná se o tenkovrstvé články z polykrystalického a amorfního křemíku; dochází k inovaci v oblasti spotřeby křemíku; výroba tenkovrstvých fólií; patří sem také články CdTe, CIS a CIGS.
- **Články třetí generace** – stále ve vývoji; zaměřeny na jiné metody oddělování nábojů; fotoelektrochemické články; použití nanostruktur ve formě uhlíkatých tyček a trubiček.
- **Články čtvrté generace** – inovativní v oblasti vícevrstvých profilů plně využívající širokého slunečního spektra.

3.2 Rozdělení systémů

Podle účelu lze FV systémy rozdělit na [8][33][49]:

- drobné aplikace,
- ostrovní systémy (off-grid),
- síťové systémy (on-grid).

3.2.1 Drobné aplikace

Mezi drobné aplikace patří nenápadné FV články v kalkulačkách nebo solární nabíječky akumulátorů. Celkově tvoří nejmenší podíl na trhu, avšak jejich podíl může narůst, neboť se zvětšuje poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů ať už v mobilních

telefonech, notebookech, fotoaparátech či MP3 přehrávačích na dovolených a v přírodě [8][33][49].

3.2.2 Ostrovní systémy (off-grid)

Ostrovní systémy, nebo taky označovány systémy off-grid, se používají v místech, kde není k dispozici distribuční síť. Většinou jsou tyto ostrovní systémy aplikovány v místech, kde není účelné anebo není možné vybudovat elektrickou přípojku. Většinou se jedná o problém ekonomický, neboť se náklady na vybudování přípojky blíží nákladům na FV systém (od vzdálenosti k distribuční síti větší než 500 – 1000 m). Výkony ostrovních systémů se pohybují v rozmezí 1 – 10 kW. U ostrovních systémů se klade značný důraz na co nejmenší ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů. Jedná se zpravidla o odlehle objekty, jakými jsou např. chaty, karavany, jachty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy apod. [8][33][49].

V ostrovním systému se používají zařízení [8][33][49]:

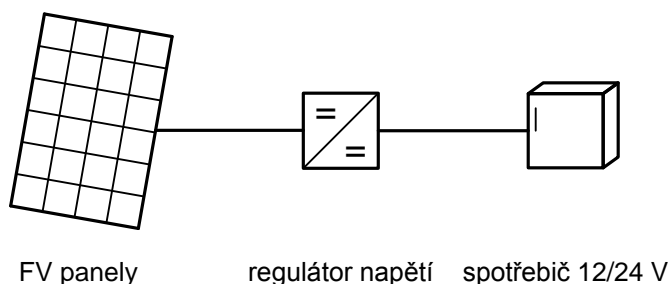
- FV panely,
- regulátor dobíjení,
- akumulátory,
- střídače pro připojení běžných síťových spotřebičů 230 V/50 Hz,
- a další prvky (sledovače Slunce, indikační a měřicí přístroje).

Ostrovní systémy se dále dělí na [8][33][49]:

- systémy s přímým napájením,
- systémy s akumulací elektrické energie,
- hybridní ostrovní systémy.

3.2.2.1 Systémy s přímým napájením

Systémy s přímým napájením se využívají tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení (spotřebič) je funkční pouze po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se o prosté propojení FV panelu a spotřebiče. Typy aplikací: nabíjení akumulátorů malých přístrojů, čerpání vody pro závlahu, napájení ventilátorů k odvětrávání uzavřených prostor atd. Na obr. 3-4 je schéma zapojení popisovaného systému [8][33][49].

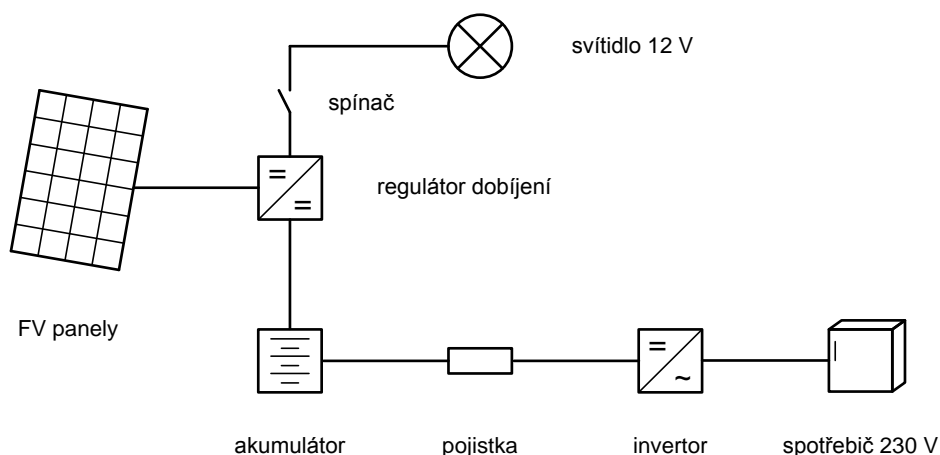


Obr. 3-4 Schéma ostrovního systému s přímým napájením [49]

3.2.2.2 Systémy s akumulací elektrické energie

Systémy s akumulací elektrické energie se instalují tam, kde je potřeba elektřiny i v době, když je nepříznivé počasí, respektive v době bez slunečního záření. Tohle platí v případech, kdy se výroba elektrické energie většinou nekryje s její spotřebou. Pro takový systém je nutné použít

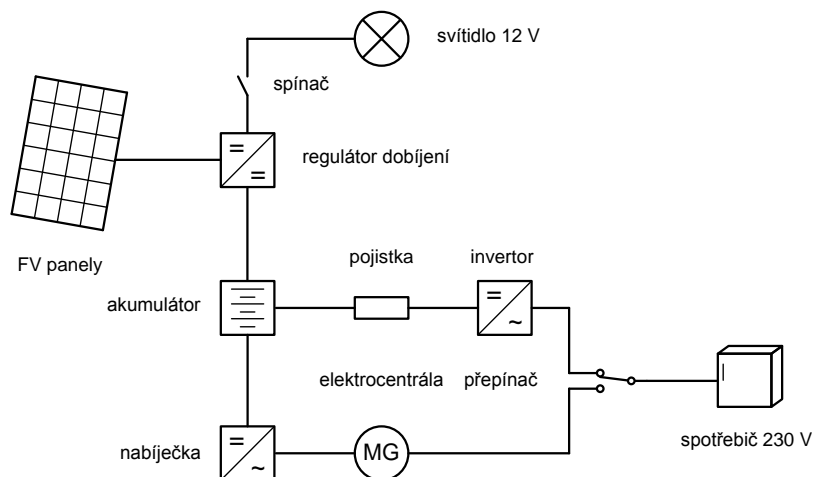
akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybití akumulátorové baterie je zajištěno elektronickým regulátorem. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí bývá většinou 12 nebo 24 V) a běžné síťové spotřebiče 230 V/50 Hz napájené přes napěťový střídač. Systémy s akumulací elektrické energie mohou být zdroje elektrické energie pro chaty a rodinné domy, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení, veřejného osvětlení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, zahradní svítidla, světelné reklamy atd. Na obr. 3-5 je znázorněné schéma systému s akumulací se spotřebiči pro 12 V stejnosměrného napětí a 230 V střídavého napětí [8][33][49].



Obr. 3-5 Ostrovní systém s akumulací elektrické energie [49]

3.2.2.3 Hybridní ostrovní systémy

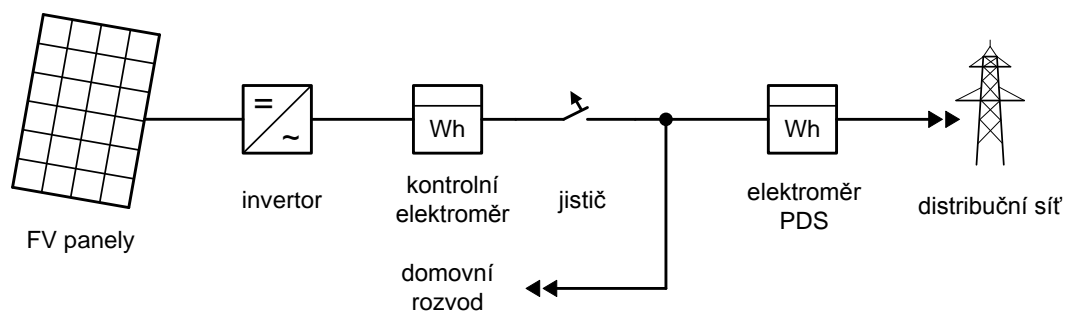
Hybridní ostrovní systémy se aplikují tam, kde je nutný celoroční provoz se značným vytížením. V zimě se zpravidla vyrábí podstatně méně elektrické energie než v létě. To má za následek navrhnout systémy i na zimní provoz tak, že se zvýší instalovaný výkon systému, který má následně vliv na navýšení pořizovacích nákladů. Z těchto důvodů bývají tyto systémy doplňovány alternativními zdroji energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem. Mezi takové zdroje lze zařadit např. malou větrnou elektrárnu, malou vodní elektrárnu, elektrocentrálu, kogenerační jednotku apod. Typickými hybridními ostrovními systémy jsou rozsáhlejší systémy pro napájení budov s celoročním provozem v lokalitách bez připojení k elektrické síti. Na obr. 3-6 je schéma hybridního ostrovního systému [8][33][49].



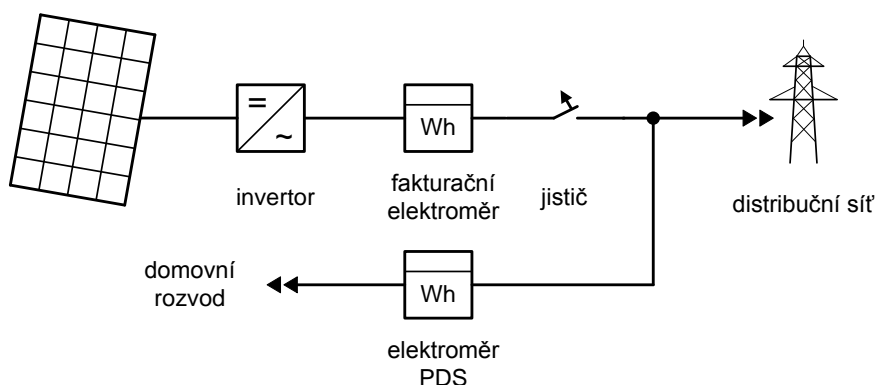
Obr. 3-6 Hybridní ostrovní systém [49]

3.2.3 Síťové systémy (on-grid)

Největší uplatnění síťových systémů je v oblastech s hustou distribuční sítí. Vyrobená energie z FV panelů se spotřebovává ve spotřebičích v budově a vzniklý přebytek je dodáván do distribuční sítě. Při nedostatku vlastní energie je naopak elektrická energie odebírána z distribuční sítě. Systém dokáže pracovat v takovém režimu, díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Připojení k síti podléhá k schvalovacímu řízení u provozovatele distribuční soustavy (PDS). Na obr. 3-7 je schéma zapojení s vlastní spotřebou a prodejem zbylých přebytků do sítě (zapojení podle zeleného bonusu). Elektroměr PDS je čtyř-kvadrantový, neboť musí umět měřit dodávku a odběr elektrické energie. Na obr. 3-8 je schéma zapojení s výhradním prodejem elektrické energie do sítě (zapojení v tzv. výkupním tarifu). FVE je připojena mezi stávajícím elektroměrem PDS a hlavní domovní skříní pomocí čtyř-kvadrantového elektroměru. V zapojení se zeleným bonusem se dá efektivně využít regulátor spotřeby (RS), např. WATTrouter nebo GreenBonO. RS je zařízení, které má měření za elektroměrem PDS a podle potřeby spíná různě navolené zátěže (TUV, tepelné čerpadlo, klimatizace atd.) řídicí se prioritním nastavení tak, aby nedocházelo k plýtvání, v podobě přetoku vyrobené elektrické energie do sítě [8][33][49].



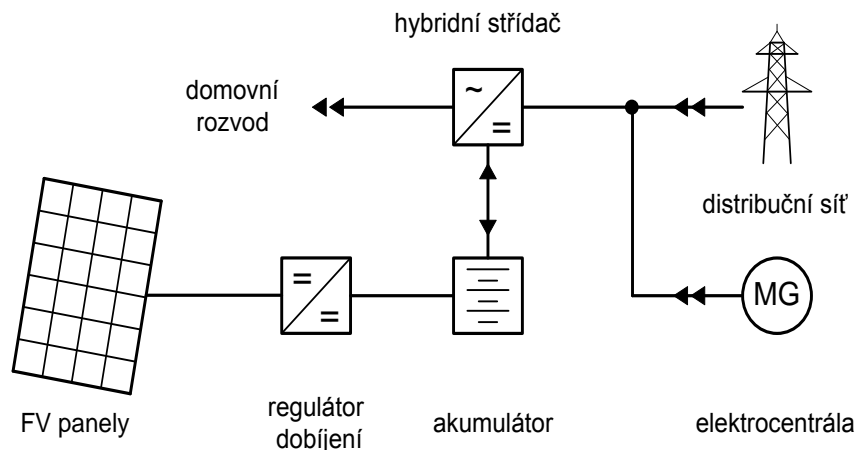
Obr. 3-7 Zapojení systému pro vlastní spotřebu [49]



Obr. 3-8 Zapojení systému pro dodávku do sítě [49]

3.2.3.1 Hybridní systém (grid-free)

Tento hybridní systém pracuje jako off-grid elektrárna s tím rozdílem, že objekt je napojen na distribuční síť. Všechna vyrobená elektřina se spotřebovuje v daném objektu a případný nedostatek je odebrán z DS či jiného elektrického zdroje (elektrocentrála). V tomto zapojení je potřeba akumulátorů, které vyrovnají obvykle denní výrobu a noční spotřebu. Základem tohoto systému je tedy nedodávat elektřinu do DS, od které navíc je pomocí hybridního střídače galvanicky oddělená. Legislativně odpadá řada problémů, neboť dle ERÚ není potřeba licence a na vlastníky se nevztahují povinnosti jako u ostatních výrobců elektřiny. Jediné, co se musí udělat, je požádat o povolení stavebního úřadu a ohlásit to také příslušnému PDS [32][49].



Obr. 3-9 Hybridní systém s akumulací a záložním zdrojem [49]

Hybridní střídač obsahuje transformátor, který zaručuje zmíněné galvanické oddělení. Podle toho, jak je nastaven, tak rozhoduje, z jakého zdroje se bude čerpat energie. Primárně je spotřeba nastavena z akumulátorů a jako záložní zdroj může sloužit DS. Kromě DS si hybridní střídač dokáže nastartovat automaticky generátor. Jestliže je nedostatek energie v akumulátorech, tak je dán pokyn k odebrání elektrické energie ze záložního zdroje, např. DS, generátor atd. Systém lze také nakonfigurovat tak, aby se během nízkého tarifu baterie automaticky dobíjely z DS. Na obr. 3-9 je schéma popsaného systému [9][49].

3.3 Vývoj FVE v ČR

V roce 2006 byla navýšena podpora pro obnovitelné zdroje energie a hlavně pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření, která měla původ v zákoně 180/2005 Sb., o podpoře OZE. Zákon stanovil povinnost provozovatele distribuční soustavy přednostně vykupovat elektřinu z OZE a výkupní cena nesměla meziročně klesnout o více jak 5 %. Podpora spočívala ve zdvojnásobení cen zelených bonusů a výkupních cen, které se pohybovaly i nad 15 Kč·kWh⁻¹. Výkupní cenu, pak stát garantoval na 20 let s pravidelným ročním navýšením o 2 %. Kvůli vysokým investičním nákladům, kdy 1 Wp instalovaného výkonu přišel na 75 Kč, se však stále pro mnoho investorů nevyplatilo stavět FVE. V roce 2008 se na trh dostaly FV panely z Číny, které srazily cenu 1 Wp instalovaného výkonu na 23 Kč. Následkem těchto příznivějších podmínek nastal enormní nárůst připojovaných nových FVE do ES, neboť pro mnohé investory a majitele RD to byla zajímavá investice s lukrativním ziskem a rychlou návratností. V tab. 3-2 jsou znázorněny roční přírůstky instalovaných výkonů nově připojovaných FVE v jednotlivých letech [16].

Pozdě schválená novela zákona č. 402/2010 Sb., pak znamenala nebývalý nárůst nových FVE. Od roku 2011 nastalo postupné snižování výkupních cen a zelených bonusů. Stát dokonce na předchozí drastické navýšení FVE reagoval formou solární daně. Pro rok 2014 vyhlásil ERÚ s ohledem na novelu zákona č. 165/2015 Sb. nové podmínky pro OZE. Pro nové FVE byla kompletně zrušena provozní podpora, tedy kompletně zrušeny výkupní ceny a zelené bonusy. Úplné zrušení podpory mělo příčinu v překročení Národního akčního plánu pro rok 2013 [5][16].

