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

ZAČLEŇOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE **BC. PAVEL MICHL**
AUTHOR

BRNO 2010

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Pavel Michl
Ročník: 2

ID: 78528
Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Začleňování fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. připojovací podmínky malých zdrojů do DS
2. problematika fotovoltaických systémů
   - definice FV systému
   - komponenty FV systému
   - vliv FV systému na síť
3. projekční návrh FV systému s výkonem nad 500 kW - zpracování kompletní projektové dokumentace včetně studie připojitelnosti
4. zhodnocení vlivu výrobny na síť, ekonomika provozu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 24.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Petr Mastný, Ph.D.
Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

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.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Pavel Michl

Bytem: Čsl. armády 561, Dobruška

Narozen/a (datum a místo): 23. 3. 1986, Opočno

(dále jen „autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

(dále jen „nabyvatel")

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
   - ☐ disertační práce
   - ☒ diplomová práce
   - ☐ bakalářská práce
   - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

   (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Začleňování fotovoltaický elektráren do elektrizační soustavy

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: 10. 6. 2010

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
   - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
   - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
   - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
   - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
   - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy

   (z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 24. 5. 2010

.....	Pavel Michl
Nabyvatel	Autor

Bibliografická citace práce:

MICHL, P. Začleňování fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 91 stran.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Mastnému Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

Pavel Michl

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Začleňování fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy

Bc. Pavel Michl

vedoucí: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Master's Thesis

Integration of Photovoltaic Power Plants in the Electricity System

by

Bc. Pavel Michl

Supervisor: Ing. Petr Mastný, Ph.D.

Brno University of Technology, 2010

Brno

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je začleňování fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy. V první části práce jsou uvedeny připojovací podmínky malých zdrojů do distribuční soustavy, včetně administrativních požadavků, studie připojitelnosti, požadavků na elektroměry, měřící a řídicí zařízení, spínací přístroje a ochrany.

V druhé části práce je popsána problematika fotovoltaického systému, vznik slunečního záření, zmenšení jeho intenzity dopadající na zemský povrch. Na množství vyrobené elektrické energie mají vliv klimatické podmínky v dané oblasti, roční období atd. Dále jsou popsány typy fotovoltaických článků a jejich účinnosti. Další důležitou součástí fotovoltaického systému jsou střídače. Jejich parametry mají velký vliv na celkovou účinnost fotovoltaického systému. Uvedeny jsou zde různé způsoby zapojení fotovoltaických panelů se střídači a jejich výhody a nevýhody. Nosná konstrukce fotovoltaických panelů a popřípadě transformátor jsou dalším důležitým prvkem. Dále jsou uvedeny způsoby zapojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě nn a vn, akumulace elektrické energie a možnosti prodeje vyrobené elektrické energie. Velké množství připojených fotovoltaických elektráren má negativní vlivy na elektrizační síť. S těmito vlivy se potom musí naše elektrizační soustava vyrovnat.

Třetí část obsahuje samotný návrh fotovoltaické elektrárny o výkonu 516,24 kWp na zvoleném pozemku v Jižních Čechách. Na tento pozemek je fotovoltaická elektrárna navržena a zpracována projektová dokumentace, která obsahuje návrh fotovoltaických panelů, rozmístění v řadách, návrh střídačů, tak aby jejich výkonové zatížení bylo optimální. Návrh dále obsahuje výpočet ztrát fotovoltaického systému, návrh transformátoru a výpočet kabelové přípojky k distribuční soustavě. V další části je zpracována studie připojitelnosti této navržené fotovoltaické elektrárny, která je připojena do distribuční soustavy. Její dodávaný výkon bude vyveden do rozvodny Řípov 110/22 kV. Výpočtem bylo potvrzeno, že tuto fotovoltaickou elektrárnu lze do této distribuční soustavy připojit.

Poslední část této práce obsahuje ekonomické zhodnocení provozu a výpočet návratnosti fotovoltaické elektrárny. Do ekonomického zhodnocení vstupuje celá řada veličin, které ovlivňují celkovou návratnost. Výpočet ekonomiky provozu je uveden pro více variant. Návratnost je při současné výkupní ceně pro rok 2010 bez uvažování bankovního úvěru 7 let, s uvažováním bankovního úvěru 12 let. Od příštího roku 2011 se předpokládá razantní snížení výkupních cen. Ve výpočtu je uvažováno s poklesem 30 %. Návratnost by potom byla bez bankovního úvěru 11 let, s bankovním úvěrem 22 let. Bankovní úvěr je uvažován pro pokrytí 80 % investice.

KLÍČOVÁ SLOVA: fotovoltaická elektrárna; elektrizační soustava; připojovací podmínky; distribuční soustava; studie připojitelnosti; elektroměr; měřící a řídicí zařízení; spínací přístroj; ochrany; fotovoltaický systém; fotovoltaický článek; střídač; účinnost; nosná konstrukce; transformátor; distribuční síť nn a vn; akumulace elektrické energie; projektová dokumentace; výkonové zatížení; kabelová přípojka; rozvodna; ekonomické zhodnocení provozu; návratnost; výkupní cena; bankovní úvěr.

ABSTRACT

The thesis discuses an integration of photovoltaic power stations to electric network. The first part describes connecting conditions of small sources to distribution system, including administrative requirements, feasibility study, and requirements to the energy meters, measuring, control devices, switching devices and protection.

The second part is aimed to describe problems of the photovoltaic system. Solar radiation generating and reducing of its intensity incident upon the earth surface are described in this part. The quantum of produced electric power depends on climatic conditions in the fixed area, seasons, etc. This work also discusses the types of photovoltaic cells and their actual efficiency. Inverters are further important components of the photovoltaic system. The parameters of the inverters have a great influence on the total actual efficiency of the photovoltaic system. Different methods of the photovoltaic panels' connection with the inverters and their advantages and disadvantages are also mentioned. The supporting structure of the photovoltaic panels and eventually transformer are further important components of photovoltaic system. The work also analyze the methods of connection of the photovoltaic power station to distributive low voltage and medium voltage network, electric energy accumulation and possibilities of the sale of produced electric energy. The large number of the connected photovoltaic power stations has negative influences to electric network.