Tab. 3-2 Instalovaný výkon nových FVE v jednotlivých letech [17]

Rok	P_i [MW]
2005	0,1
2007	3,6
2008	57,4
2009	392,7
2010	1377,5
2011	80,9
2012	104,4
2013	50,7
Celkem	2067,2

V současné době není potřeba licence, pokud výroba není provozována za účelem podnikání a nedochází k přetokům z výroby do DS, nevyžaduje zákon od jejího provozovatele licenci. Za podnikání lze požadovat každou činnost, při níž dochází k dodávce elektřiny do soustavy, tím spíše pokud je za vyrobenou elektřinu inkasován zelený bonus, výkupní cena nebo tržní cena [5].

Projednávana novela energetického zákona (NEZ) v roce 2015 by měla přinést nové podmínky pro následující roky, tedy od roku 2016, týkající se i fotovoltaiky. Novela má umožnit rozvoj menších střešních FVE do 10 kW. Součástí novely má být i zrušení potřeby licence a živnostního listu na provozování elektrárny [5].

Nové pravidla pro FVE s licencí [5]:

- platí pro všechny výroby nad 10 kW, připojené k DS,
- všechny výroby, u kterých výrobce prodává elektřinu, i když by nebyla připojena na DS (přímé propojení mezi výrobnou a odběratelem),
- nově NEZ zavádí povinnost autorizace výroby u MPO, pokud její instalovaný výkon přesáhne 1 MW.

Nové pravidla pro FVE bez licence [5]:

- všechny výroby do 10 kW (připojené k DS, ostrovní systémy, napojené na přímé vedení k odběrateli), pokud vyrobená a dodaná elektřina není prodávána,
- všechny ostrovní systémy s výkonem do 1 MW bez autorizace u MPO.

Řešení přetoků bude mít dva rozměry. Buď bude za přetok do DS výrobce platit penále nebo daná odchylka se smluvně ošetří tak, že obchodník nebude výrobcí za dodanou elektřinu platit a použije ji jako kompenzaci za povinnost platit odchylku [5].

3.4 Shrnutí kapitoly

FV přeměna je jedna z technologických koncepcí, jak využít energii slunečního záření. Při výrobě elektrické energie pomocí FV článku nedochází k produkci škodlivých emisí a dalšího znečištění, což má přátelský vliv na životní prostředí. V této kapitole je popsána činnost FV článku, jeho vývoj v průběhu času a srovnání parametrů, výhod či nevýhod různých typů jeho konstrukcí (monokrystal křemíku, polykrystal křemíku, amorfni křemík atd.). FV článek je základním stavebním prvkem pro FV panely, respektive FVE. Podle zapojení lze FVE členit do několika kategorií (off-grid, on-grid). Pro majitele RD je vhodnou volbou systém s přímým

napojením k síti s využitím regulátorem spotřeby, který má zajistit, aby se vyrobená energie raději spotřebovala v objektu (TUV, tepelné čerpadlo, atd.) než přetekla nevýhodně do sítě. Za zmínku stojí také grid-free systém, který je hlavně zaměřen na soběstačnost, avšak při nedostatku výkonu si umí odebrat energii z DS. Tento systém lze modifikovat podle instalace akumulátorů. Při použití akumulátorů lze ušetřit na energii ze sítě, ale ve výsledku může být daná investice ztrátová, neboť se musí brát ohled na jejich omezenou životnost (počet vybíjecích cyklů) a jejich cenu. Důsledkem splnění Národního akčního plánu nelze očekávat další podporu od státu ve formě zelených bonusů či výkupních tarifů v blízké budoucnosti. Pro nové zájemce, tak nastává otázka, zda se v této době vyplatí instalovat FVE pro vlastní spotřebu a jestli se v časovém horizontu náklady na její výstavbu vrátí.

4 MOŽNOST PREDIKCE VÝROBY V SOLÁRNÍ A VĚTRNÉ ELEKTRÁRNĚ A JEJÍ SPOLEHLIVOST

4.1 Fotovoltaická elektrárna

Predikce výroby elektrické energie z FVE závisí na aktuálním počasí, konkrétně na hodnotách solárního záření a teplotě. Teplota článku má tendenci ovlivňovat maximální výkon, neboť se s rostoucí okolní teplotou zvyšuje teplota článku a jeho výkon se snižuje. Další faktor, který ovlivňuje výrobu, je oblačnost, která mění poměr mezi přímým a difúzním zářením a má vliv na okamžitý výkon elektrárny [29].

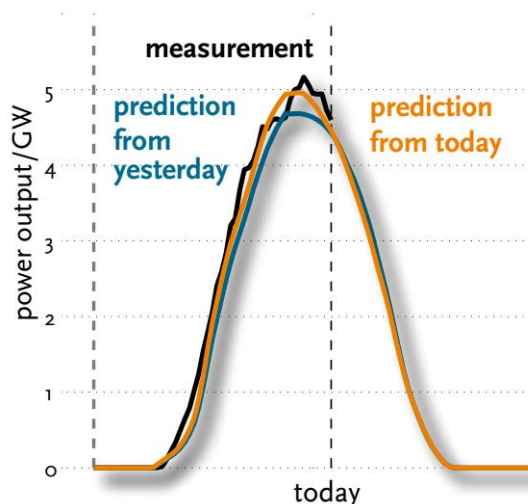
Pro krátkodobou předpověď v řádech několika dní okamžitý výkon a následně i výroba elektřiny závisí na aktuálním počasí. Samotný výkon je pak závislý především na hodnotě dopadajícího solárního záření na panel a také na teplotě panelu. Z tohoto důvodu je obtížné predikovat budoucí výrobu. V současnosti lze získat předpověď klimatických podmínek nejvýše na několik dní dopředu, kdy se zvyšující se délkou, klesá přesnost. Dá se tedy říci, že přesnost krátkodobé predikce výroby elektřiny je závislá na přesnosti předpovědních modelů počasí [29].

Předpověď výroby elektřiny z FVE je možné rozdělit obecně na krátkodobou a dlouhodobou. Pro dlouhodobou predikci existuje řada výpočetních modelů [29]:

- Meteonorm,
- pvPlaner,
- PVGIS.

PVGIS je projektem Evropské unie, který byl vytvořen výzkumných centrem Evropské komise. Tento výpočetní model je volně dostupný v podobě webové služby. Disponuje daty z meteorologických databází Evropy, z kterých od roku 1995 modeluje množství dopadajícího slunečního záření v průběhu dne a roku a množství vyprodukované elektrické energie FV systémem. Pro výpočet je nutné zadat polohu a vlastnosti FV systému. Umožňuje také zobrazení a stažení průměrných ročních a měsíčních dat solárního záření [29][38].

Systémy pro predikci výroby elektřiny ze solárních farem využívají data z numerických předpovědních modelů (NPW). Na obr. 4-1 je vidět příklad systému na predikci výroby z FVE [13].



Obr. 4-1 Výstup ze systému Suncast [13]

4.1.1 Numerické předpovědní modely

NWP modely slouží k předpovědi počasí a fungují na základě současných změřených dat. K výpočtu používají matematické modely atmosféry a oceánů. Úspěšnost předpovědi se odvíjí od mezinárodní spolupráce při poskytování si dat a standardizací postupů. Rozvoj techniky umožnil následné použití superpočítačů pro modelování atmosféry [35].

Mezi nejznámější globální modely patří globální předpovědní systém GFS, který používá Národní úřad pro oceán a atmosféru (zkráceně NOAA). Každých 6 hodin provádí výpočet předpovědi na 16 dnů dopředu s prostorovým rozlišením 16 x 16 km [35].

Mezi regionální NWP modely patří například ALADIN, který používá Český hydrometeorologický ústav, jehož rozlišení je 9 km. Na modelu ALADIN pracuje od roku 1990 francouzská meteorologická služba Météo-France. V ČR vznikl také projekt MEDARD, který funguje pod záštitou Ústavu informatiky Akademie věd České republiky a je volně dostupný. Ten využívá upravený model páté generace se středně velkou rozlohou (MM5), který je konfigurovaný pro ČR. Tento model byl vyvinut na Pensylvánské státní univerzitě v Národním centru pro výzkum atmosféry (NCAR) v USA [6][29][54].

4.2 Větrná elektrárna

4.2.1 Energie větru

Hustota výkonu větru je výkon, kterým by bylo možné získat stoprocentním využitím kinetické energie větru proudícího jednotkovou plochou kolmou na směr proudění. Výkon lze určit následujícím vztahem [33]:

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3, \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.1)$$

kde P_v je hustota výkonu větru,
 ρ je hustota vzduchu,
 v je rychlost větru.

Výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny se spočítá podle vztahu [33]:

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot S \cdot \rho \cdot v^3, \quad (\text{W}; -, \text{m}^2, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (4.2)$$

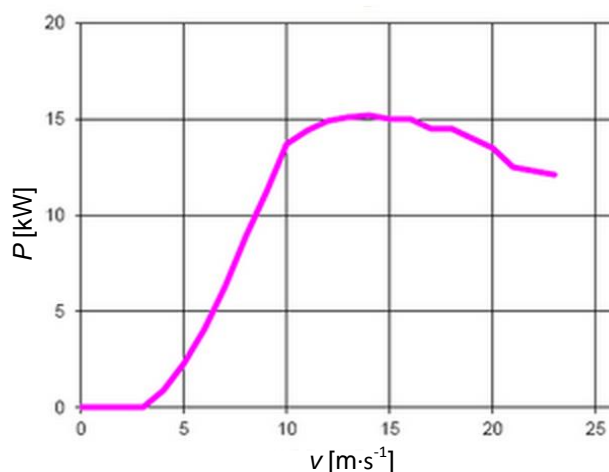
kde P_s je výkon rotoru větrné elektrárny,
 c_p je součinitel výkonu,
 S je plocha rotoru větrné elektrárny,
 ρ je hustota vzduchu,
 v je rychlost větru.

Součinitel výkonu závisí na míře snižující rychlosti protékajícího větru rotorem. Výkonový součinitel má teoretické maximum $c_{p,\text{max}} = 0,593$ [33].

Závislost výkonu větru na hustotě vzduchu je v reálné atmosféře vyjádřena funkcí nadmořské výšky a dále funkcí neperiodického střídání teplých a studených hmot [33].

Výkon, který může produkovat větrná turbína, udává výkonová křivka, která je základní indikací každého typu větrné elektrárny. Na obr. 4-2 je ukázán příklad výkonové křivky malé větrné elektrárny. Větrná elektrárna zpravidla začíná vyrábět při rychlostech větru od 3 až 4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

(někdy dokonce už od $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), pak výkon rychle roste až po dosažení jmenovitého výkonu mezi 10 a $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při rychlostech nad $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se musí VTE odstavit, aby nedošlo k jejímu poškození [22][33].



Obr. 4-2 Příklad výkonové křivky malé větrné elektrárny [23]

Rychlost a směr větru je důsledkem působení řady sil. Mezi tyto síly patří síla tlakového gradientu, Coriolisova síla, odstředivá síla a v mezní vrstvě atmosféry působí síla třecí, která vychází ze členitostí zemského povrchu. Dále se bere v úvahu i teplotní pole a respektuje se jeho horizontální a vertikální gradient. Tlakový gradient, který je příčinou proudění vzduchu, je určován základními složkami všeobecné cirkulace atmosféry, tj. cyklónami a anticyklónami. Doba trvání těchto tlakových útvarů je zpravidla několik dnů a jejich životnost je spjata s atmosférickými frontami. Tyto objekty, s dobou trvání desítek hodin, ovlivňují proudění krátkodobě, ale mají značný podíl na četnosti výskytu silných větrů. V místech, kde se nachází zrovna atmosférické fronty, se rychlost větru zesiluje a pod bouřkovými mraky dosahují nárazy větru až 30 či $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Cyklóny a anticyklóny a s nimi spojené atmosférické fronty se během své existence pohybují. To způsobuje neperiodické změny rychlosti větru, což má vliv na kolísavou výrobu elektrické energie z větrných zdrojů [22][33].

Vrstva atmosféry, kde se projevuje vliv zemského povrchu na pohyb vzduchu, je označována jako mezní vrstva atmosféry. Členitost zemského povrchu vyvolává deformace proudění. Jedná se o obtékání a přetékaní orografických překážek (návětrná a závětrná strana). Mezi zvláštní případy patří zesílení proudění v zúženém profilu mezi dvěma překážkami, který se označuje jako dýzový efekt. Dále deformace proudění v okolí izolované hory, kdy nad vrcholem dochází ke zvýšení rychlosti větru. Deformace směru a rychlosti proudění mohou mít horizontální rozměr od řádu metrů (stromy), až po několik set kilometru (horský masiv). Význam místních vlivů se zvyšuje se snižující výškou nad zemským povrchem. Mezi tyto vlivy patří [22][33]:

- tření o zemský povrch – závisí na drsnosti zemského povrchu,
- vliv orografie – vítr přetéká či obtéká terénní nerovnosti,
- vlivy jednotlivých překážek – budovy.

4.2.2 Metody pro určení pole rychlosti větru a jejich přesnost

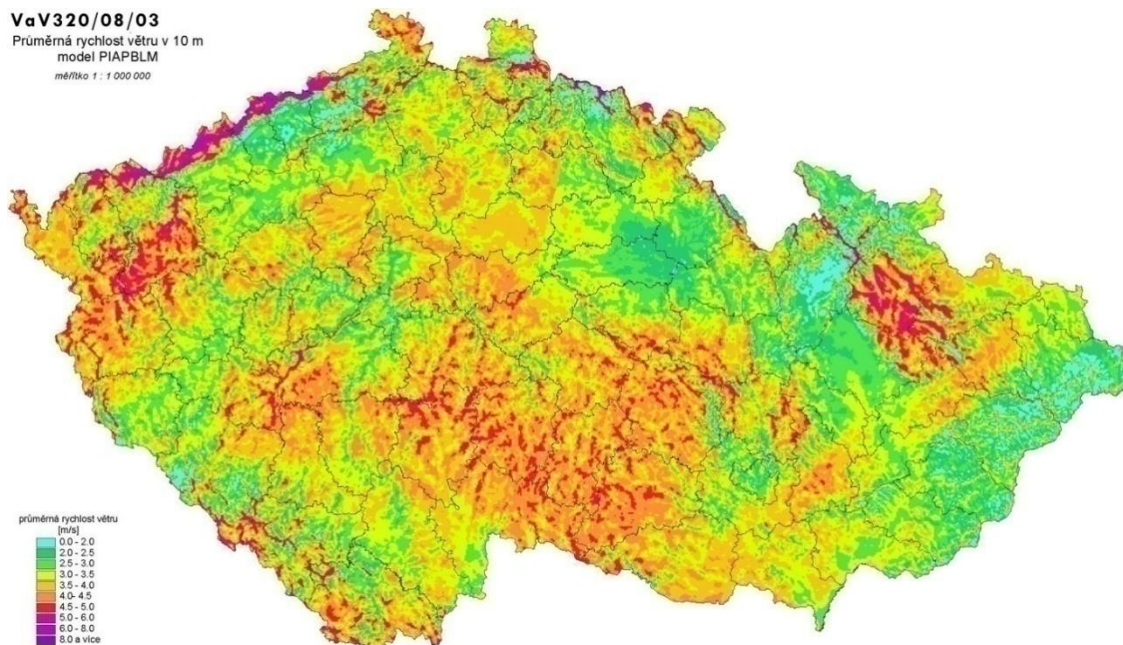
Měření větru jsou při správném provedení přesná. Zjišťování větrných poměrů jsou často nákladná a sběr dat vyžaduje obvykle více času. Měření je prováděné různými způsoby a za různým účelem. Mezi ně patří [22]:

- standardní meteorologické a klimatologické stanice – prováděné na našem území meteorologickou službou (ČHMÚ). Jedná se o dlouhodobá systematická měření ve výšce 10 m.
- Stožárová měření – probíhá zpravidla 1 rok v místech plánovaných VTE ve výšce 30 až 70 m.
- Měření dopplerovským sodarem – využívají odrazu zvukových vln od atmosféry. Tímto způsobem se měří profil větru až do výšky stovek metrů. Jedná se spíše o doplňkové měření. Další distanční metody – balony, lidar atd.
- Měření na strojnách VTE – slouží k regulaci provozu VTE.

Přístroje využívané pro měření větru musí být dostatečně odolné a přesné. Mezi ně patří [22]:

- Robinsonův kříž – měří pouze rychlost větru,
- akustický anemometr – využívá vlastností šíření zvukových vln,
- vrtulka – „větrná elektrárnička“,
- tlakové čidlo (Pilotova trubice), žhavený drát a jiné spíše používané v laboratorních podmínkách,
- směrovka – pro určení směru větru.