The third part contains the design of a photovoltaic power plant with a capacity of 516,24 kWp on the scoped area in southern Bohemia. The project documentation for the location where the power plant is designed is also made. It contains the design of photovoltaic panels, the design of the inverters to get an optimal power load. This part also contains a calculation of the photovoltaic system losses and the design of transformer and the cable junction calculation of the distributive system. The feasibility study of the power plant connected to distributive system is also conducted. Its delivery rate will be connected to the distribution point Řípov (110/22 kV). The calculation results show us that this photovoltaic power plant can be linked to the distribution system.

The final part of this paper contains an economic estimate of the photovoltaic power plant operating and the calculation of the return. An Economic return is influenced by the wide range of values that affect the total return rate. The calculation of an operating economy is made for several variants. The return rate in refer to contemporary redemption price for 2010 with no consideration for a bank loan is 7 years. If we consider the bank loan it would be 12 years. The penetrative reduction of the redemption price is expected for 2011. Calculation works with the decline of 30 %. It would extend the rate of return to 11 years without a bank loan or to 22 years with the bank loan. The bank loan is considered to cover 80 % of the investment.

KEY WORDS: photovoltaic power plant; elektric network; connecting conditions; distributive system; feasibility study; energy meter; measure and control device; switching device; protections; photovoltaic system; photovoltaic element; inverter; actual efficiency; supporting structure; transformer; distributive network low voltage and medium voltage; accumulation electrical energy; project documentation; power load; cable junction; distribution point; economic estimate operation; rate of return; redemption price; bank loan.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ 13

SEZNAM TABULEK 14

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK 16

1 ÚVOD 19

2 CÍLE PRÁCE 21

3 PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY MALÝCH ZDROJŮ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 22

3.1 DEFINICE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 22

3.2 VŠEOBECNÉ PODMÍNKY PŘI ZŘIZOVÁNÍ VÝROBNY ELEKTRICKÉ ENERGIE 22

3.3 PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY 25

3.3.1 ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ 25

3.3.2 ZMĚNA NAPĚTÍ PŘI SPÍNÁNÍ 26

3.3.3 ZPĚTNÉ VLIVY NA NAPÁJECÍ SÍŤ 26

3.3.4 FLIKR 26

3.3.5 PROUDY JEDNOTLIVÝCH HARMONICKÝCH 27

3.3.6 OVLIVNĚNÍ ZAŘÍZENÍ HDO 27

3.4 ELEKTROMĚRY, MĚŘÍCÍ A ŘÍDÍCÍ ZAŘÍZENÍ 28

3.5 SPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ 28

3.6 OCHRANY 29

3.7 ŘÍZENÍ JALOVÉHO VÝKONU 29

3.7.1 ZDROJE PŘIPOJOVANÉ DO SÍTĚ NN 29

3.7.2 ZDROJE PŘIPOJOVANÉ DO SÍTĚ VN 30

3.8 PŘIPOJENÍ VÝROBNY K SÍTI 30

3.8.1 PŘIPOJOVÁNÍ VÝROBEN SE STŘÍDAČI 30

4 PROBLEMATIKA FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ 31

4.1 DEFINICE FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 34

4.2 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU 34

4.2.1 FOTOVOLTAICKÝ PANEL 34

4.2.2 STŘÍDAČE - INVERTORY 38

4.2.3 NOSNÁ KONSTRUKCE 44

4.2.4 TRANSFORMÁTOR 45

4.3 FV SYSTÉMY NEZÁVISLÉ NA DISTRIBUČNÍ SÍTI – OSTROVNÍ SYSTÉMY 45

4.4 FV SYSTÉMY PŘÍMO PŘIPOJENÉ K DISTRIBUČNÍ SÍTI 46

4.4.1 FV ELEKTRÁRNY BEZ AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE 46

4.4.2 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY S AKUMULACÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE 46

4.4.3 ZPŮSOB PRODEJE ELEKTRICKÉ ENERGIE 48

4.4.4 VLIV FV SYSTÉMU NA SÍŤ 49

5 PROJEKČNÍ NÁVRH FV SYSTÉMU S VÝKONEM NAD 500 KW 50

5.1 NÁVRH FV ELEKTRÁRNY 50

5.1.1 NÁVRH OCHRANY PROTI BLESKU 51

5.1.2 NÁVRH STŘÍDAČŮ PRO NAVRŽENÝ FV SYSTÉM 52

5.1.3 ZTRÁTY VE FV SYSTÉMU 53
5.1.4 TRANSFORMÁTOR A TRANSFORMÁTOROVÁ STANICE 53
5.1.5 PŘIPOJENÍ TRANSFORMÁTORU K DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ 54
5.1.6 ELEKTRICKÉ OCHRANY, SPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ, OBCHODNÍ MĚŘENÍ 55
5.2 STUDIE PŘIPOJITELNOSTI FV ELEKTRÁRNY O VÝKONU 516,24 KW 55
5.2.1 ÚVOD 55
5.2.2 PARAMETRY ZDROJE 55
5.2.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ FV ELEKTRÁRNY K DISTRIBUČNÍ SÍTI 56
5.2.4 PARAMETRY PRVKŮ SÍTĚ 56
5.2.5 VÝPOČET CHODU SÍTĚ PŘED PŘIPOJENÍM FV ELEKTRÁRNY 57
5.2.6 VÝPOČET CHODU SÍTĚ PO PŘIPOJENÍ FV ELEKTRÁRNY 516,24 KW 58
5.2.7 ZPĚTNÝ VLIV – FLIKR 59
5.2.8 ÚTLUM SIGNÁLU HDO 60
5.2.9 PŘÍSPĚVEK KE ZKRATOVÉMU PROUDU OD FV ELEKTRÁRNY 60
5.2.10 ZPĚTNÉ PROUDY HARMONICKÉ 60

6 ZHODNOCENÍ VLIVU VÝROBNY NA SÍŤ, EKONOMIKA PROVOZU 61
6.1 ZHODNOCENÍ VLIVU VÝROBNY NA SÍŤ 61
6.2 EKONOMIKA PROVOZU 62
6.2.1 ROČNÍ VYROBENÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE 62
6.2.2 INVESTIČNÍ NÁKLADY NA FV ELEKTRÁRNU 63
6.2.3 VÝPOČET EKONOMIKY PROVOZU FV ELEKTRÁRNY A STANOVENÍ NÁVRATNOSTI 64

7 ZÁVĚR 74

POUŽITÁ LITERATURA 76

PŘÍLOHA A INFORMACE O VÝROBNĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE 78

PŘÍLOHA B VÝPOČET MAXIMÁLNÍ HODNOTY ZVÝŠENÉHO NAPĚTÍ 79

PŘÍLOHA C MAXIMÁLNÍ ZMĚNA NAPĚTÍ PŘI SPÍNÁNÍ 80

PŘÍLOHA D VÝPOČET FLIKRU 81

PŘÍLOHA E VÝPOČET PROUDŮ JEDNOTLIVÝCH HARMONICKÝCH 82

PŘÍLOHA F VLIV VÝROBNY NA ZATÍŽENÍ VYSÍLAČE HDO 84

PŘÍLOHA G PŘÍKLADY NASTAVENÍ OCHRAN 85

PŘÍLOHA H PODMÍNKY ŘÍZENÍ JALOVÉHO VÝKONU PRO VÝROBNY NAD 400 KW 86

PŘÍLOHA CH KATALOGOVÝ LIST FV MODULU SANYO HIT-240HDE4 87

PŘÍLOHA I KATAL. ÚDAJE FRONIUS IG 500 A FRONIUS CONTROL STRING 89

PŘÍLOHA J KIOSKOVÁ TRAFOSTANICE PET® STANDARD 450 90

PŘÍLOHA K FV ELEKTRÁRNA - VÝPOČET PROUDŮ HARMONICKÝCH 91

PŘÍLOHA L FV ELEKTRÁRNA – NÁVRH OCHRANY PROTI BLESKU 92

PŘÍLOHA M FV ELEKTRÁRNA – SCHÉMATICKÉ ROZMÍSTĚNÍ ELEKTRICKÝCH KOMPONENT 93

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 4-1 Dopadající sluneční energie na území ČR a možný zisk elektrické energie 32
Obr. 4-2 Získaná energie z 1 m^2 FV o výkonu 106 Wp v závislosti na roční době a počasí 33
Obr. 4-3 Získaná elektrická energie FV panelu v závislosti na sklonu 33
Obr. 4-4 Část spektra slunečního záření, která je využitelná křemíkovým FV článkem 35
Obr. 4-5 V-A charakteristika FV článku v závislosti na intenzitě osvětlení 37
Obr. 4-6 V-A a výkonová charakteristika FV článku 38
Obr. 4-7 Účinnost střídače v závislosti na jmenovitém výstupním výkonu 39
Obr. 4-8 Rozsah napětí MPP 40
Obr. 4-9 Účinnost střídače v závislosti na vnitřním zapojení střídače 41
Obr. 4-10 Modulový střídač 42
Obr. 4-11 Centrální střídač 43
Obr. 4-12 Řetězcový střídač 44
Obr. 4-13 Systém připojení grid-off 45
Obr. 4-14 Názorné připojení FV elektrárny do distribuční sítě bez akumulace 46
Obr. 4-15 Názorné připojení FV elektrárny s akumulací do distribuční sítě 47
Obr. 5-1 Umístění FV elektrárny 50
Obr. 5-2 Rozmístění řad FV panelů a jímačů 51
Obr. 5-3 Rozmístění jímačů podél řady FV panelů 52
Obr. 5-4 Schéma zapojení FV elektrárny k distribuční síti 56
Obr. 6-1 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 bez bankovního úvěru 67
Obr. 6-2 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 s bankovním úvěrem 69
Obr. 6-3 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu od roku 2011 bez bankovního úvěru 71
Obr. 6-4 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu od roku 2011 s bankovním úvěrem 73
Obr. CH-1 Katalogový údaj FV panelu SANYO HIT-240HDE4_1 87
Obr. CH-2 Katalogový údaj FV panelu SANYO HIT-240HDE4_2 88
Obr. L-1 Názorné osazení trafostanice PET® STANDARD 450 90