Pro určení pole průměrné rychlosti větru se používají matematicko-fyzikální modely, které bývají mnohem operativnější ve srovnání se zdlouhavým měřením a jejich výhodou je, že umožňují výpočet i v místech, kde měření není možné. Naopak jejich záporem je fakt, že výsledky jsou méně přesné než řádně provedené měření. Výpočetní modely se používají pro předběžné určení větrných poměrů lokality, či vytváření plošných větrných map (na obr. 4-3 lze vidět větrnou mapu ČR ve výšce 10 m nad povrchem) [22][33].



Obr. 4-3 Větrná mapa ČR ve výšce 10 m nad povrchem [53]

Výpočetní modely lze rozlišit podle metod řešení na statistické a dynamické a podle kroku sítě, ve kterém model pracuje. Vstupní data zajišťují meteorologická, případně účelová měření rychlosti větru. Modely Ústavu fyziky atmosféry AV ČR [22][33]:

- statistický model VAS – interpoluje měření větru v síti meteorologických stanic v závislosti na nadmořské výšce.

- Dynamický model proudění PIAP – je numerický model vrstvy atmosféry. Vystihuje vliv terénu, ale na výpočet je značně složitý.
- Model WASP – model a program vyvinut v Dánsku pro potřeby větrné energetiky. Umí také vyhodnotit vlivy blízkého okolí či ztráty způsobené vzájemným stíněním VTE.
- Hybridní model VAS/WASP – kombinuje výhody modelů VAS (schopnost kvalitní velkoprostorové interpolace) a WASP (vyhodnocení místních podmínek).

4.2.3 Prostředky pro predikci výroby elektrické energie

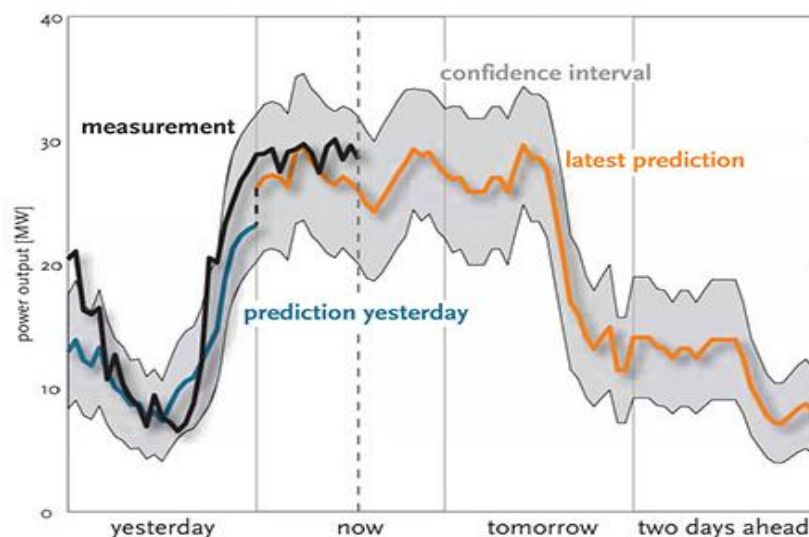
Nevýhodou výroby elektrické energie z větru je její nestabilita. Její nepříznivý vliv lze minimalizovat meteorologickou předpovědí pole proudění ve výšce rotorů větrných elektráren a z těchto údajů odvodit předpověď výkonu větru. Předpověď výkonu větru na dobu až 48 hodin může být důležitou informací pro výrobce či energetický dispečink, aby mohl pomocí jiných rychle dostupných zdrojů (např. konvečních) regulovat bilanci výkonu v soustavě [33].

V meteorologických centrech se zpracovávají a rozšiřují předpovědi meteorologických veličin, včetně pole vektoru větru v mezní vrstvě atmosféry, platných od několika hodin v intervalech tří, případně šesti hodin do několika dnů. Pro předpověď na 3 až 6 hodin se používají prognostické výstupy numerických modelů pro předpověď počasí (NWP modely) [33].

Za účelem předpovědi výroby elektrické energie z větru bylo vyvinuto mnoho modelů, které našly své uplatnění ve státech Evropy a USA.

Přehled predikčních systémů pro VTE [1]:

- projekt Anemos,
- Prediktor – Dánsko,
- Wind Power Prediction Tool (WPPT) – Dánsko,
- Zephyr – Dánsko,
- Previento – Německo,
- eWind – USA,
- SIPREÓLICO – Španělsko,
- Wind Power Management System (WPMS) – Německo,
- HONEYMOON – Irsko.



Obr. 4-4 Předpověď výroby elektrické energie pomocí systému Previento [13]

Tyto systémy zpravidla provádí online-monitoring, denní či dvou denní předpověď a krátkodobou předpověď pro výrobu elektrické energie v rozmezí 2 až 8 hodin. Čerpají hlavně data od předpovědních služeb. Na obr. 4-4 lze vidět výstupy systému Previento, kde se kloubí změřené hodnoty, hodnoty staré predikce a poslední predikce. Šedá zóna ještě vymezuje horní a spodní hraniční limity přesnosti předpovědi. V Německu, díky velkému množství větrných farem, běží rozsáhle studie, které dosáhly takové úspěšnosti, že 85 % předpovědních chyb leží v pásmu ± 10 %. Větší chyby nad 20 % se objevují jen zřídka [4][13][33].

4.3 Shrnutí kapitoly

V této kapitole byly popsány možnosti predikce výroby pro solární a větrnou energetiku. Pro řízení a regulaci je nutné vědět, kolik energie se v blízké budoucnosti vyrobí. S velkým nárůstem OZE dostává predikce o to zásadní význam, neboť jejich provoz disponuje značnou proměnlivostí.

5 NÁVRH SYSTÉMU ŘÍZENÍ SPOTŘEBY PRO MALÉ DOMOVNÍ APLIKACE

5.1 Systémové komponenty

Každý systém může být různě modifikovaný a většinou se skládá z variací následujících prvků:

- FV panely,
- solární regulátor,
- akumulátory,
- střídač,
- spotřebiče,
- další prvky.

5.1.1 FV panely

Byly popsány v kap. 3.1.

5.1.2 Solární regulátor

Solární regulátory lze rozdělit na dva typy [26]:

- PWM solární regulátor,
- MPPT měnič.

5.1.2.1 PWM solární regulátor

Solární regulátor má zásadní vliv na výkon FV systému a na využitelnou kapacitu a životnost akumulátorů. Jeho funkcí je stabilizovat napětí, tzn. snížit napětí ze solárních panelů na takové napětí, které je optimální pro dobíjené akumulátory. Ve své podstatě, kontroluje aktuální stav akumulátorů a udržuje je v optimálním nabitém stavu. Solární regulátor odpojuje akumulátory od solárních panelů v případech, kdy poklesne napětí pod hodnotu, která je únosná pro nabíjení akumulátorů nebo jsou-li akumulátory plně nabité. Kvalitnější solární regulátory disponují funkcemi, které umí spustit v době přebytku elektrické energie připojený spotřebič [26].

Mezi ztráty solárního regulátorů se řadí [26]:

- vnitřní ztráty - dány účinností vestavěných aktivních a pasivních součástek,
- ztráty v době vysoké intenzity slunečního svitu – solární regulátor je schopný nabíjet akumulátory jen takovým proudem, jaký mu poskytnou solární panely,
- ztráty v období s nízkou intenzitou slunečního svitu – je-li napětí na solárních panelech menší, než napětí, které je nutné pro dobíjení akumulátoru, nebude akumulátor dobíjen vůbec.

Účinnost solárního regulátoru se pohybuje kolem 80 % a je určen pro systémové stejnosměrné napětí 12 V a 24 V. Mezi jeho výhody patří nízká cena [26].

Základní funkce [26]:

- sledování stavu nabití akumulátoru – odpojení akumulátoru při nabití, nastavení „plynovací napětí“, které znamená omezení nabíjecího proudu,
- nastavení spodní hranice vybití akumulátoru – odpojení akumulátoru, aby nedocházelo k jeho hlubokému vybití (zkracuje životnost akumulátorů),

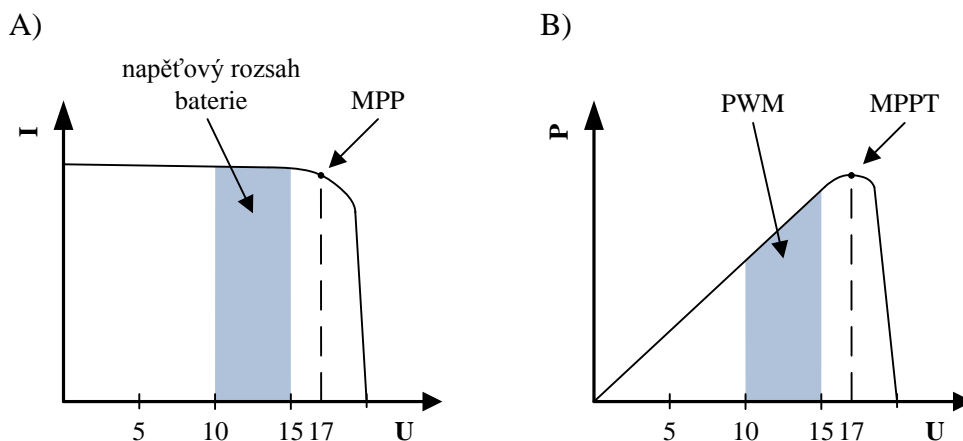
- programovatelné časové zapínání a vypínání výstupu.

Solární regulátory disponují sdělovacími prvky, které indikují stav systému. Od nejjednodušších, např. LED diody, až po rozhraní RS-232 či USB [26].

5.1.2.2 MPPT měnič

MPPT měnič je solární regulátor, který má oproti PWM solárního regulátoru několik výhod. Má zabudovaný vysokofrekvenční DC/DC měnič, který mění vstupní stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční střídavé napětí, které posléze transformuje na stejnosměrné napětí jiné velikosti než u vstupního stejnosměrného napětí, při čemž se změní i hodnota proudu. Dochází tedy k optimalizaci napětí a proudu, kterým je nabíjen akumulátor tak, aby byl využit MPP, neboli bod na V-A charakteristice s maximálně dosažitelným výkonem. MPPT měnič má schopnost zpracovávat daleko větší vstupní napětí z FV panelů (sériové zapojení FV panelů – tzv. string), které jsou i několikanásobně větší než jmenovitá napětí akumulátorů a to bez velkých ztrát, pak i při malém osvětlení mají FV panely daleko vyšší napětí, než je napětí baterie a může docházet k nabíjení. Další výhodou bezesporu je, že na straně FV pole tečou vodiči menší proudy a to má za následek i menší úbytky napětí, respektive výkonu [14][26].

PWM regulátor spojuje při nabíjení solární moduly přímo s baterií. Solární moduly se musí přizpůsobit napětí na baterii (ve 12 V systému se napětí na baterii pohybuje v rozmezí 11 až 15 V podle stavu nabití), a z toho důvodu musí operovat obvykle na nižším napětí než je optimální napětí (MPP), které se může pohybovat kolem 17 V. Na obr. 5-1 A) je znázorněna V-A charakteristika FV modulu popisovaného případu. Na obr. 5-1 B) je pak vidět vystupující výkon solárního regulátoru, kde MPPT měnič dosahuje větších hodnot než PWM regulátor [14][26].



Obr. 5-1 A) V-A charakteristika FV modulu, B) výstupní výkon ve 12 V systému

Do baterie nelze dodávat maximální výkon, pokud je nabitá, tato výhoda platí pouze u vybité baterie schopné výkon přijímat, a to zpravidla není většina času [14].

Účinnost MPPT měniče dosahuje 95 % a je určen pro systémové stejnosměrné napětí 12 V, 24 V, 36 V a 48 V [14][26].

Pro sledování dat jsou obvykle vybaveny i síťovými konektory (RJ-45), které lze připojit do routeru nebo pro komunikaci s jinými zařízeními (např. s externím displejem). Z internetu se dá, pak připojit k MPPT měničovi přes webové rozhraní [26].

5.1.3 Akumulátor

Akumulátory slouží k uchování nespotřebované vyrobené energie na období se slabým slunečním svitem a po soumraku. Kvalita a kapacita akumulátorů ovlivňuje množství uskladněné energie [25][26].

Při volbě akumulátorů je třeba zvážit několik aspektů [25][26]:

- pořizovací cenu,
- životnost,
- průměrnou hloubku vybíjení,
- odolnost vůči prostředí.

Typy akumulátorů [25][26]:

- startovací akumulátor (autobaterie),
- trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami,
- trakční akumulátor v provedení VRLA,
- LiFePO₄ akumulátory.

Startovací akumulátor není vhodný pro tento druh aplikace. Sice poskytuje vyšší proud, ale to je vykoupeno následnou slabší životností, neboť se musí udržovat ve stále nabitém stavu. Také trpí větším samovybíjením [25][26].

Trakční akumulátor se zaplavenými elektrodami není hermeticky uzavřen, proto by měl být umístěn v dobře větraném místě, neboť se při jeho nabíjení uvolňuje vodík. Může být nabíjen vyšším proudem než VRLA akumulátor. Musí se doplňovat destilovanou vodou, neboť se jedná o údržbový akumulátor [25][26].

VRLA akumulátor je hermeticky uzavřený a bezúdržbový. Tyto akumulátory lze rozdělit na gelové (elektrolyt je ve formě hustého gelu) a AGM, kdy elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě. Mají větší odolnost, lze je umístit kdekoliv, ale mají menší nabíjecí a vybíjecí proud než ostatní typy akumulátorů [25][26].

Všechny výše popsané akumulátory pracují na bázi olova. Akumulátor LiFePO₄ je lithium-iontový akumulátor, který disponuje vlastnostmi rychlého nabíjení, většího počtu nabíjecích cyklů, menší velikosti, teplotní odolnosti a vyšší kapacity. Nevýhodou je jeho vyšší cena, ale ta je vykompenzována už zmíněnými vlastnostmi [25][26].

5.1.4 Střídač

Úkolem střídače, označován též jako invertor, je převod stejnosměrného napětí na střídavé napětí. Střídačů je na trhu několik typů a vždy se odvíjí od ceny za dané zařízení. Nejprostší střídače generují čistě obdélníkový průběh na výstupu. Kvalitnější už pak modifikují výstup tak aby odpovídal sinusovce či ji čistě kopíroval. Některé střídače můžou mít v sobě zabudovaný MPPT měnič. Střídače lze rozdělit z hlediska zapojení systému FVE na modulové (invertor je připojen k jednomu FV modulu), řetězcové nebo stringové (každý invertor je připojen k několika FV panelům) a centrální (připojeny desítky a více FV panelů). Konstruují se střídače s a bez transformátorů. Střídač s transformátorem má výhodu, že galvanicky odděluje FV panely od sítě. Nevýhodou je vyšší cena, horší účinnost a větší rozměry [25][26][31].

5.1.5 Spotřebiče

Spotřebiče, které jsou napájeny z OZE, ať už se jedná o FVE či malé větrné elektrárny, by měly mít co největší účinnost, jinak vznikají značné energetické ztráty [25][26].

Světelné zdroje patří z hlediska celoročního provozu za nejpoužívanější. Proto by bylo vhodné zvolit úspornější světelné zdroje, jako LED žárovky, LED zářivky a úsporné zářivky, namísto klasických žárovek s wolframovým vláknem. Stmíváním světelných zdrojů se může docílit také větší efektivity využití energie, když se zrovna nevyžaduje kvalitní osvětlení [25][26].

V ostrovním režimu je vhodné mít spotřebiče napájené přímo na 12 V nebo 24 V pokud je to možné, neboť se zabrání ztrátám, které vznikají při průchodu střídačem a pak následně ve spínaných zdrojích spotřebičů. Stejným směrem napětím 12 V a 24 V jde napájet takové spotřebiče jako např. LCD televize, LCD monitory, světelné zdroje, počítače, vysavače, ruční nářadí (akumulátory vrtaček a šroubováků), čerpadla atd. Ne vždy je to však vhodné, neboť při velkých odběrech dochází k větším úbytkům napětí na vodičích, které se pak musí dimenzovat na větší průřez [25][26].

Velká část spotřebičů obsahuje zpravidla motory. Čerpadla a sekačky s asynchronním motorem mají v době rozběhu několikanásobně větší odběr (tří až pěti násobek) a zatěžují tak střídač. Z tohoto důvodu je pak nutné, naddimenzovat střídač o aspoň pěti násobek, než jaký má jmenovitý výkon daný spotřebič. Brusky, vrtačky, mixéry a vysavače mají motor s komutátorem, který oproti asynchronnímu motoru tolik střídač nepřetěžuje. Střídač stačí naddimenzovat na třínásobek jmenovitých výkonů daných zařízení [25][26].