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Maximální výkony výroben, které lze připojit bez posouzení vlivu na HDO 27
Tab. 5-1 Výstupní parametry použitých střídačů Fronius IG 500 52
Tab. 5-2 Použité vedení ve FV systému a jejich ztráty 53
Tab. 5-3 Parametry použitého transformátoru 54
Tab. 5-4 Parametry napájecího uzlu 56
Tab. 5-5 Parametry transformátoru T1 56
Tab. 5-6 Parametry vedení 22 kV do místa připojení FV elektrárny 56
Tab. 5-7 Parametry transformátoru T2 57
Tab. 5-8 Parametry střídače Fronius IG 500 57
Tab. 5-9 Výpočet proudů a výkonů v uzlech sítě před připojením FV elektrárny 57
Tab. 5-10 Výpočet napětí a zkratového výkonu v uzlech sítě před připojením FV elektrárny 58
Tab. 5-11 Výpočet proudů a výkonů v uzlech sítě po připojení FV elektrárny 58
Tab. 5-12 Výpočet napětí a zkratového výkonu v uzlech sítě po připojení FV elektrárny 59
Tab. 5-13 Změna napětí po připojení FV elektrárny 59
Tab. 5-14 Útlum signálu HDO 60
Tab. 6-1 Vyrobené množství elektrické energie 62
Tab. 6-2 Investiční náklady na FV elektrárnu 63
Tab. 6-3 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny bez bankov. úvěru 66
Tab. 6-4 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny bez bankovního úvěru 67
Tab. 6-5 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny s bankov. úvěrem 68
Tab. 6-6 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny s bankovním úvěrem 68
Tab. 6-7 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po předpokládaném snížení výkupních cen bez bankovního úvěru 70
Tab. 6-8 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po snížení výkupních cen bez bankov. úvěru 70
Tab. 6-9 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po předpokládaném snížení výkupních cen s bankovním úvěrem 71
Tab. 6-10 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po snížení výkupních cen s bankov. úvěrem 72
Tab. 6-11 Výstupní tabulka ekonomiky provozu FV elektrárny 73
Tab. E-1 Přípustné vztažné proudy jednotlivých harmonických v sítích nn 82
Tab. E-2 Přípustné vztažné proudy jednotlivých harmonických v sítích vn 83

Tab. G-1 Použité ochrany vn a příklady jejich nastavení *85*
Tab. G-2 Použité ochrany nn a příklady jejich nastavení *85*
Tab. I-1 Katalogové údaje střídače Fronius IG 500 ..... *89*
Tab. I-2 Katalogové údaje kontrolního zařízení Fronius Control String *89*
Tab. K-1 Výpočet zpětných harmonických proudů *91*

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

22-AXEKVCEY 185 – typ a průřez vysokonapěťového kabelu

A – součinitel, který představuje výšku Slunce nad zemským povrchem

B – susceptance vedení

c – činitel flikru, který udává výrobce zařízení

cos φ – účiník

ČR – Česká republika

E_d *– denní vyrobená elektrická energie fotovoltaickou elektrárnou*

E_m *– měsíční vyrobená elektrická energie fotovoltaickou elektrárnou*

ERÚ – Energetický regulační úřad

f – frekvence

FV – fotovoltaika

FVE – fotovoltaická elektrárna

HDO – signál hromadného dálkového ovládání

i – rok provozu fotovoltaické elektrárny

I – proud fotovoltaickým článkem, proud vedením

I_d *– denní dopadající energie slunečního záření na fotovoltaické panely*

I_m *– měsíční dopadající energie slunečního záření na fotovoltaické panely*

I_0 *– sluneční konstanta*

I_a *– maximální proud při zapínání výrobny*

I_h *– proud harmonické*

I_h/I_n *– poměr proudu harmonické a jmenovitého proudu*

I_{mp} *– proud fotovoltaického článku v maximálním bodě výkonu, maximální proud střídače*

I_{max} *– maximální proud střídače*

I_{nG} *– jmenovitý proud výrobny*

I_P *– výsledná dopadající intenzita slunečního záření*

IP 20, IP 43, IP 45 – označení krytí elektrických zařízení

I_{PN} *– intenzita normálového slunečního záření*

IRR – Internal rate of return; vnitřní výnosové procento

I_{SC} *– proud nakrátko fotovoltaického článku*

$I_{vpř}$ *– přípustný proud harmonické*

i_v *– vztažný proud jednotlivých harmonických v sítích nn*

$I_{vpř}$ – *přípustný proud jednotlivých harmonických v sítích vn*

$i_{vpř}$ – *vztažný proud jednotlivých harmonických v sítích vn*

$i_{vpř\ 22\ kV}$ – *vztažný proud jednotlivých harmonických v síti 22 kV*

$I_{v,nn}$ – *přípustný proud jednotlivých harmonických v sítích nn*

I_{zkr} – *zkratový proud*

k_{imax} – *činitel, který označuje "největší spínací ráz"*

k_{k1} – *zkratový poměr výkonů*

$k_{k1,nn}$ – *zkratový poměr výkonů v sítích nn*

$k_{k1,vn}$ – *zkratový poměr výkonů v sítích vn*

LSP – třída poloměru valivé koule

MPP – bod maximálního výkonu fotovoltaického článku

MPPT – optimální nastavovaný bod maximálního výkonu fotovoltaického článku

n – počet zařízení, rok provozu fotovoltaické elektrárny

nn – nízké napětí

NPV – Net present value; čistá současná hodnota

P – činný výkon

PDS – provozovatel distribuční soustavy

P_{It} – *dlouhodobá míra flikru*

$P_{jmen\ AC}$ – *jmenovitý výkon střídače*

PPDS – pravidla provozování distribučních soustav

PPI – index cen průmyslových výrobců

Q – jalový výkon

R – činný odpor vedení

R_{ISO} – *izolační odpor střídače*

ROS – koeficient pro rovnoměrné odpisování

S – zdánlivý výkon

S_A – *zdánlivý výkon zařízení*

SANYO HIT-240HDE4 – výrobce a typ fotovoltaických panelů

S_{AV} – *celkový připojitelný nebo plánovaný výkon ve společném napájecím bodu*

S_k'' – *zkratový výkon*

S_{kv} – *zkratový výkon sítě v přípojném bodu*

S_{nE} – *jmenovitý zdánlivý výkon výrobny*

St – zdánlivý výkon transformátoru

S_{zkr} – *zkratový výkon*

t_f – časové zpoždění pro frekvenční ochrany

T_1, T_2 – označení transformátoru

t_U – časové zpoždění pro napěťové ochrany

U – napětí na FV článku, na střídači

U_1 – primární napětí transformátoru

U_2 – sekundární napětí transformátoru

$U_{jmen\ AC}$ – jmenovité napětí střídače

U_{OC} – napětí fotovoltaického článku naprázdno

U_f – náběhové napětí přijímače HDO

U_{mp} – napětí fotovoltaického článku v maximálním bodě výkonu

U_n – jmenovité napětí

u_k – napětí nakrátko transformátoru

VN 138, VN 184 – označení vedení

vn – vysoké napětí

vvn – velmi vysoké napětí

X – reaktance vedení

X_k – reaktance sítě

Z – součinitel znečištění, impedance vedení

Z_k – impedance sítě

γ – úhel dopadu slunečního záření na FV panel, měřeno od kolmice

Δf – rozdíl frekvence

Δu_{AV} – zvýšení napětí v přípojném bodu

$\Delta u_{max,nn}$ – maximální zvýšené napětí v sítích nn

$\Delta u_{max,vn}$ – maximální zvýšené napětí v sítích vn

Δu_{nn} – zvýšené napětí v sítích nn

Δu_{vn} – zvýšené napětí v sítích vn

ΔU – rozdíl napětí

Δ φ – rozdíl fáze

η – účinnost

μ,υ – řád jednotlivých harmonických

φ – úhel mezi proudem a napětím výrobny při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax}

φ_{kv} – úhel impedance sítě

ΣS_{Amax} – součet max. zdánlivých výkonů všech připojených nebo plánovaných výroben

1 ÚVOD

V současné době je získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie již běžnou součástí ve výrobní sféře elektrické energie. Obnovitelné zdroje energie přeměňují různé druhy energie, které je na Zemi dostatek. Energie ze Slunce, nebo-li sluneční záření, je jedním z mnoha obnovitelných zdrojů energie, které lze přeměnit na energii elektrickou. Sluneční energie na povrch Země dopadá velké množství, ale lidstvo zatím využívá pouze malou část této energie. Jednou z nejčastěji využívanou přeměnou sluneční energie na elektrickou energii je použití principu fotovoltaických článků. Ty jsou základním komponentem fotovoltaické elektrárny.

Fotovoltaické elektrárny jsou z hlediska svého instalovaného výkonu považovány za malé zdroje elektrické energie, které jsou připojovány do elektrizační soustavy, zejména do distribuční soustavy vn, 22 kV a 35 kV. Tyto malé zdroje elektrické energie, které mají být připojeny do distribuční soustavy, musí splňovat přesně stanovené připojovací podmínky a další náležitosti, tak jak je předepisuje provozovatel příslušné distribuční soustavy. Tyto připojovací podmínky a náležitosti jsou teoreticky popsány v první části této práce.

Fotovoltaická elektrárna tedy přeměňuje energii slunečního záření na energii elektrickou. Intenzita a množství dopadajícího slunečního záření se mění se zeměpisnou šířkou a také s lokálními klimatickými podmínkami. Vlivem této skutečnosti patří fotovoltaické elektrárny mezi elektrické zdroje s problematickým chodem. Výroba elektrické energie a její dodávání do elektrizační soustavy je závislá na slunečních podmínkách. Cílem každé přeměny energie v jinou formu energie je tuto přeměnu provést při co nejvyšší účinnosti. V dnešní době jsou vyráběny různé typy fotovoltaických článků, použitých v panelech. Fotovoltaické články se liší svou konstrukcí, použitým materiálem a účinností. Některé typy fotovoltaických článků teprve čekají na své komerční využití. Dalším důležitým komponentem fotovoltaického systému je invertor nebo-li střídač, který přeměňuje stejnoměrnou elektrickou energii z fotovoltaických článků na střídavou elektrickou energii. Střídač se správně vybranými parametry je základním předpokladem pro to, aby ve fotovoltaickém systému pracoval v optimálním režimu, a aby účinnost celého fotovoltaického systému byla za daných podmínek co nejvyšší. Střídače lze k fotovoltaickým panelům připojit různými způsoby, z nichž každý má své výhody a nevýhody. Mezi další komponenty fotovoltaického systému patří nosná konstrukce, popřípadě transformátor, atd. Zlepšení problematického chodu fotovoltaické elektrárny by bylo dosaženo použitím akumulace elektrické energie, která by vedla k zrovnoměrnění dodávky do distribuční soustavy. V České republice jsou dva způsoby výkupu vyrobené elektrické energie z fotovoltaických elektráren. Jedním je výkup elektrické energie za pevnou výkupní cenu, druhou možností je využívání tzv. zelených bonusů. Vlivem velmi výhodných výkupních cen, se v ČR neustále zvyšuje počet připojených fotovoltaických elektráren, s tím stoupá i instalovaný výkon v tomto druhu elektráren. Fotovoltaické elektrárny jako celek přináší celou řadu vlivů na elektrizační soustavu v ČR. S těmito vlivy se musí naše elektrizační soustava následně vypořádat. Zapříčiněním těchto negativních vlivů došlo a v následujících době ještě dojde, k takovým opatřením, které povedou k tomu, že investice do fotovoltaické elektrárny bude už méně výhodná. Ale také proto, že jsou zde obavy o stabilní chod naší elektrizační soustavy vlivem velkého instalovaného výkonu ve fotovoltaických elektrárnách.