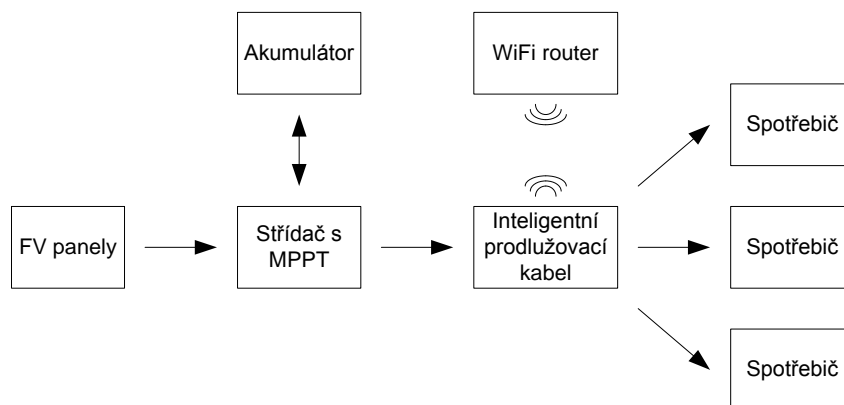
U pračky a myčky, které ohřívají vodu, je vhodné použít takové spotřebiče, které mají zvlášť přívod na teplou a studenou vodu. Lednice a chladicí boxy by měly pracovat v nejlepší energetické třídě [25][26].

5.2 Různé typy aplikací

Níže je popsáno několik způsobů, jak řídit systém spotřeby, dle aplikace zvoleného řídicího prvku.

5.2.1 Inteligentní systém

Pro jednu z jednodušších aplikací systému řízení spotřeby může být použito inteligentního prodlužovacího kabelu. Na obr. 5-2 je znázorněno schéma zapojení.

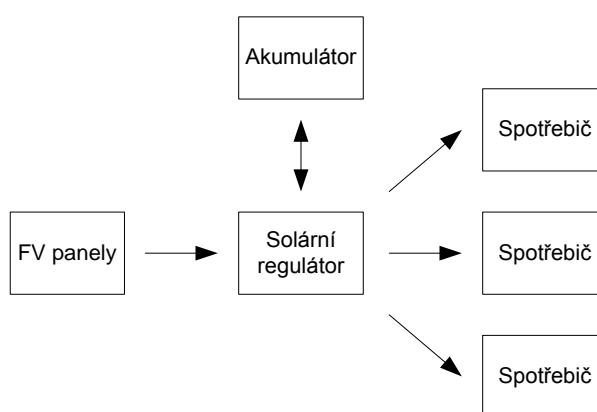


Obr. 5-2 Principiální schéma s použitím inteligentního prvku

Komunikace probíhá přes Wi-Fi, takže lze ovládat systém přes počítač nebo mobilní telefon. Prodlužovací kabel obsahuje několik zásuvek, tudíž lze do něj připojit stejný počet spotřebičů, či ho následně ještě rozvětvit. Každá zásuvka měří přítomnou spotřebu. Další funkcí je možnost nastavit dobu zapnutí nebo vypnutí zásuvky. Toto uskupení lze dále rozšířit o další prvky a vytvořit tak inteligentní systém od vypnutí všech zásuvek v domě až po nastartování elektrocentrály k dobití akumulátorů [34].

5.2.2 Solární regulátor

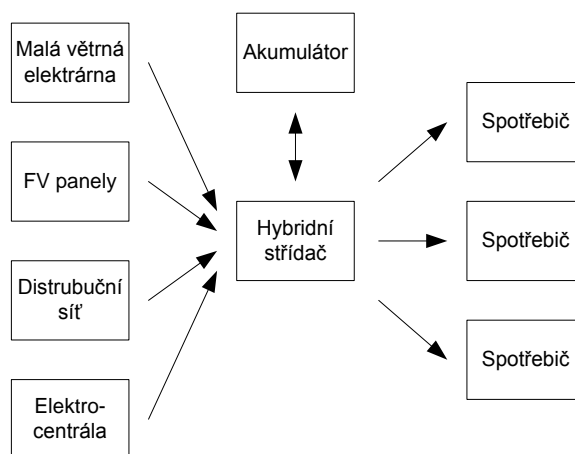
Solární regulátor, jehož základní funkce je ochrana před přebíjením akumulátorů a hlubokým vybitím, může mít naprogramované výstupy (LOAD). Připojené spotřebiče lze přepínat manuálně na regulátoru, či naprogramovanými automatickými spínáními. Na obr. 5-3 je znázorněno schéma nejzákladnějších prvků [26].



Obr. 5-3 Principiální schéma se solárním regulátorem, jakožto ovládacím prvkem [26]

5.2.3 Hybridní střídač

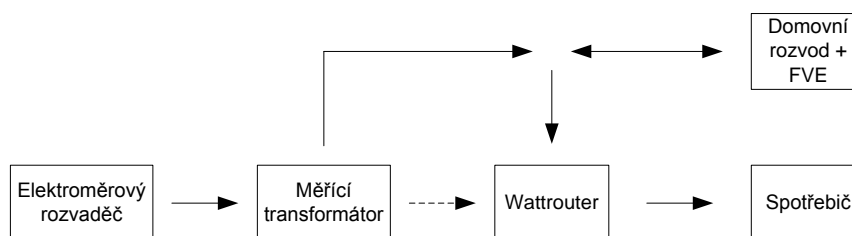
Hybridní střídač je dalším prvkem, který lze použít pro řízení spotřeby. Je zejména vhodný do míst s nestabilní dodávkou elektrické energie nebo do míst, kde není možné se připojit k veřejné elektrické síti. Může se propojit s FV panely, větrnými zdroji, elektrocentrálou a distribuční sítí. Pro FV panely obsahuje zpravidla vestavěný MTTP měnič. Výhodou systému je, že má několik variací, odkud dodat elektrickou energii spotřebičům. Na obr. 5-4 jde vidět možné prvky daného systému [51].



Obr. 5-4 Principiální schéma hybridního systému [51]

5.2.4 Systém s RS

Regulátor spotřeby je zařízení, které slouží k tomu, aby vyrobená elektrická energie z FVE, byla spotřebována v objektu a nepřetekla do DS. Mezi tyto zařízení patří WATTrouter nebo GreenBonO. Součástí RS je měřicí modul, který měří proud ve všech fázích v reálném čase na vstupu domovního elektrického rozvodu. Je-li detekován přetok do DS, je dán pokyn k napájení spotřebiče přes RS. Při východu Slunce dochází zpravidla k sepnutí prvního spotřebiče (ten s nevyšší prioritou). Chod systému bude popsán na WATTrouteru. Ten má dva typy výstupů a to, triakový a reléový. Triakový výstup se sepne okamžitě, když je detekována výroba a žádná spotřeba. Triakovými výstupy lze plynule držet „virtuální nulu“ výkonu na přechodu DS a objektu. Reléový výstup spíná spotřebič tehdy, překročí-li nastavený příkon spotřebiče výroba z FVE. K nejčastějším spotřebičům, které jsou připojeny k WATTrouteru, patří bojler k ohřevu TUV, topná tělesa akumulárního ústředního vytápění, elektrické podlahové vytápění, akumulární kamna a přímotopy. Na obr. 5-5 je plnými čarami zobrazen tok elektrické energie a přerušovanou čarou je zobrazeno propojení měřicího modulu s WATTrouterem. U toho systému nelze spoléhat na to, že by se zabránilo úplnému přetoku elektrické energie do DS [21][48].



Obr. 5-5 Principiální schéma s aplikací WATTrouteru [48]

5.3 Strnutí kapitoly

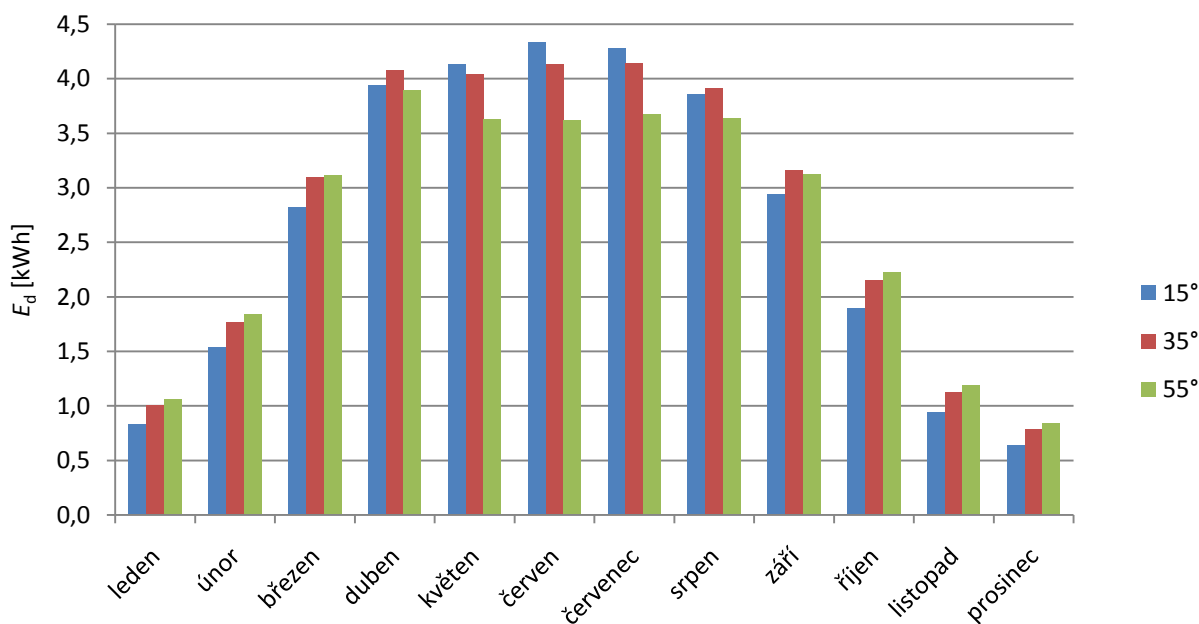
V této kapitole byly podrobněji popsány jednotlivé komponenty FV systému (FV panely, solární regulátor, akumulátor, střídač napětí a vhodné spotřebiče). Pro návrh systému je důležité porozumět, jak dané prvky optimálně fungují. V druhé části této kapitoly bylo vybráno několik způsobů, jak řídit spotřebu v objektu. Variací je mnoho a vždy záleží na vstupních podmínkách a přání uživatele, jak systém má fungovat a jaké prvky má obsahovat.

6 DIMENZOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ FV SYSTÉMU

Tato kapitola je zaměřena na správný návrh jednotlivých prvků ve FV systému. Při návrhu je vždy potřeba postupovat tak, aby nedocházelo ke zbytečným chybám, které by vedly k zbytečnému prodražení daného systému.

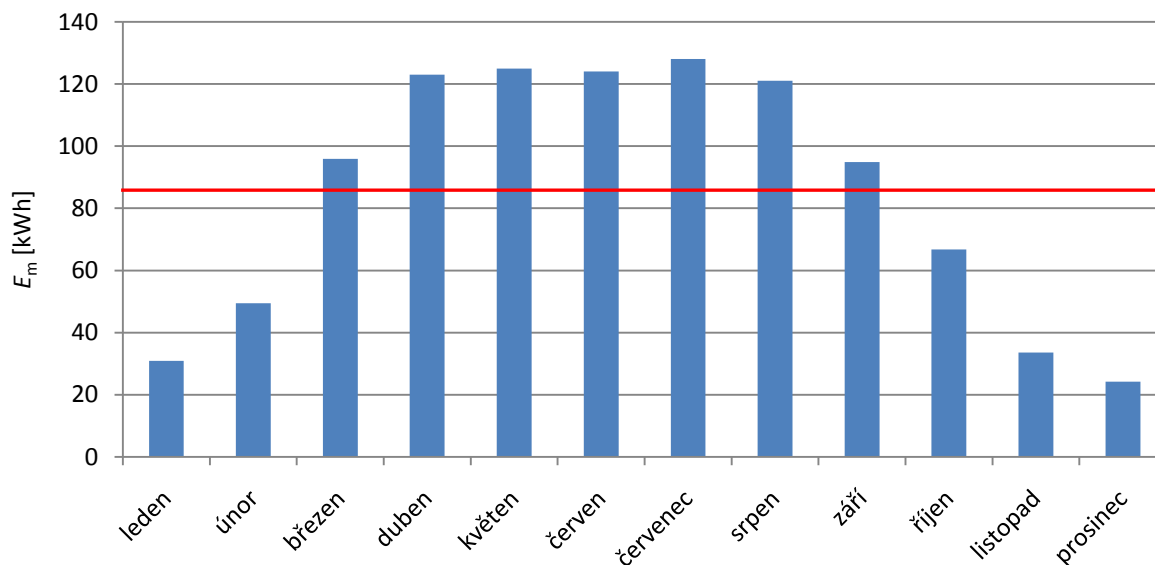
6.1 Dimenzování FV panelů

FV panely by měly být nasměrovány nejlépe na jih, aby se docílilo co nejdelší doby působení slunečního záření na panely. Sklon panelů je také velmi zásadní. Podle obr. 6-1, který znázorňuje průměrnou vyrobenou energii za den v daném měsíci při různých sklonech panelů se špičkovým výkonem o 1 kWp. Při optimálním sklonu, tj. sklon okolo 35°, panely vyrobí za rok nejvíce energie a to 1016,7 kWh. Při sklonu 55°, pak vyrobí celoročně nejméně energii o hodnotě 970,6 kWh, avšak v některých případech, pokud není možnost nadměrnou energii v létě spotřebovat, je vhodné si panely upravit tak, aby v zimním období dosahovaly nejvyšších hodnot. Ještě pro sklon 15° panely vyrobí nejvíce energie při letních měsících a v zimních naopak zase nejméně. Obr. 6-1 je sestaven z hodnot z tab. A-1 v příloze A získaných z webové aplikace PVGIS v okolí Brna. [38].



Obr. 6-1 Vyrobená denní el. energie při různých sklonech FV panelů o výkonu 1 kWp [38]

Množství energie, které vyrobí panely za měsíc při sklonu 35°, lze vidět na obr. 6-2. Data jsou čerpány z tab. A-1 v příloze A. Červená čára zobrazuje průměrnou hodnotu za rok z měsíčních produkcí el. energie a její velikost je 84,8 kWh. Zohlední-li se data za měsíc říjen, lze říci, že výroba el. energie je od měsíce března až do října včetně nadprůměrná. Naopak v mezidobí listopad - únor je výroba el. energie značně podprůměrná. Z hodnot od března do října pro denní produkci el. energie vychází, že průměrná denní produkce dosahuje hodnoty 3,59 kWh. Pro období od listopadu do února bude průměrná denní produkce el. energie jenom 0,95 kWh. Poslední dvě hodnoty jasně ukazují, že rozdíly v produkci el. energie v těchto dvou období jsou více než třetinové [26][38].



Obr. 6-2 Měsíční produkce el. energie FV panelů o výkonu 1 kWp při sklonu 35° [38]

V případě optimálního návrhu FV panelů u konkrétního denního odběru v měsících od března do října, poskytnou FV panely v období od listopadu do února zhruba polovinu potřebné energie, nikoli výše zmíněnou třetinu. Je to dáno tím, že výchozím údajem je hodnota pro nejmenší produkci v uvažovaném období, tj. měsíc říjen, a ne z průměru za dané měsíce. Tato logika se používá v případě plně fotovoltaického provozu. Pro dimenzování takového systému i pro zimní provoz, se pak musí brát jako výchozí nejhorší měsíc, tj. prosinec [26].

V případě dostupnosti nezávislého zdroje, např. elektrocentrály nebo elektrické přípojky, je výhoda v tom, že FV panely pokud jsou využity v zimě, není potřeba je dimenzovat pro měsíc prosinec, ale můžou se dimenzovat pro měsíc říjen. Pro období listopad - únor se počítá s jeho denním průměrem. Výstupem z výše popsané problematiky je, že navýšení počtu FV panelů kvůli období listopad - únor, kdy FV panely dodávají "zlomek" výkonu, by bylo značně neekonomické. Ve zkrácené finanční kalkulaci by se v podstatě takový systém trojnásobně prodražil, neboť by se musel výkon FV panelů navýšit třikrát, tzn. vyšší výdaje na střídač, akumulátory atd. [26]

Při návrhu je potřeba také brát v úvahu fakt, že v průběhu let dochází k degradaci maximálního výkonu. FVE se navrhuje obvykle na 20 let a výrobci FV panelů zpravidla garantují minimální výkon 90 % v průběhu prvních 10 let a v období 10 až 25 let už jen 80 % [36].