V praktické části této práce bude proveden návrh fotovoltaické elektrárny o výkonu vyšším jak 500 kW, na konkrétním zvoleném pozemku v Jižních Čechách. Projekční návrh fotovoltaické elektrárny bude obsahovat návrh fotovoltaických panelů. Jejich sklon bude vypočítán s ohledem na umístění elektrárny na příslušné zeměpisné šířce. Výpočet rozestupů mezi řadami panelů bude proveden s uvažováním minimálního úhlu slunečního paprsku v zimním období, na této zeměpisné šířce a s uvažováním instalace ochrany proti blesku. To vše z důvodu, aby si řady fotovoltaických panelů vzájemně nestínily. Projektová dokumentace bude dále obsahovat návrh střídačů, jejich vhodné, logické rozmístění v závislosti na rozmístění a počtu fotovoltaických panelů, tak aby jejich výkonové zatížení bylo optimální. Dále ztráty fotovoltaického systému způsobené přenosem vyrobené elektrické energie, po vedení, z fotovoltaických panelů až po transformátorovou stanici. Tyto ztráty nejsou zanedbatelné a je nutné s nimi uvažovat v dalších návrzích, zejména ve výpočtu přepokládaného ročního množství vyrobené elektrické energie. Návrh bude obsahovat také typ použité transformátorové stanice včetně instalovaného transformátoru a jeho parametrů, provedení připojení fotovoltaické elektrárny k distribuční soustavě vysokonapěťovým kabelem včetně typu a průřezu. Takto navržená fotovoltaická elektrárna bude připojena do distribuční sítě 22 kV. Jedním z požadavků provozovatele distribuční soustavy je zhotovení studie připojitelnosti. Studie připojitelnosti této fotovoltaické elektrárny bude vypočtena na konkrétní parametry distribuční soustavy, délky a typy jednotlivých vedení, zkratový výkon a použitý transformátor v nejbližší rozvodně 110/22 kV, do které bude výkon elektrárny vyveden.

V poslední části této práce bude provedeno zhodnocení vlivu připojené fotovoltaické elektrárny na distribuční soustavu, v místě připojení. Ekonomika provozu fotovoltaické elektrárny a její investiční návratnost jsou důležitým prvkem pro rozhodování investorů. Do výpočtu ekonomiky provozu a zhodnocení investice podle návratnosti vstupuje celá řada parametrů, které je nutno pouze předpokládat v době garantované výkupní ceny. Volba těchto vstupních parametrů a jejich případná změna ovlivňují celou ekonomiku provozu a samozřejmě také celkovou návratnost fotovoltaické elektrárny. Návratnost navržené fotovoltaické elektrárny bude vypočtena pro součastnou výkupní cenu v roce 2010 a po předpokládaném snížení výkupních cen v následujícím roce 2011. Návratnost bude vypočtena pro fotovoltaickou elektrárnu, na jejíž investici nebude využit bankovní úvěr, a na kterou bude použít bankovní úvěr v 80 % výši investice. Je-li na investici do fotovoltaické elektrárny nutný bankovní úvěr nebo není, se projeví na celkové ekonomické návratnosti.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je nejprve teoreticky uvést připojovací podmínky malých zdrojů do distribuční soustavy, tak jak je udává provozovatel distribuční soustavy. Dále uvést problematiku fotovoltaického systému jako elektrického zdroje v elektrizační soustavě, včetně vlivu na elektrizační soustavu. V práci jsou popsány důležité komponenty FV systému, z kterých se skládá samotná fotovoltaická elektrárna. V praktické části je cílem navrhnout fotovoltaickou elektrárnu o výkonu větším jak 500 kW a zpracovat projektovou dokumentaci. Tuto navrženou fotovoltaickou elektrárnu dále připojit do konkrétního místa v distribuční síti a zpracovat studii připojitelnosti a zhodnotit tak, jestli lze tento zdroj do tohoto místa distribuční soustavy připojit. Posledním cílem je ekonomicky zhodnotit navrženou fotovoltaickou elektrárnu, spočítat ekonomiku provozu, určit návratnost s ohledem na současnou výkupní cenu pro rok 2010 i po plánovaném snížení výkupních cen od roku 2011. Na návratnosti se projeví, jestli bude na investici požadován bankovní úvěr nebo nebude.

3 PŘIPOJOVACÍ PODMÍNKY MALÝCH ZDROJŮ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

Jako malé zdroje elektrické energie budou předpokládány výrobny elektrické energie s výkonem do 10 MW. Všechny malé zdroje elektrické energie, které jsou připojovány do distribuční soustavy, musí splňovat připojovací podmínky dané provozovatelem distribuční soustavy - PDS. Podle zákona č. 180/2005 Sb. O podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie vyplývá povinnost PDS připojit výrobnu elektrické energie a veškerou vyrobenou elektrickou energii a dodanou do distribuční soustavy vykoupit. Připojení jakýchkoliv zdrojů elektrické energie do distribuční soustavy musí být v souladu s pravidly provozování distribučních soustav – PPDS.

3.1 Definice distribuční soustavy

Distribuční soustavou se rozumí vzájemně propojené soubory vedení a zařízení 110 kV (s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy) a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV, sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezených územích ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky. [2]

3.2 Všeobecné podmínky při zřizování výrobny elektrické energie

Při zřizování výrobny elektrické energie je zapotřebí:
- dbát na platná nařízení a předpisy,
- zajistit, aby byla vhodná pro paralelní provoz se sítí PDS,
- vyloučit zpětné rušivé působení na síť nebo na zařízení dalších odběratelů.

Při zřizování a provozu elektrických zařízení je zapotřebí dodržovat:
a) současně platné zákonné a úřední předpisy(viz [3], [4], [5]),
b) platné normy ČSN, Podnikové normy energetiky, případně Podnikové normy PDS,
c) předpisy pro ochranu pracovníků a bezpečnost práce,
d) nařízení a směrnice PDS. [6]

Před vlastním zahájením výstavby výrobny elektrické energie je nutné dodržet postupy, tak jak je ukládají příslušná pravidla a legislativní požadavky. Před samotnou výstavbou výrobny elektrické energie je nutné splnit tyto postupy:

a) Přihlašovací řízení

Jedná se o přihlášení připojení výrobny elektrické energie do distribuční soustavy. K tomu je zapotřebí předat PDS včas informace o výrobně a řešení místa připojení výrobny k distribuční

soustavě. Před stanovením podmínek připojení výrobny elektrické energie k distribuční soustavě si může PDS vyžádat informace o výrobně elektrické energie. Výčet těchto informací, které si PDS může vyžádat, je uveden *(viz Příloha A)*. [6]

b) Žádost o připojení

Základní náležitostí žádosti výrobce o připojení výrobny elektrické energie k distribuční soustavě je vyplněný formulář PDS.

Součástí podkladů dále je:

- souhlas vlastníků nemovitostí dotčených výstavbou výrobny,
- souhlas obce a příslušného stavebního úřadu s realizací výrobny,
- požadovaná hodnota rezervovaného výkonu,
- stávající hodnota rezervovaného příkonu a výkonu,
- studie připojitelnosti výrobny k distribuční soustavě v těch případech, kdy to PDS vyžaduje.

Neosahuje-li žádost všechny uvedené náležitosti, nebude ze strany PDS přijata jako odpovídající a žadatel bude neprodleně vyzván k doplnění žádosti. V odůvodněných případech může PDS požadovat do 10 dnů doplnění dalších údajů, nezbytných k posouzení žádosti. Žadatel je povinen dodat tyto údaje PDS. [6]

c) Posouzení žádosti o připojení výrobny

PDS po obdržení žádosti rozhodne do 30-ti dnů od doručení žádosti, dle charakteru výrobny a navrhovaného místa připojení, zda je nutné, aby žadatel nechal možnost připojení výrobny k distribuční soustavě ověřit studií připojitelnosti.

PDS vyžaduje studii připojitelnosti v případě, že je požadováno její zpracování. PDS vystaví žadateli do 30 dnů od doručení žádosti stanovisko pouze s předběžným určením místa připojení, pro která je možno připojitelnost výrobny ve studii připojitelnosti posuzovat.

Součástí stanoviska je:

- upozornění provozovatele distribuční soustavy na související provozované, odsouhlasené a dříve požadované výrobny. Tyto informace budou pouze obecné a budou upřesněny při předávání platných podkladů pro zpracování studie připojitelnosti.
- uvedení příslušných parametrů distribuční soustavy a souvisejících výroben, které jsou potřebné pro zpracování požadované studie připojitelnosti.

Termín pro předložení studie připojitelnosti je určen na 90 dnů. Po tuto dobu je požadavek žadatele evidován. Uvedený termín lze na žádost žadatele jednou prodloužit za předpokladu doložení zadání zpracování studie a uvedení konečného závazného termínu jejího předložení.

V případě požadavku na nezdůvodněné prodloužení termínu je PDS oprávněn žádost zamítnout, respektive navrhovaný termín odpovídajícím způsobem zkrátit. Po předložení studie s kladným výsledkem je do 30-ti dnů žadateli vystaveno vyjádření (viz následující odstavec).

V případě, že není předložení studie připojitelnosti výrobny nutné a nebo již byla žadatelem studie připojitelnosti se souhlasnými výsledky předložena a ze strany PDS odsouhlasena, je žadateli do 30 dnů od doručení žádosti vystaveno závazné stanovisko, které obsahuje všechny

náležitosti v souladu s §5 vyhlášky Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb. O podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Součástí stanoviska jsou požadavky na předložení platného územního rozhodnutí a prováděcí projektové dokumentace výrobny včetně jejího připojení k distribuční soustavě. Platnost tohoto vyjádření je omezena na 180 dnů. Lze ji prodloužit pouze na základě splnění některé z podmínek, uvedených v §5, odstavec 5 vyhlášky Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb. O podmínkách připojení k elektrizační soustavě nebo v případě doložení průběhu řízení pro posouzení vlivu stavby na životní prostředí. [6]

d) Studie připojitelnosti výrobny

Studie připojitelnosti výrobny musí obsahovat technické posouzení možného připojení výrobny elektrické energie s ohledem na:

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě při jejím maximálním a minimálním zatížení,
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě,
- dodržení parametrů zpětných vlivů na distribuční soustavu, tj. – zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobny, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických a dalších kritérií daných PPDS. [6]

Podklady pro tvorbu studie připojitelnosti zpravidla obsahují:

a) zkratový výkon vvn nebo vn v napájecí rozvodně nebo místě, od kterého bude vliv počítán,
b) stávající a výhledové hodnoty zatížení v soustavě,
c) související zdroje připojené k distribuční soustavě v uvažované části distribuční soustavy
d) platné požadavky na připojení zdrojů k distribuční soustavě v uvažované části distribuční soustavy,
e) parametry transformátoru vvn/vn,
f) stávající a výhledový stav HDO,
g) parametry vedení k místu připojení - délka, typ, průřez,
h) možné provozní stavy (základní zapojení + zapojení při náhradních dodávkách),
i) zjednodušený mapový podklad. [6]

Posuzování připojitelnosti ve zpracovávané studii připojitelnosti je nutné provádět s ohledem na dosažení, co nejnižšího zpětného ovlivnění distribuční soustavy provozem výrobny a využívat při tom všech provozních možností připojovaného zařízení. Ve studii je nutné vycházet z podmínky dodržení účiníku v předávacím místě v celém rozsahu výkonu výrobny v rozmezí $\cos \varphi = 0{,}95$ induktivní až 1. PDS může v opodstatněných případech a vzhledem k místním podmínkám požadovat kontrolu pro jiné nastavení účiníku. [6]