6.2 Dimenzování střídače

Po zvolení FV panelů a určení jejich zapojení je vhodné si ověřit zda napětí nebo proud je v příslušných mezích pro odpovídající invertor. Také je nutné vycházet i z celkového výkonu FV panelů, neboť každý invertor má určený maximální výkon, s kterým může pracovat. V případě invertoru připojeného k DS, platí podle 4. přílohy Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS): *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*, že u fotočlánkových zařízení připojovaných do sítí NN je omezen výkon při jednofázovém připojení v jednom přípojném bodě na 3,7 kVA/fázi, nesymetrie u fázových vodičů nesmí za normálního provozního stavu překročit 3,7 kVA [15].

Rovnice 6.1 vyjadřuje vztah, že napětí naprázdno při teplotě -15 °C ($U_{OC(-15\text{ °C})}$) (jedná se o maximální napětí, které se na stringu může objevit) nesmí být větší než maximální napětí na DC straně invertoru U_{DC-MAX} [55]:

$$U_{OC(-15\text{ °C})} < U_{DC-MAX} \cdot (V; V) \quad (6.1)$$

Rovnice 6.2 a 6.3 se týká ověření, zda napětí na FV panelech bude v rozmezí vstupního napětí na MPP trackeru střídače při maximálním výkonu. Rovnice 6.2 vyjadřuje, že napětí stringu v bodě maximálního výkonu při teplotě -15 °C ($U_{MPP(-15\text{ °C})}$) musí být menší než maximální napětí na vstupu MPP trackeru $U_{MPP-MAX}$ [55]:

$$U_{MPP(-15\text{ °C})} < U_{MPP-MAX} \cdot (V; V) \quad (6.2)$$

Rovnice 6.3 stanovuje, že napětí stringu v bodě maximálního výkonu při teplotě 70 °C ($U_{MPP(70\text{ °C})}$) musí být větší než minimální napětí na vstupu MPP trackeru $U_{MPP-MIN}$ [55]:

$$U_{MPP-MIN} < U_{MPP(+70\text{ °C})} \cdot (V; V) \quad (6.3)$$

Pro paralelní větve platí rovnice 6.4, která určuje, že celkový proud ze stringů v bodě maximálního výkonu při teplotě 25 °C ($I_{MPP(25\text{ °C})}$) má být menší než maximální proud na vstupu invertoru I_{DC-MAX} [55]:

$$I_{MPP(25\text{ °C})} < I_{DC-MAX} \cdot (A; A) \quad (6.4)$$

Při výběru invertoru je potřeba ještě věnovat pozornost [2]:

- účinnosti invertoru, která by měla přesahovat 90 %,
- musí mít označení podle pravidel EU a prohlášení o shodě podle požadavků konkrétního státu,
- ztráta v režimu stand-by by měla být minimální,
- inverter musí splňovat třídu ochrany odpovídající příslušnému místu instalace,
- stejnosměrné výstupy musí být jištěny proti přepětí.

6.3 Dimenzování akumulátorů

Návrh akumulátorů se řadí mezi důležité části návrhu FV systému. V ostrovních aplikacích se uživatelé stávají závislým na uložené energii v akumulátorech při oblačných dnech a v nočních hodinách. Často dochází k předdimenzování nebo poddimenzování akumuláčního systému. Z investičního hlediska se také jedná o významnou položku v celkové investici.

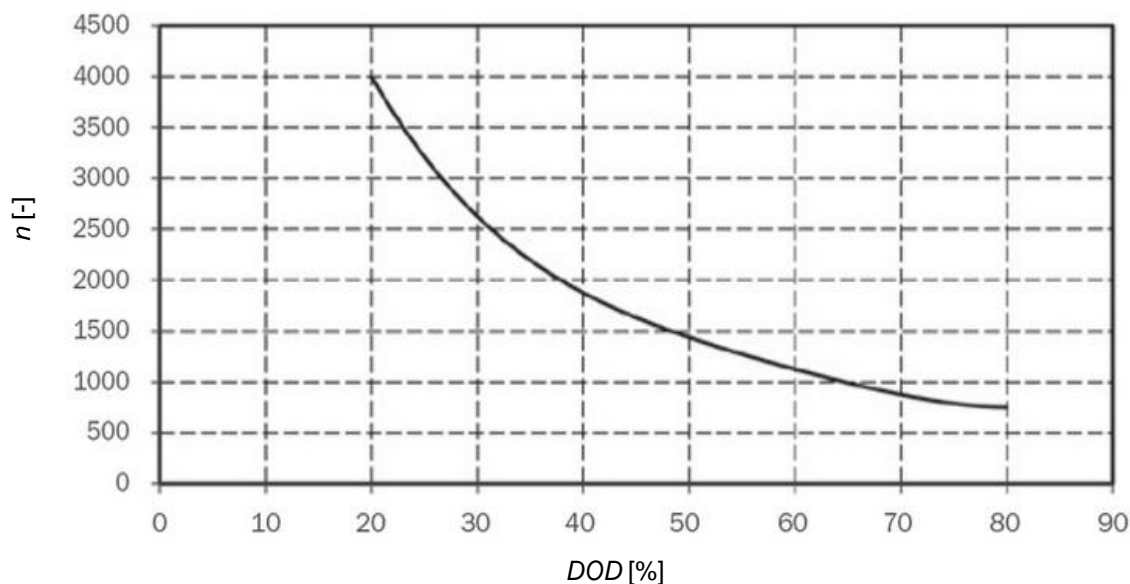
V případě off-grid aplikací se dimenzování kapacity akumulátorů provádí na několik dní se sníženou intenzitou slunečního záření, zpravidla se jedná o 3 dny.

Při návrhu je potřeba zohlednit při jakém systémovém napětí budou akumulátory pracovat z důvodu určení vybíjecích proudů, neboť optimální vybíjecí proud se blíží násobku dané kapacity akumulátoru. Např. pro LiFePO₄-40Ah akumulátor je optimální nabíjecí nebo vybíjecí proud roven polovině kapacity (značení 0,5 C), tedy hodnotě optimálního vybíjecího proudu $I_{VYB} = 20\text{ A}$. Tuto hodnotu je pak nutné respektovat, neboť při překročení toho proudu dochází ke snížení životnosti akumulátoru, neboli počtu cyklů [30][37].

Samovybití akumulátor se týká všech typů provedení. Konkrétně akumulátor se zaplavenými elektrodami, se díky vnitřním pochodům, zcela vybit v rozmezí 6 až 9 měsíců. Při odstavených akumulátorech dojde k poklesu kapacity o 20 % u LiFePO₄ za víc jak 6 měsíců, u

gelových akumulátorech během 6 měsíců, u AGM akumulátorů zhruba za 4 měsíce a se zaplavenými elektrodami za 2 měsíce. Samovybíjení se zhoršuje stářím akumulátorů a je závislé na okolní teplotě. S rostoucí teplotou okolí se samovybíjení akumulátoru zhoršuje. Je potřeba tedy akumulátory uchovávat v chladnějším a suchém prostředí. Klasické akumulátory, díky samovolnému vybíjení, snižují své svorkové napětí asi o $8-10 \text{ mV} \cdot \text{den}^{-1}$, AGM akumulátory zhruba o $3-4 \text{ mV} \cdot \text{den}^{-1}$ a gelové o $2-3 \text{ mV} \cdot \text{den}^{-1}$ [30].

Hloubka vybíjení má zásadní vliv na životnost akumulátorů. Vybíjení akumulátorů do značné hloubky způsobí zkrácení jejich životnosti. Toto tvrzení si lze ověřit na obr. 6-3, kde lze vidět křivku, která charakterizuje závislost počtu cyklů (nabíjení a vybíjení) na hloubce vybíjení. Bude-li se akumulátor pravidelně vybíjet jen do $DOD = 30 \%$, pak lze předpokládat, že akumulátor vydrží 2600 cyklů. Při hlubokém vybití akumulátoru je důležité ho co v nejkratší době znovu dobít, neboť by mohlo dojít k jeho zničení. Akumulátory se zaplavenými elektrodami vydrží hloubce vybité nejvýše 1 až 2 dny, gelové až 4 týdny a AGM okolo 2 týdnů [30].



Obr. 6-3 Závislost životnosti akumulátoru na hloubce vybíjení [42]

6.4 Dimenzování přepět'ových ochran

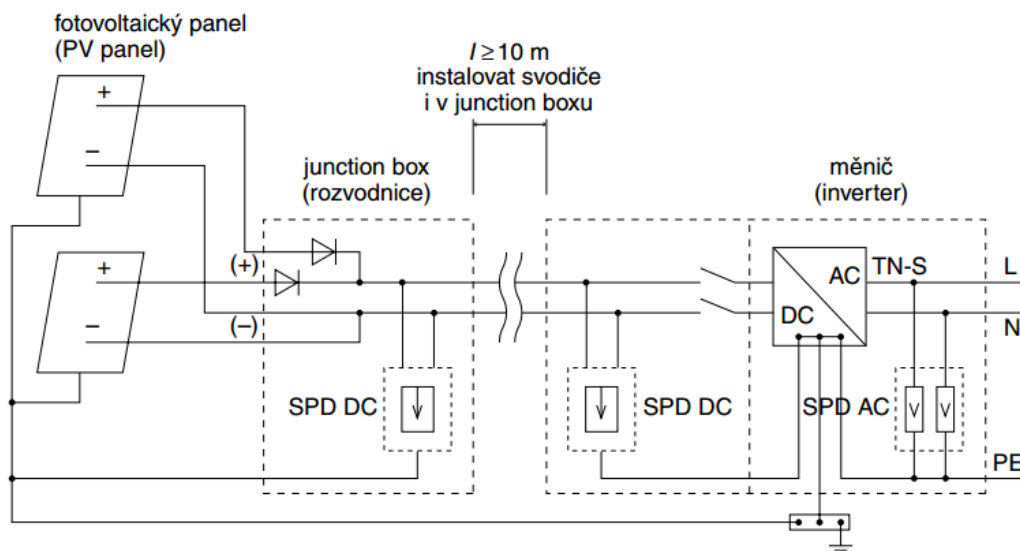
Na dimenzování přepět'ových ochran by se nemělo v žádném případě zapomínat, neboť je to prostředek, který dokáže do určité míry ochránit FVE před nebezpečným atmosférickým a indukovaným přepětím. Investice do FV systémů bývají nákladné a její návratnost se počítá na roky, tudíž je potřeba danou investici nějakou formou chránit. Vybrané ochrany se aplikují jak na výstupní straně střídače, ale také na straně FV panelů. Návrh FV systémů a jejich ochrana před bleskem se řídí podle normy ČSN 33 2000-7-712 a souboru norem ČSN EN 62305. Mezi používané kombinace patří pospojování na společný potenciál, zemnění, stínění a ochranných součástí (přepět'ových ochran) [52].

Na obr. 6-4 je zobrazené zapojení FV systému a označeny místa, kam by se přepět'ové ochrany měly umístit. Při aplikaci přepět'ových ochran na DC straně střídače je potřeba vědět, že se zde vyskytuje několik úrovní stejnosměrného napětí a je potřeba dodržet jejich velikosti podle následující rovnice [52]:

$$U_{MPP} < U_{OC-STC} \leq U_{DC-MAX}, (V; V; V) \quad (6.5)$$

kde U_{MPP} je napětí na FV panelech v bodě maximálního výkonu,
 U_{OC-STC} je normalizované zkušební napětí naprázdno FV panelů,
 U_{DC-MAX} je maximální vstupní napětí na DC straně střídače.

Při výběru správného napětí pro přepětovou ochranu na DC straně střídače musí mít toto napětí hodnotu stejnou nebo vyšší než je hodnota U_{OC-STC} , a současně musí platit rovnice 6.5 [52].



Obr. 6-4 Principiální schéma zapojení FV systému a umístění přepětových ochran [52]

6.5 Shrnutí kapitoly

V této kapitole je řešena problematika dimenzování FV panelů, střídače, akumulátoru a přepětových ochran. U FV panelů je probíráno postup, jak správně určit jejich špičkový výkon v případě off-grid i on-grid aplikací, také demonstrován na příkladě. Při vybírání střídače je nutné si ověřit, zda splní technické požadavky FV pole a legislativy. Pro akumulátory platí soubor pravidel jak s nimi zacházet a jaké mají vlastnosti a brát na ně zřetel. Přepětové ochrany slouží k ochraně před účinky atmosférických přepětí a je nutné je umístit na AC i DC stranu střídače.

7 NÁVRH ZÁLOŽNÍHO SYSTÉMU NAPÁJENÍ

V této kapitole bude proveden návrh záložního systému napájení. Systém bude navrhnout tak, aby v zimním období splňoval podmínky záložního zdroje v případě výpadku DS a v teplejších měsících bude plnit funkci v optimalizaci vlastní spotřeby. Výpadky elektrické energie nelze v odlehlejších lokalitách podceňovat a zákazník by si měl být vědom možnosti přerušení napájení. V případě zájmu koupě nemovitosti v podobně se nacházejících oblastech je vhodné si zjistit četnost a délku doby výpadků elektřiny. To představuje ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení (SAIFI) a ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení (SAIDI).

7.1 Základní údaje

Následný návrh není určen pro konkrétní objekt, respektive nemovitost. Lze ho tedy modifikovat podle svého uvážení a potřeb, ať už počtem FV panelů, kapacity akumulátorů atd. Pro výchozí návrh se počítá s tím, že budova rodinného domu se sedlovou střechou bude orientována tak, že štítové budovy budou směřovat na východ a západ, tzn. plocha střechy bude orientována na severní a hlavně jižní stranu, která je pro návrh FV systému nejpodstatnější. V některých případech se umísťují panely i na východní či západní stranu, pokud na jižní střeše není dostatek prostoru pro instalaci panelů. Pak se ale musí respektovat ztráty v podobě možné nevyrobené energie. Pro návrh se tedy počítá se zkosením střechy pod úhlem 35° a orientací na jižní stranu. Ještě je potřeba zmínit, že na střechu nebudou vrhány žádné stíny od případných překážek, tj. komín, jímací soustava, strom, okolní zástavba atd., které by snižovaly účinnost navrhovaného systému. Pro následující výpočty a získání vstupních dat v podobě předpokládané roční produkce pomocí webové aplikace PVGIS budou vybrány GPS souřadnice z okolí Brna ($49^\circ 14' 49''\text{N}$, $16^\circ 33' 54''$, 266 m n.m.). PDS této oblasti je firma E.ON Distribuce, a.s, která je součástí skupiny E.ON. Pro rok 2013 byly získány údaje z ERÚ o přerušení a doby trvání dodávek, tj. $SAIFI = 2,4 \text{ l} \cdot \text{rok}^{-1}$ a $SAIDI = 386,66 \text{ min} \cdot \text{rok}^{-1}$ [18][38].

Předpokládá se, že dům bude obývat 3-členná rodina (2 dospělí a 1 dítě) a daný objekt bude obsahovat kuchyni, WC, koupelnu, obývací pokoj, ložnici, dva pokoje, chodbu, technickou místnost a sklep.

Elektrický rozvod bude disponovat střídavými jednofázovými zásuvky na napětí 230 V a počítá se také s jednou střídavou třífázovou zásuvkou 400 V. Svítidla budou napájeny střídavým jednofázovým napětím 230 V. Jednopolové schéma domovního rozvodu a navrhovaného systému je v příloze D. Jeden okruh zásuvek a okruh osvětlení bude moci být přepínat buď na distribuční síť nebo na výstup z hybridního střídače. Toto řešení je to vhodné z důvodu přemostění střídače v případě, kdyby měl poruchu.

V technické místnosti bude umístěna akumulační nádrž s vnitřním zásobníkem teplé vody. V akumulační nádrži budou dva uzavřené okruhy, kdy spodní okruh bude napojen na solární kolektory. Horní okruh bude napojen na vytápění, fungující samotíži, propojený ještě s kotlem na tuhá paliva a plynový kotel. V zimních měsících bude ohřev vody a vytápění pracovat na solární kolektory a kotlem na tuhá paliva. V letních měsících budou primárně ohřívat vodu solární kolektory a dohřev bude umožněn plynovým kotlem. Uzavřený okruh se solárními kolektory bude řídit regulátor, který bude ovládat oběhové čerpadlo. Dům bude napojen na vodovodní řád.

Pro vaření se počítá s plynovým sporákem a elektrickou troubou.

7.2 Volba jednotlivých komponent

7.2.1 FV panely

Pro FV systém byly vybrány panely z polykrystalického křemíku, neboť pro oblast ČR platí, že převládá spíše difúzní složka nad přímou složkou slunečního záření a právě polykrystalické panely jsou vhodnější než panely z monokrystalického křemíku při zpracování tohoto záření. Byly vybrány panely od firmy OMSUN, konkrétně model OMP250. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 7-1 a úplný katalogový list je na obr. B-1 a obr. B-2 v příloze B [36].

Tab. 7-1 Základní údaje FV panelu [36]

Výrobce:	OMSUN
Modelová řada:	OMP
Typ:	OMP250
P_{MPP} :	250 W _p
U_{MPP} :	31,36 V
I_{MPP} :	7,98 A
U_{OC} :	38,41 V
I_{SC} :	8,51 A
η :	15,20 %
T_{OC} :	-0,338 % · K ⁻¹

Na střeše bude umístěno 10 panelů o výkonu 250 W_p a celkový instalovaný výkon bude tedy činit 2,5 kW_p.

Panely budou zapojeny do jednoho stringu a budou ukotveny na střeše pomocí sady na uchycení. Tato souprava obsahuje 2 hliníkové profily a další potřebné příslušenství pro uchycení (střešní háky, krajní úchyty, středové úchyty atd.). Střešní háky se připevní na trámy pod střešní krytinou. Na vyvedenou stranu háků zpod tašek se upevní hliníkové profily. Panely se následně připevní pomocí koncových a středových úchytků ke dvěma hliníkovým profilům [27].

7.2.2 Střídač

Jako střídač FV systému byl vybrán InfiniSolar 3kW od firmy Voltronic Power. Jedná se o inteligentní hybridní střídač, který umí pracovat v ostrovním a síťovém režimu. Příčinou jeho vybrání bylo, že disponuje už zabudovaným MPPT solárním regulátorem a přijatelnou cenou. Je vhodný z důvodů zaměření na vlastní spotřebu a uskladňování přebytků vyrobené elektrické energie do akumulátorů. Kombinuje výhody síťového a ostrovního systému. Má vysokou účinnost přeměny energie společně se záložním systémem fungujícím i při výpadku DS. Střídač se umí připojit k AC síti a pracovat s ní v paralelním režimu [56].

Při volbě střídače se musí také ověřit splnění podmínek správného dimenzování měniče, respektive panelů. Mezi první podmínku se řadí, že instalovaný výkon FV panelů nepřesáhne maximální výkon FV vstupu na měniči. Celkový instalovaný výkon FV panelů činí 2,5 kW_p a maximální vstupní FV výkon měniče je 3,2 kW, takže první podmínka bude splněna [56].

Zapojení panelů do série bude znamenat, že maximální proud, který z panelů může téct do střídače, se bude rovnat proudu $I_{MPP} = 7,98$ A. FV vstup střídače dokáže zpracovat proud až do $I_{DC-MAX} = 13$ A, takže riziko přetížení střídače nehrozí [36][56].

Dále je potřeba ověřit maximální možné napětí, tj. napětí naprázdno při $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro napětí při jmenovitém výkonu při $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Všechny hodnoty jsou uvedeny většinou v katalogu daného FV panelu (U_{OC} , U_{MPP} a T_{OC}) a střídače (U_{DC-MAX} , $U_{MPP-MIN}$ a $U_{MPP-MAX}$). Pro přepočítání napětí je potřeba znát teplotní koeficient panelů. Pro vybrané panely je to hodnota $T_{OC} = -0,338\text{ \%}\cdot\text{K}^{-1}$. Vynásobením napětím naprázdno bude mít teplotního koeficientu hodnotu a rozměr $T_{OC} = -0,130\text{ V}\cdot\text{K}^{-1}$. V tomto případě bylo nutné převést hodnotu teplotního koeficientu z poměrných jednotek do reálných. V některých katalozích však výrobci přímo uvádějí hodnotu v reálných jednotkách. Základní informace o FV vstupu střídače jsou v tab. 7-2 a úplné katalogové údaje střídače jsou na obr. B-3 v příloze B [36][55][56].

Tab. 7-2 Základní informace střídače [56]

Výrobce:	Voltronic Power
Typ:	InfiniSolar 3kW
FV vstup	
P_{MAX} :	3200 W
U_{DC-MAX} :	500 V
$U_{MPP-MIN}$:	250 V
$U_{MPP-MAX}$:	450 V
I_{MAX} :	13 A
AC výstup	
$P_{n(AC-OUT)}$:	3000 W
$I_{n(AC-OUT)}$:	13 A
U_n :	230 V
η :	95 %

Rovnice 7.1 až 7.4 ověřují maximální možné napětí stringu, tedy napětí naprázdno při $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vychází z rovnice 6.1). Výsledné napětí stringu je $U_{OC(-15\text{ }^{\circ}\text{C})} = 436,1\text{ V}$ a maximální napětí na FV vstupu střídače činí $U_{DC-MAX} = 500\text{ V}$, takže podmínka bude splněna [36][55][56]:

$$U_{OC(-15\text{ }^{\circ}\text{C})} < U_{DC-MAX}, (\text{V}; \text{V}) \quad (7.1)$$

$$n_p \cdot (U_{OC} + (\Delta T_{-15\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot T_{OC})) < U_{DC-MAX}, (-, \text{V}, \text{K}, \text{V}\cdot\text{K}^{-1}; \text{V}) \quad (7.2)$$

$$10 \cdot (38,41 + (-15 - 25) \cdot (-0,130)) < 500, (-, \text{V}, \text{K}, \text{V}\cdot\text{K}^{-1}; \text{V}) \quad (7.3)$$

$$436,1 < 500, (\text{V}; \text{V}) \quad (7.4)$$

Rovnice 7.5 až 7.8 kontroluje, zda napětí stringu v bodě maximálního výkonu při teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ nepřesáhne napětí MPP trackeru v střídači (vychází z rovnice 6.2). Výsledné napětí stringu $U_{MPP(-15\text{ }^{\circ}\text{C})} = 365,6\text{ V}$ bude menší než napětí střídače $U_{MPP-MAX} = 450\text{ V}$, takže i tato podmínka bude splněna [36][55][56]:

$$U_{MPP(-15\text{ }^{\circ}\text{C})} < U_{MPP-MAX}, (\text{V}; \text{V}) \quad (7.5)$$

$$n_p \cdot (U_{MPP} + (\Delta T_{-15\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}} \cdot T_{OC})) < U_{MPP-MAX}, (-, \text{V}, \text{K}, \text{V}\cdot\text{K}^{-1}; \text{V}) \quad (7.6)$$

$$10 \cdot (31,36 + (-15 - 25) \cdot (-0,130)) < 450, (-, \text{V}, \text{K}, \text{V}\cdot\text{K}^{-1}; \text{V}) \quad (7.7)$$

$$365,6 < 450, (\text{V}; \text{V}) \quad (7.8)$$

Poslední kontrolu na správné dimenzování strany FV panelů a střídače zobrazují rovnice 7.9 až 7.12, které vychází z rovnice 6.3. Výpočty ověřují, zda napětí stringu v bodě maximálního výkonu při teplotě +70 °C neklesne pod minimální napětí MPP trackeru. Výsledné napětí stringu $U_{MPP(+70\text{ °C})} = 255,1\text{ V}$ je větší než napětí $U_{MPP-MIN} = 250\text{ V}$, takže i poslední podmínka je korektní [36][55][56]:

$$U_{MPP-MIN} < U_{MPP(+70\text{ °C})}, (\text{V}; \text{V}) \quad (7.9)$$

$$U_{MPP-MIN} < n_p \cdot (U_{MPP} + (\Delta T_{25\text{ °C} - 70\text{ °C}} \cdot T_{OC})), (\text{V}; -, \text{V}, \text{K}, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (7.10)$$

$$250 < 10 \cdot (31,36 + (70 - 25) \cdot (-0,130)), (\text{V}; -, \text{V}, \text{K}, \text{V} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (7.11)$$

$$250 < 255,1. (\text{V}; \text{V}) \quad (7.12)$$

7.2.3 Propojovací prvky

DC vodiče (trasa FV panely - střídač)

Vodiče mezi FV panely a střídačem zpravidla mívají průměr 4 mm² nebo 6 mm². Používají se speciální FV vodiče, které jsou odolné proti venkovním vlivům, např. ozónu, UV zářením, olejům, povětrnostním vlivům a chemikáliím. Jsou vhodné pro venkovní i vnitřní instalace a můžou se umístit i do kabelových trubek a kanálů [11].

V trase FV panely - střídač budou instalovány dva 4 mm² vodiče (každý pro jeden pól; s červenou izolací pro kladný pól a modrý pro záporný pól). Tyto kabely jsou vhodné do vzdálenosti 20 m a dokážou vést proud až do 16 A [11].

Po výběru daných vodičů je vhodné provést také kontrolu na výkonové ztráty, které můžou na nich vzniknout. V rovnici 7.13 jsou spočítány procentuální výkonové ztráty, kde měrný odpor byl určen z katalogu od firmy Draka a jeho hodnota je 4,85 Ω·km⁻¹. Délka vodičů činí 10 m [11]:

$$\Delta P_{\%(\text{DC-FV})} = \frac{2 \cdot R_k \cdot l \cdot I_{MPP}^2}{P_{MPP}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 4,85 \cdot 0,01 \cdot 7,98^2}{2500} \cdot 100 = \quad , (\%; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}, \text{A}, \text{W}) \quad (7.13)$$

$$= 0,25 \%$$

kde $\Delta P_{\%(\text{DC-FV})}$ jsou procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi panely a střídačem,
 R_k je odpor vodiče na jednotku délky,
 l je délka vodiče,
 I_{MPP} je proud v bodě maximálního výkonu,
 P_{MPP} je špičkový výkon.

DC vodiče (akumulátor - střídač)

Mezi akumulátorem a střídačem budou vodiče o průměru 25 mm² a délce 5 m. Propojení mezi jednotlivými akumulátory bude uskutečněno pomocí měděných propojek pro LiFePO4 články. Procentuální výkonové ztráty jsou vypočítány pro maximální nabíjecí a vybíjecí proudy. Měrný odpor vodiče byl vybrán z katalogu firmy Draka a činí 0,78 Ω·km⁻¹ [10]:

$$\Delta P_{\%(\text{DC-NAB})} = \frac{2 \cdot R_k \cdot l \cdot I_{MAX(\text{NAB})}^2}{U_{N(\text{DC})} \cdot I_{MAX(\text{NAB})}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,78 \cdot 0,005 \cdot 25^2}{48 \cdot 25} \cdot 100 = \quad , (\%; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}, \text{A}, \text{W}) \quad (7.14)$$

$$= 0,41 \%$$

$$\begin{aligned}\Delta P_{\%(\text{DC-VYB})} &= \frac{2 \cdot R_k \cdot l \cdot I_{\text{MAX(VYB)}}^2}{U_{\text{N(DC)}} \cdot I_{\text{MAX(VYB)}}} \cdot 100 = & , (\%; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}, \text{A}, \text{W}) \quad (7.15) \\ &= \frac{2 \cdot 0,78 \cdot 0,005 \cdot 92^2}{48 \cdot 92} \cdot 100 = 1,50 \%\end{aligned}$$

kde $\Delta P_{\%(\text{DC-NAB})}$ jsou procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi baterií a střídačem při nabíjení,
 $\Delta P_{\%(\text{DC-VYB})}$ jsou procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi baterií a střídačem při vybíjení,
 R_k je odpor vodiče na jednotku délky,
 l je délka vodiče,
 $I_{\text{MAX(NAB)}}$ je maximální nabíjecí proud,
 $I_{\text{MAX(VYB)}}$ je maximální vybíjecí proud,
 $U_{\text{N(DC)}}$ je jmenovité DC napětí měniče na straně akumulátorů.

AC vodič (měnič - domovní rozvaděč)

Propojení výstupu měniče a domovního rozvaděče bude pomocí kabelu CYKY-J 3x4 mm². Odpor vodiče na jednotku délky je 4,7 Ω·km⁻¹ určené od firmy Prakab. Délka vedení bude 10 m. Ztráty na straně AC vedení budou [40]:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\%(\text{AC-OUT})} &= \frac{R_k \cdot l \cdot I_{\text{N(AC-OUT)}}^2}{P_{\text{N(AC-OUT)}}} \cdot 100 = \frac{4,7 \cdot 0,01 \cdot 13^2}{3000} \cdot 100 = & . (\%; \Omega \cdot \text{km}^{-1}, \text{km}, \text{A}, \text{W}) \quad (7.16) \\ &= 0,26 \%\end{aligned}$$

kde $\Delta P_{\%(\text{AC-OUT})}$ jsou procentuální výkonové ztráty na vodičích mezi střídačem a domovním rozvaděčem,
 R_k je odpor vodiče na jednotku délky,
 l je délka vodiče,
 $I_{\text{N(AC-OUT)}}$ je jmenovitý proud na výstupní AC straně střídače,
 $P_{\text{N(AC-OUT)}}$ je jmenovitý výkon na výstupní AC straně střídače

Celkové ztráty ve vodičích

Pro pozdější výpočet celkových ztrát v systému je třeba určit souhrnné ztráty ve vodičích $\Delta P_{\%(\text{vedení})}$. Přechodový odpor v kontaktech není započítán:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\%(\text{vedení})} &= \Delta P_{\%(\text{DC-FV})} + \Delta P_{\%(\text{DC-NAB})} + \Delta P_{\%(\text{DC-VYB})} + \Delta P_{\%(\text{AC-OUT})} = & (\%; \%; \%; \%; \%) \quad (7.17) \\ &= 0,25 + 0,41 + 1,50 + 0,26 = 2,42 \%\end{aligned}$$

7.2.4 Přepět'ové ochrany

Při výběru přepět'ové ochrany se postupovalo podle kap. 6.4, kde na straně DC střídače se musela zvolit taková přepět'ová ochrana, která bude mít stejnou nebo vyšší hodnotu maximálního trvalého provozního napětí U_{CPV} než maximální napětí naprázdno $U_{\text{OC-STC}}$ panelů. Podle rovnice 6.5 se ověřila podmínka a určilo se napětí naprázdno $U_{\text{OC-STC}}$ [36][43][52][56]:

$$n_p \cdot U_{\text{MPP}} < n_p \cdot U_{\text{OC-STC}} \leq U_{\text{DC-MAX}}, (\text{V}; \text{V}; \text{V}) \quad (7.18)$$

$$10 \cdot 31,36 < 10 \cdot 38,41 \leq 500, (\text{V}; \text{V}; \text{V}) \quad (7.19)$$

$$313,6 < 384,1 \leq 500. \text{ (V; V; V)} \quad (7.20)$$

Byla vybrána přepěťová ochrana FLP-PV500 V/U , která má nejvyšší trvalé provozní napětí $U_{CPV} = 500 \text{ V}$. Výrobce doporučuje, aby ochrana splňovala ještě následující kritérium [43][52][56]:

$$1,2 \cdot U_{OC-STC} \leq U_{CPV}, \text{ (V; V)} \quad (7.21)$$

$$1,2 \cdot 384,1 \leq 500, \text{ (V; V)} \quad (7.22)$$

$$460,92 \leq 500. \text{ (V; V)} \quad (7.23)$$

Vedení na straně DC bude doplněno ještě pojistkovým odpínačem a příslušnými pojistky. Byly vybrány pojistky s jmenovitým proudem $I_n = 12 \text{ A}$ a jmenovitým napětím $U_n = 1000 \text{ V}$ s charakteristikou vhodnou pro FV aplikace.

Na AC straně měniče byla vybrána ochrana SLP-275 V/1 [43].

7.2.5 Akumulátory

Záložní sestava bude tvořena ze sériově zapojených šestnácti LiFePO4 3,2V 40Ah akumulátorů. Články jsou schopné vést trvale proud do 0,5 C (poloviny své kapacity, tj. 20 A) a také 3 C trojnásobek své kapacity, tj. 120 A) po dobu 15 minut. Životnost těchto článků je více než 5000 cyklů při 80% hloubce vybíjení. Daný záložní systém předpokládá s hloubkovým vybíjením jen do 40 %, takže se očekává životnost okolo 7000 cyklů, tedy něco kolem 20 let. Tento typ akumulátoru dále disponuje zanedbatelným samovybíjením a netrpí paměťovým efektem. Účinnost LiFePO4 akumulátorů je 92 % [27][37].

Každý akumulátor bude mít k sobě připojený pasivní balancovací modul. K monitoringu jednotlivých článků budou sloužit dva Cell Loggery [27].

7.3 Připojení k DS a způsob zapojení

Navrhovaný systém bude fungovat jako HFVE a nebude dodávat elektřinu do DS. Tento typ zapojení nepočítá s vyděláním výrobou elektřiny a veškerá vyrobená energie bude spotřebována v objektu. Z toho plyne, že tento hybridní solární systém nepotřebuje licenci a jelikož vlastník nebude výrobcem elektřiny nevztahují se na něho povinnosti jako na ostatní výrobce elektřiny jako podávání měsíčního hlášení o výrobě na OTE a jiné [32].

Pro instalaci toho hybridního solárního systému je nutné si obstarat povolení stavebního úřadu a ohlásit provoz HFVE příslušnému PDS [32].

7.4 Výpočet vyrobené energie

Pro výpočet vyrobené energie bude použit PVGIS, v kterém bude potřeba ještě nastavit příslušné operace. Před tím je nutné spočítat celkové systémové ztráty, neboť je to jedna z kritérií daného výpočtu.

Do celkových ztrát systému musí být zahrnuty ztráty ve vedení $\Delta P_{\%(\text{vedení})}$, akumulátorech $\Delta P_{\%(\text{AKU})}$, střídači při nabíjení $\Delta P_{\%(\text{DC/DC})}$ a vybíjení $\Delta P_{\%(\text{DC/AC})}$. Do celkových ztrát se musí ještě započítat vlivy jako znečištění panelů, ztráty přízpusobení MPP, náhodné zastínění panelů atd. Tyhle ztráty jsou zahrnuty pod $\Delta P_{\%(\text{ostatni})}$. Výsledné celkové ztráty $\Delta P_{\%(\text{celkem})}$ se spočítají následovně:

$$\Delta P_{\%(celkem)} = \Delta P_{\%(\text{vedení})} + \Delta P_{\%(AKU)} + \Delta P_{\%(\text{DC/DC})} + \Delta P_{\%(\text{DC/AC})} + \Delta P_{\%(\text{ostatní})} = , (\%;\%;\%;\%;\%) \quad (7.24)$$

$$= 2,42 + 8 + 5 + 7 + 5,16 = 27,58 \%$$

V tab.7.3 jsou uvedené parametry, které byly zadány v aplikaci PVGIS [38].

Tab. 7-3 Zadané parametry v aplikaci PVGIS [38]

PVGIS databáze:	Climate-SAF PVGIS
Souřadnice:	49°14'49"N, 16°33'54"E
Technologie panelů:	Krystalický křemík
Instalovaný výkon:	2,5 kWp
Systémové ztráty:	27,58 %
Instalace:	Součást budovy
Sklon:	35°
Azimut:	0°

PVGIS přidává k zadaným systémovým ztrátám ještě ztráty způsobené teplotou a nízkým slunečním zářením a úhlové odrazivosti. V tab. 7-4 jsou získané hodnoty z aplikace PVGIS vyrobené elektrické energie, která je určena pro spotřebiče a jsou v ní zohledněny všechny ztráty systému. V prvním sloupci tabulky jsou průměrné denní produkce elektrické energie v daném měsíci. Ve druhém sloupci jsou zobrazeny průměrné měsíční produkce elektrické energie [38].

Tab. 7-4 Výstup z webové aplikace PVGIS [38]

Měsíc	E_d	E_m
	[kWh]	[kWh]
Leden	2,17	67,3
Únor	3,74	105,0
Březen	6,23	193,0
Duben	8,15	244,0
Květen	8,03	249,0
Červen	8,15	245,0
Červenec	8,21	254,0
Srpen	7,80	242,0
Září	6,36	191,0
Říjen	4,45	138,0
Listopad	2,42	72,7
Prosinec	1,66	51,5
Roční průměr [kWh]	5,62	171,0
Celkem za rok [kWh]	2050	

7.5 Spotřeba objektu a zálohování

V tab. 7-5 je uveden seznam spotřebičů, které budou v objektu instalovány a používány. Příkony jednotlivých spotřebičů byly zjištěny z katalogových listů distribuovaných na internetu a byla udělána rezerva v položce "ostatní" pro spotřebiče: nabíječky mobilních telefonů, spotřebiče v koupelně, kuchyňský robot atd.

Tab. 7-5 Seznam spotřebičů a jejich používání

Položka	Počet	Příkon	Doba používání	Denní spotřeba
	[-]	[W]	[h·den ⁻¹]	[kWh·den ⁻¹]
Svítidlo*	5	15	3	0,225
LCD televize	1	45	3	0,135
Notebook*	3	70	3	0,630
Pračka	1	2000	0,75	1,500
Rychlovarná konvice	1	2000	0,25	0,500
Lednička A++*	1	35	24	0,840
ADSL modem*	1	10	24	0,240
Elektrická trouba	1	3000	0,6	1,800
Mikrovlánná trouba	1	1000	0,2	0,200
Vysavač	1	1000	0,3	0,300
Hybridní měnič*	1	20	24	0,480
Topení*	1	50	8	0,400
Ostatní*	1	500	4	2,000
Celkem [kWh·den ⁻¹]				9,250
Celkem* [kWh·den ⁻¹]				4,815

Poznámka: znak "*" charakterizuje zálohovaný spotřebič.

Doba používání jednotlivých spotřebičů v daný den byla odhadnuta a zprůměrována z týdenního období. Příklad bude rozebrán na používání pračky. Během týdne lze předpokládat, že rodina bude prát pětkrát. Jeden pracovní cyklus má trvání jednu hodinu. Z toho plyne, že pračka bude používána pět hodin týdně. V denním průměru z hlediska týdenního období to bude 0,71 h/den, v tabulce je zaokrouhлено na 0,75 h·den⁻¹. V praxi to však funguje jinak a v daný den můžou být vyprány dvě pračky. V ten den se však nebude vysávat a tím pádem se zvýšená spotřeba na pračce vynahradí na nepoužívání vysavače. Celková denní průměrná spotřeba v objektu je 9,25 kWh·den⁻¹ a celková spotřeba za rok je 3,376 MWh·rok⁻¹, což koresponduje s reálnými průměry pro tří člennou rodinu.

Během ročních období by se spotřeba elektrické energie neměla výrazně měnit. Reálný pokles dojde asi u svítidel, když nebude potřeba tolik svítit, ale zase se zvedne spotřeba u lednice v důsledku vyšší okolní teploty. U topení by se v létě naopak mohla zvýšit spotřeba za topení, neboť bude potřeba více energie na cirkulaci média v kolektorech a případný dohřev plynovým kotlem.

Navrhovaný systém nikdy nevyrobí tolik energie, aby se pokryla celá průměrná denní spotřeba a nedojde případu, kdy by se FV panely musely odpojit. Celková vyrobená energie bude užita v domácnosti a tzn. 100% vlastní spotřebu.

V tab. 7-5 je u některých názvů spotřebičů znak "*", který označuje spotřebiče s nutností zálohování. Mezi vybrané spotřebiče byly zařazeny svítidla, notebook, lednička, modem, hybridní měnič, topení a ostatní. Celková průměrná denní zálohovaná spotřeba je 4,815 kWh. Celková kapacita akumulátorů činí 30,72 kWh a při hloubkovém vybíjení $DOD = 40\%$ je systém schopný flexibilně pracovat s 12,3 kWh. V případě výpadku DS je pak možnost střídač nastavit, aby použil dalších rezervovaných 40 % kapacity a nepřekročila se hloubka vybíjení $DOD = 80\%$. V případě výpadku DS v době, kdy jsou akumulátory zrovna v $DOD = 40\%$ je pak rezervovaná kapacita jen na dva a půl dne pro zálohované spotřebiče. Nesmí se ale zapomenout,

že FV panely umějí dodat i v měsíci s nejhorší denní produkcí (tj. prosinec) za jeden den 1,66 kWh, takže za dva dny to bude 3,32 kWh. Tím se doba zálohování prodlouží na víc jak tři dny. Tohle byl uveden jako nejhorší případ, neboť výpadek elektřiny z DS může nastat v momentě, kdy akumulátory mohou být nabity. V měsících od března do září jsou zálohované spotřebiče zcela pokryty výrobou z FVE.

7.6 Investiční náklady

Ceny jednotlivých komponent byly brány z e-shopů ke dni 10.5.2015. V tab. 7.6 jsou zobrazeny celkové investiční náklady navrhovaného systému, které činí 119.597 Kč bez DPH a 144.712 Kč s DPH. V ceně není zahrnuta montáž, doprava a revize. V tab. C-1 v příloze C se nachází daný rozpočet s jednotlivými rozepsanými položkami.

Tab. 7-6 Dílčí investiční náklady

Název	Cena [Kč]	Cena s 21% DPH [Kč]
FV panely a konstrukce	52141	63091
Kabeláž	2060	2493
Hybridní měnič	30416	36803
Akumulátory s příslušenstvím	28185	34104
Rozvaděč a příslušenství	6795	8222
Cena celkem	119597	144712

7.7 Ekonomické zhodnocení

Navržený systém vyrobí podle webové aplikace PVGIS ročně 2050 kWh. V plánovaném 20 ročním zhodnocení investice se bude brát v úvahu degradace systému, respektive pokles účinnosti FV panelů. Vyrobena energie, která jakožto celá bude spotřebována v objektu, bude činit úsporu v důsledku nenakupování elektřiny od obchodníka s elektřinou. Cena za elektřinu od společnosti E.ON Energie, a.s. distribuční sazby D02d činí pro rok 2015 4223 Kč·MWh⁻¹. Tato hodnota zůstane stejná pro ostatní výpočty, neboť je složité určit roční růst ceny za elektřinu. Pro následující zhodnocení je potřeba ještě určit diskontovanou míru. Ta byla získána ze stránek ČNB a činí 0,05 % [7][12].

Pro zhodnocení investice se použije metoda čisté současné hodnoty (NPV). Sděljuje investorovi, kolik peněz na zvolenou dobu životnosti daný projekt přinese nebo sebere. NPV se počítá podle následujícího vzorce [57]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+i)^t} - K_i, \quad (\text{Kč}; \text{Kč}, -, -; \text{Kč}, -, -, \text{Kč}) \quad (7.25)$$

kde NPV je čistá současná hodnota,
 CF_t je plán cash-flow z investičního projektu v jednotlivých letech,
 P_t je příjem z investice v jednotlivých letech životnosti,
 K_i jsou investiční náklady,
 n je doba životnosti investičního projektu,
 t jednotlivé roky životnosti investičního projektu,
 i je diskontovaná míra.

Pro tab. 7-7, která obsahuje všechny výpočty potřebné k určení návratu investice, byly v rovnicích 7.26 až 7.29 vysvětleny všechny potřebné kroky. Na rovnicích 7.30 až 7.33 je ukázán příklad výpočtu.

Vyrobená energie v daném roce se musí vždy upravit s ohledem na degradaci systému a výpočet se bude řídit podle následující rovnice:

$$E_1 = E_0 \cdot K_{\text{degradace}}, \text{ (kWh; kWh, -)} \quad (7.26)$$

kde E_1 je celková roční vyrobená energie v jednotlivém roce s uvažováním degradace,
 E_0 je celková vyrobená energie v prvním roce bez uvažování degradace,
 $K_{\text{degradace}}$ je koeficient respektující degradaci systému v průběhu času.

Příjmy z vlastní spotřeby v jednotlivých letech:

$$P = E_1 \cdot c, \text{ (Kč; kWh, Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}) \quad (7.27)$$

kde P jsou příjmy z vlastní spotřeby,
 E_1 je celková roční vyrobená energie v jednotlivém roce s uvažováním degradace,
 c je cena za elektřinu.

Diskontované příjmy se spočítají následovně:

$$DP = \frac{P}{(1+i)^t}, \text{ (Kč; Kč, -, rok)} \quad (7.28)$$

kde DP jsou diskontované příjmy,
 i je diskontovaná míra,
 t jsou jednotlivé roky.

NPV se spočítá podle následující rovnice:

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} DP_t \text{ (Kč; Kč)} \quad (7.29)$$

kde NPV je čistá současná hodnota,
 DP jsou diskontované příjmy.

Příklad výpočtu pro 1. rok:

$$E_1 = E_0 \cdot K_{\text{degradace}} = 2500 \cdot 1 = 2500 \text{ kWh, (kWh; kWh, -)} \quad (7.30)$$

$$P = E_1 \cdot C = 2500 \cdot 4,223 = 8657 \text{ Kč, (Kč; kWh, Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}) \quad (7.31)$$

$$DP = \frac{P}{(1+i)^t} = \frac{8657}{(1+0,0005)^1} = 8653 \text{ Kč, (Kč; Kč, -, rok)} \quad (7.32)$$

$$NPV = \sum_{t=0}^{t=n} DP_t = -144712 + 8653 = -136059 \text{ Kč. (Kč; Kč)} \quad (7.33)$$

Tab. 7-7 Návratnost investice ve 20. ročním období

Rok	$K_{\text{degradace}}$	E_I	P	DP	NPV
[-]	[-]	[kWh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
0	-	-	-144712	-144712	-144712
1	1	2050	8657	8653	-136059
2	0,991	2032	8579	8571	-127489
3	0,982	2013	8501	8489	-119000
4	0,973	1995	8423	8407	-110593
5	0,964	1976	8345	8325	-102269
6	0,955	1958	8268	8243	-94026
7	0,946	1939	8190	8161	-85865
8	0,937	1921	8112	8079	-77785
9	0,928	1902	8034	7998	-69788
10	0,919	1884	7956	7916	-61871
11	0,91	1866	7878	7835	-54037
12	0,901	1847	7800	7753	-46283
13	0,892	1829	7722	7672	-38611
14	0,883	1810	7644	7591	-31020
15	0,874	1792	7566	7510	-23510
16	0,865	1773	7488	7429	-16081
17	0,856	1755	7411	7348	-8734
18	0,847	1736	7333	7267	-1467
19	0,838	1718	7255	7186	5719
20	0,829	1699	7177	7105	12825

Výsledná současná čistá hodnota za projekt činí $NPV = 12.825$ Kč. Kladná hodnota svědčí o tom, že daná investice bude výnosná. Zisk ve výsledku by mohl být ještě vyšší, neboť může být ovlivněna ještě dvěma kladnými faktory. Mezi první faktor patří úvaha o vyrobené energii z aplikace PVGIS. Do aplikace se zadaly ztráty, počítající s tokem energie přes akumulátory. Jedná se tedy zpravidla o pracovní dny. O víkendech se ztráty přes akumulaci můžou zmenšit, neboť spotřebiče mohou být napájeni přímo z FV panelů. Celková vyrobená energie ve výsledku by měla být větší a příjmy ve formě úspory rovněž. Druhým faktorem je neodhadnutelný růst cen za elektřinu. Zlevnění elektřiny v budoucnu je nereálné a spíš lze očekávat její zdražení. Zdražení cen za elektřinu, pak může ještě kladně zhodnotit danou investici.

7.8 Shrnutí kapitoly

V této kapitole byl specifikován objekt, pro který se následně navrhl záložní zdroj napájení. Energetickým zdrojem pro záložní systém byly vybrány FV panely. Klíčové prvky systému byly popsány a ověřeny, zda jsou vzájemně kompatibilní. Pomocí aplikace PVGIS se určila předpokládaná výroba elektrické energie z FV panelů. Nakonec se provedlo ekonomické zhodnocení, z kterého vyplynulo, že záložní systém v průběhu následujících 20 let se dokonce zaplatí ze svého provozu. To bude ovšem platit, pokud nebude potřeba vyměnit nějaký prvek kvůli jeho poškození.

8 ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na použití OZE v elektrickém rozvodu rodinného domu, a to především FVE.

V první části je popsáno sluneční záření, které vzniká ve Slunci v důsledku termojaderné fúze. Na Zemi, pak dopadá jen zlomek toho, co vyzáří Slunce. Po průchodu atmosférou se sluneční záření odráží, přemění na teplo a také vyzáří zpět do kosmu ve formě infračerveného záření. Sluneční záření je tvořeno přímou a difúzní složkou. Pro FV článek z monokrystalického křemíku je důležitá přímá složka, naopak pro oblasti s vyšší oblačností bude vhodné zase použít FV článek z amorfního křemíku. Nejvhodnější podmínky pro FVE v ČR se naskytují na jižní Moravě, kde se vyskytuje nejvyšší suma globálního záření v ČR. V této oblasti podle statistik proběhne ročně nejvíce bezoblačných dní a také je zde nejvyšší roční průměrná doba slunečního záření.

Základním stavební částicí FV systému je FV článek. Dosavadní vývoj technologie FV článku lze rozdělit do čtyř generací. První a nejstarší generace je tvořena články z krystalického křemíku, hlavně monokrystalický křemík vykazuje stále největší účinnost. Pro oblast ČR je nejvhodnější polykrystalický křemík, který má sice menší účinnost než monokrystalický, ale naopak dokáže lépe zpracovat difúzní záření, jehož už je na našem území více v porovnání s jižnějšími státy. Průkopníkem druhé generace byly hlavně tenkovrstvé fólie. Třetí generace je stále ve vývoji a zatím se moc nevyužívají. Čtvrtá generace je zaměřena na vícevrstvé profily. Článek obsahuje několik PN přechodů, které jsou naladěné na různé vlnové délky. FV systém lze rozdělit podle zapojení na on-grid a off-grid. V kap. 3 jsou vyjmenovány a popsány jednotlivé typy systémů.

Pro odhad výroby elektrické energie z FVE a VTE slouží predikční systémy. Pro dlouhodobou předpověď u FVE lze použít program PVGIS od výzkumného centra Evropské komise. Krátkodobé predikční modely vychází z NWP modelů, které používají meteorologické služby. NWP modely zpravidla přesně modelují atmosféru do 48 hodin. Kombinací NWP modelů, současných dat z FVE a předpovědi počasí lze určit následné množství a průběh vyrobené elektrické energie. Krátkodobá předpověď u VTE funguje obdobně. Předpověď počasí a predikce výroby z těchto OZE je jednak důležitá pro energetický dispečink, který musí reagovat na proměnlivou výrobu, ale také pro provozovatele ostrovních systémů s akumulací, neboť si musí naplánovat spotřebu elektrické energie dopředu.

Řídit spotřebu v domácnosti lze několika způsoby. Kap. 5 se proto zabývá návrhem systému řízení spotřeby pro domovní aplikace. Nejprve jsou popsány jednotlivé komponenty, jejich účel a princip činnosti. Následně jsou navrženy 4 možné typy řízení spotřeby. U prvního typu se uvažuje o použití inteligentních prvků, jako např. inteligentního prodlužovacího kabelu, který lze ovládat pomocí nastavené doby zapnutí nebo vypnutí až po ovládní přes webový prohlížeč. U druhého návrhu lze použít solární regulátor jako řídicí prvek, který má naprogramované výstupy. Takle varianta počítá se spotřebiči na stejnosměrné napětí. Do takového systému by šlo zařadit invertor, který by přebral funkci řídicího prvku a mohl by podle naprogramovaných výstupů spínat výstupy k jednotlivým zátěžím. Třetím návrhem je hybridní systém, jehož řídicí jednotkou je hybridní střídač. U grid-free systému s použitím hybridního střídače lze kooperovat s různými zdroji energie, ať už se jedná o DS nebo OZE. Poslední návrh počítá s aplikací regulátoru spotřeby, konkrétně WATTrouteru. Toto zařízení je vhodné použít v případě, kdy v objektu není akumulační systém nebo je poddimenzovaný. Tím se zabrání nežádoucímu přetoku energie do

sítě. Regulátor spotřeby najde největší uplatnění v kombinaci se zeleným bonusem, jelikož podpora pro FVE byla zrušena, bylo by vhodnější použít pro tento systém VTE, u kterého stále trvá.

V další kapitole je řešena problematika dimenzování jednotlivých prvků FV systému, která byla využita pro praktickou část u návrhu záložního systému. U dimenzování FV panelů, střídače, akumulátorů a přepěťových ochran je důležité postupovat tak, aby výsledný FV systém naplno využil svůj potenciál a byl dostatečně chráněn.

V praktické části byl proveden návrh záložního systému napájení. Systém byl navržen tak, aby v zimním období plnil funkci záložního zdroje v případě výpadku DS a v teplejších měsících také funkci v optimalizaci vlastní spotřeby. Pro návrh byla vybrána lokalita v okolí Brna, která byla použita pro získání předpokládané výroby elektrické energie z webové aplikace PVGIS. V základních údajích byl definován objekt, pro který byl daný systém navržen, tj. orientace budovy, počet obyvatel, elektrický rozvod, vytápění atd.

Výběr jednotlivých komponent, tj. FV panelů, střídače, akumulátorů, propojovacích prvků (vodiče a kabely) a přepěťových ochran, byl řádně popsán a také byla ověřena jejich vzájemná kompatibilita. Bylo vybráno 10 FV panelů o špičkovém výkonu 250 Wp, tzn. celkový špičkový bude 2,5 kWp. Hlavním prvkem systému byl zvolen hybridní střídač o jmenovitém výkonu 3 kW, který v sobě už má zabudovaný MPPT měnič a dokáže nabíjet akumulátory. Tento střídač má kromě střídavého vstupu také střídavý výstup a může napájet spotřebiče z FV panelů, akumulátorů i AC sítě. Záložní systém tvoří 16 LiFePO₄-40AH článků o celkové energii 30,72 kWh, díky kterým bude dosažena 100% vlastní spotřeba. Akumulátory budou v normálním provozu pracovat jen do 40 % své kapacity (tj. 12,3 kWh). Dalších 40 % procent své kapacity bude šetřeno pro případnou zálohu. V této kapitole byla definována průměrná denní spotřeba objektu, která činí 9,25 kWh·den⁻¹. Potřeba zálohy pro kritické spotřebiče byla určena na 4,815 kWh·den⁻¹. Zálohovat kritické spotřebiče systém vydrží přibližně 2,5 dne, ale během toho výpadku, dokážou poskytnou FV panely další energii, která výslednou dobu zálohování prodlouží minimálně na celkové tři dny i v tom nejhorším měsíci, tj. prosinci. V letních měsících by měl systém bez DS sítě poskytovat tolik energie, která zaručí nekonečnou zálohu kritických spotřebičů.

Celkové investiční náklady toho systému byly vyčísleny na 119.597 Kč bez DPH a 144.712 Kč s DPH. Bylo provedeno i ekonomické zhodnocení systému pomocí metody NPV. Výsledný zisk činí 12.825 Kč ve 20. ročním zhodnocení. Při výpočtu byla brána v úvahu degradace FV panelů. V prvním roce systém měl vyrobit 2050 kWh, v této hodnotě už jsou započítány všechny ztráty, tj. hlavně uložení a nabití v akumulátorech. Celkový zisk by měl být větší, neboť se během víkendových provozů elektrárny bude energie přímo spotřebovávat a nebude se ukládat do akumulátorů. Také se brala v úvahu konstantní cena za elektřinu. V budoucnu určitě čeká zdražení cen za energii, a tudíž by uvažovaný zisk ve formě úspory ještě danou investici více zhodnotil.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ACKERMANN, Thomas. ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Wind power in power systems*[online]. Hoboken, NJ: John Wiley, c2005, xlvii, 691 p. [cit. 2014-12-13]. ISBN 04-708-5508-8.
- [2] AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY GMBH. *Fotovoltaické systémy – praktický rádce*. Dostupné také z: <http://www.calla.cz/data/energetika/cer2/PV_cer_final.pdf>.
- [3] BECHNÍK, Bronislav. 2014. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaike. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaike>>.
- [4] BERNHARD, Ernst, Kurt ROHRIG a René JURSA. ONLINE-MONITORING AND PREDICTION OF WIND POWER IN GERMAN TRANSMISSION SYSTEM OPERATION CENTRES. In: *Institut für Solare Energieversorgungstechnik e. V.* [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.researchgate.net/profile/Kurt_Rohrig/publication/228705967_Online-monitoring_and_prediction_of_wind_power_in_German_transmission_system_operation_centres/links/0deec517c0f70aee8b000000>.
- [5] CAFT: Již nyní můžete provozovat fotovoltaiickou elektrárnu bez licence. 2014. In: *ProfiPV* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2014121903/caft-jiz-nyni-muzete-provozovat-fotovoltaiickou-elektrarnu-bez-licence#.VVNF_vmqqko>.
- [6] Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P1_0_Home>.
- [7] ČNB [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/index.html>
- [8] CZECH RE AGENCY. Česká agentura pro obnovitelné zdroje [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<http://www.czrea.org/cs/>>.
- [9] DOLEŽAL, Michal. Hybridní fotovoltaiická elektrárna – časem bude v každém domě. *Nazeleno.cz*[online]. 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <<http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/hybridni-fotovoltaiicka-elektrarna-casem-bude-v-kazdem-dome.aspx>>.
- [10] DRAKA. CYA. Dostupné také z: <<http://rasel.cz/www/prilohy/cya.pdf>>.
- [11] DRAKA. *Kabely pro fotovoltaiické aplikace*. Dostupné také z: <<http://www.konex.sk/download.php?id=192&download=1>>.
- [12] E.ON. 2015. *Ceník dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s. pro zákazníky kategorie D – Domácnosti, Produktová řada Elektřina, distribuční území E.ON Distribuce, a.s.* Dostupné také z: <<http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/produkty-a-ceny-elektřiny/eon-cenik-elektřina-01012015-domacnost-eon.pdf>>.
- [13] ENERGY & METEO SYSTEMS GMBH. *Energy & meteo systems* [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <<http://www.energymeteo.com/en/index.php>>.
- [14] EPSOLAR. *Tracer-1206RN / 1210RN / 1215RN: INSTRUCTION MANUAL*. Dostupné také z: <http://www.epsolarpv.com/en/uploads/news/201205/1338431761387257.pdf>

- [15] ERÚ. 2014. *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV: PŘÍLOHA 4*. Dostupné také z: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_Dodatek_4_2014.pdf>.
- [16] ERÚ. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014*. Jihlava, 2014. Dostupné z: <http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683>.
- [17] ERÚ. *Měsíční zpráva o provozu ES ČR: květen 2014*. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2014. Dostupné z: <http://www.eru.cz/documents/10540/618293/Mesicni_zprava_2014_5.pdf/020ad16b-6304-4191-8a7b-3f7e7bb1a3fa>.
- [18] ERÚ. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2013*. Dostupné také z: <http://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2013.pdf/71acda78-be07-4efd-83fe-5ab1b1e750e9>.
- [19] Fotovoltaický jev. KUSAL, Jaroslav. SKUPINA ČEZ, a. s. *Solární energie* [online]. 2006 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>>.
- [20] Fotovoltaika. PETRA ENERGY S.R.O. *Petra Energy* [online]. 2010 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<http://www.petraenergy.cz/fotovoltaika.html>>.
- [21] GreenBonO. YORIX S.R.O. *YORIX* [online]. 2014 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <<http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm>>.
- [22] HANSLIAN, David. ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY AV ČR. *KLIMATICKÝ POTENCIÁL VĚTRNÉ ENERGETIKY*. Dostupné z: <<http://www.dejmalka.cz/htm/content/kpve.pdf>>.
- [23] HANSLIAN, David. Větrné podmínky pro malé větrné elektrárny. In: *Tzbinfo* [online]. 2012 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektrarny>>.
- [24] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [25] HNILICA, Pavel. DERAMAX.CZ S.R.O. *Menice-napeti.cz* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <<http://www.menice-napeti.cz/>>.
- [26] HNILICA, Pavel. DERAMAX.CZ S.R.O. *Solárnímoduly.cz* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <<http://www.solarnimoduly.cz/>>.
- [27] KOLAŘÍK, Martin. *Ostrovni-elektrarny.cz* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?page=uvod>>.
- [28] MAEHLUM, Mathias Aarre. Solar Cell Comparison Chart – Mono-, Polycrystalline and Thin Film. ENERGY INFORMATIVE. *ENERGY INFORMATIVE* [online]. 2013 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<http://energyinformative.org/solar-cell-comparison-chart-mono-polycrystalline-thin-film/>>.
- [29] MAJER, V. a P. HEJTMÁNKOVÁ. ZÍSKÁNÍ DAT PRO KRÁTKODOBOU PREDIKCI VÝROBY ELEKTRINY Z FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN. In: *ENERGY – ECOLOGY – ECONOMY 2012* [online]. 2012 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/130/43130943.pdf>.

- [30] MARCONI. 2008. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení*. Dostupné také z: <http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf>.
- [31] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* [online]. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. [cit. 2014-12-02]. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [32] MOŘKOVSKÝ, Robert. 2013. Bydlíme v energetickém podnájmu aneb rozdíl mezi fotovoltaikou v roce 2013 a 2014? In: *ProfiPV* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2013081903/aktualizovano-bydlime-v-energetickem-podnajmu-aneb-rozdil-mezi-fotovoltaikou-v-roce-2013-a-2014-19-08-2013&rw=ADMTZ123&rt=HFVE>>.
- [33] MOTLÍK, Jan, Libor ŠAMÁNEK, Josef ŠTEKL, Tomáš PAŘÍZEK, Ladislav BÉBAR, Martin LISÝ, Martin PAVLAS, Radim BAŘINKA, Petr KLIMEK, Jaroslav KNÁPEK a Jiří VAŠÍČEK. SKUPINA ČEZ, a. s. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR* [online]. 2007 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>>.
- [34] MPower. UBIQUITI NETWORKS, Inc. *Ubiquiti Networks* [online]. 2015 [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <<http://www.ubnt.com/mfi/mpower/>>.
- [35] NMAN, Rich H., Hugo T.C. PEDRO a Carlos F.M. COIMBRA. Solar forecasting methods for renewable energy integration. In: *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2013, s. 535-576 [cit. 2014-12-13]. ISSN 03601285. DOI: 10.1016/j.pecs.2013.06.002. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360128513000294>>.
- [36] OMSUN. *OMP190W-265W*. Dostupné také z: <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/OMSUN_PV%20Module_Datasheet.pdf>.
- [37] *ostrovni-elektrarny.cz: LFP040AH*. Dostupné také z: <<http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/LFP-Product-Spec-40AH-200AH.pdf>>.
- [38] *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>.
- [39] PONČÍK, Vlastimil. *Vyhodnocení vlastností fotovoltaických článků s optickými koncentrátory*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Kolařík, Ph.D., ÚPT AVČR Brno. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40482>.
- [40] PRAKAB. *CYKY*. Dostupné také z: <http://www.prakab.cz/fileadmin/content/prakab/Products/Instalacni__ovladaci_vodice/Instalacni__ovladaci_vodice/CYKY.pdf>.
- [41] Regulátor PWM nebo MPPT?: Jaký regulátor zvolit: PWM nebo MPPT? 2008. *MULAC* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.mulac.cz/regulator-pwm-nebo-mppt>>.
- [42] RENERGA GMBH. *Energetická nezávislost, hybridní a ostrovní fotovoltaické systémy* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.renerga.at/unabhaengigkeit>>.
- [43] SALTEK S.R.O. *SALTEK* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.saltek.eu/>>.

- [44] Síto slunečního záření. SKUPINA ČEZ, a. s. *Kde jinde* [online]. [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.kdejinde.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/04/sito_4.html>.
- [45] Slunce jako hvězda. TOMAN, Jakub. *Slunce a jeho pozorování* [online]. 2009 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <[http://slunce.astronomie.cz/slunce/slunce-jako-hvezda/](http://slunce.astronomie.cz/slunce/slunce-jako-hvezda/http://slunce.astronomie.cz/slunce/slunce-jako-hvezda/)>.
- [46] Slunce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Slunce>>.
- [47] Solar and Wind Forecasting. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. *NREL* [online]. [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.nrel.gov/electricity/transmission/resource_forecasting.html>.
- [48] SOLAR CONTROLS S.R.O. *WATTRouter CWX - UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA* [online]. 2013. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouterCWx_CZ.pdf>.
- [49] SOLARENVI A.S. *SOLARENVI* [online]. 2014 [cit. 2014-12-05]. Dostupné z: <<http://www.solarenavi.cz/home/aktualni-nabidka/>>.
- [50] Solární panely s jedním nebo více články – jak na to? In: *Hw.cz* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/solarni-panely-s-jednim-nebo-vice-clanky-jak-na-to-1-cast-vnitri-osvetleni.html>>.
- [51] TERMS A.S. *WKS Plus 3kVA 48V Inverter: Manual* [online]. 2008. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/_data/s_3386/files/1402062571-MANUAL%20-%20WKS%201-5kVA.pdf>.
- [52] TICHÝ, Vlastimil. 2009. Výběr SPD pro fotovoltaické systémy. *Elektro* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39652.pdf>>.
- [53] ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY AV ČR, v.v.i. *Ústav fyziky atmosféry* [online]. 2011 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <<http://www.ufa.cas.cz/>>.
- [54] ÚSTAV INFORMATIKY AV ČR. *MEDARD* [online]. 2003 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <<http://www.medard-online.cz/index.php>>.
- [55] VIESSMANN. *VITOVOLT: Technical guide*. Dostupné také z: <http://www.viessmann.co.uk/content/dam/internet_uk/technical_data_new/photovoltaic/Vitovol_new/technical_guide.pdf>.
- [56] VOLTRONIC POWER. *InfiniSolar On-grid měnič s úložištěm energie*. Dostupné také z: <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/Infinisolar_3-5kW_DS_CZ.pdf>.
- [57] ZIKMUND, Martin. 2010. Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně. In: *Nitana* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <<http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>>.

PŘÍLOHY

Příloha A - Výroba energie při různých sklonech FV panelů

Příloha B - Katalogové listy komponentů

Příloha C - Rozpočet

Příloha D - Jednopolové schéma zapojení