Rozsah studie

U zdrojů, připojovaných do sítí nn a vn je rozsah dán zpravidla stanicí s napájecím transformátorem sítě a vedením (vedeními) s doporučeným přípojným bodem zdroje. Je-li to pro ověření studie připojitelnosti zdroje důležité, může být rozsah studie rozšířen o další stanice a

vedení se zahrnutím provozovaných či plánovaných zdrojů i zátěží těchto vedení. Posuzován je základní provozní stav, případně v závislosti na požadované zabezpečenosti dodávky do distribuční soustavy i další reálné provozní varianty. [6]

e) Projektová dokumentace

Požadovaná prováděcí projektová dokumentace předložená PDS soustavy k odsouhlasení musí obsahovat minimálně tyto základní podklady:

- realizaci požadavků PDS
- délky, typy a průřezy vedení mezi výrobnou a místem připojení k distribuční soustavě, parametry použitých transformátorů
- situační řešení připojení výrobny k distribuční soustavě
- typy, parametry a navržené hodnoty nastavení elektrických ochran výrobny souvisejících s distribuční soustavou
- návrh provedení obchodního měření
- bylo-li požadováno, tak potřebné údaje k rozhraní pro dálkové přenosy a dálkové ovládání [6]

3.3 Připojovací podmínky

Před vlastním připojením výrobny elektrické energie k distribuční síti musí být splněny připojovací podmínky, s kterými je ve většině případů uvažováno při zpracovávání studie připojitelnosti, podle které je nutné ověřit připojované výrobny. Studie připojitelnoti se požaduje přibližně od výkonu 30 kW, závisí i na parametrech v dané síti.

3.3.1 Zvýšení napětí

Ke zvýšení napětí dochází vlivem dodávaného výkonu do předávacího místa distribuční sítě výrobnou elektrické energie. Zvýšené napětí v předávacím místě PDS nesmí v nejnepříznivějším případě překročit 2 % pro výrobny s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení

$$\Delta u_{vn} \leq 2\ \%. \tag{3.1}$$

Pro výrobny s přípojným místem v síti nn nesmí překročit 3 % ve srovnání s napětím bez jejich připojení

$$\Delta u_{nn} \leq 3\ \% \tag{3.2}$$

Předběžný výpočet maximální možné hodnoty zvýšeného napětí v přípojném bodě k distribuční síti je uveden *(viz Příloha B)*. [6]

3.3.2 Změna napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých zdrojů nevyvolávají nepřípustné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výrobny s předávacím místem v síti nn nepřekročí

$$\Delta u_{\max,nn} \leq 3\ \% \tag{3.3}$$

Pro výrobny s předávacím místem v síti vn platí

$$\Delta u_{\max,vn} \leq 2\ \% \tag{3.4}$$

Tyto podmínky platí, pokud spínání není častější než jednou za 1,5 minuty. Při velmi malé četnosti spínání, například jednou denně, může PDS připustit větší změny napětí, pokud to dovolí poměry v síti. Maximální změnu napětí při spínání výrobny elektrické energii k síti PDS lze odhadnout podle postupu uvedeného *(viz Příloha C)*. [6]

3.3.3 Zpětné vlivy na napájecí síť

Aby nebyla rušena zařízení dalších odběratelů a provozovaná zařízení PDS, je zapotřebí omezit zpětné vlivy výroben elektrické energie. Pro posouzení je třeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí. Bez další kontroly zpětných vlivů mohou být výrobny připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě S_{kv} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500. Jinak je pro posouzení připojení jedné nebo více výroben v jednom společném napájecím bodě, potřeba vycházet z následujících podmínek. [6]

3.3.4 Flikr

Flikr je způsobený kolísáním napětí. Projevuje se především kolísáním světelného toku u světelných zdrojů. U výroben elektrické energie připojených k distribuční soustavě má vliv na parametry v síti především dlouhodobý flikr.

Dlouhodobý flikr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu flikru

$$P_{lt} \leq 0{,}46\,. \tag{3.5}$$

V příloze *(viz Příloha D)* je uveden výpočet flikru s jedním i více zařízeními připojenými k síti v předávacím místě, s uvažováním činitele flikru *c*, který udává výrobce zařízení. [6]

3.3.5 Proudy jednotlivých harmonických

Harmonické proudy vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy produkované těmito zařízeními musí udat výrobce zařízení, například zprávou o typové zkoušce.

Výrobny v síti nn

Za předpokladu, že do sítě nn nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výrobny s maximálním výkonem do 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, mohou být pro posouzení harmonických proudů I_v použita jednoduchá kritéria uvedená *(viz Příloha E, Odst. Výrobny v síti nn)*.

Výrobny v síti vn

Výpočet proudů jednotlivých harmonických je uveden *(viz Příloha E, Odst. Výrobny v síti vn)*.

3.3.6 Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání – HDO jsou obvykle provozována s frekvencí 183,3 Hz až 283,3 Hz. Použitou frekvenci HDO v příslušném připojovacím místě je nutné zjistit u PDS. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % Un. Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jež do určité míry vychází z 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Výrobny elektrické energie připojené do sítě, do níž se vysílá signál HDO, jej ovlivňují přídavným zatížením vysílačů HDO. Útlum signálu HDO nesmí být větší jak 5 %. Přídavné zatížení vysílačů HDO plyne z:

- vlastního zařízení výrobny
- zvýšeného zatížení sítě, vlivem připojené výrobny [6]

Výrobny, které lze připojit k síti bez posouzení je možné, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodu a výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v *(Tab. 3-1)*.

Tab. 3-1 Maximální výkony výroben, které lze připojit bez posouzení vlivu na HDO [6]

napěťová úroveň [kV]	**Celkový výkon výrobních zařízení**	
	v přípojném bodě	**v síťové oblasti**
0,4	10 kVA	20 kVA
vn	2 MVA	4 MVA
110	20 MVA	40 MVA

V případě výroben vyššího výkonu než uvedených v tabulce *(viz Tab. 3-1)* se posuzuje vliv výrobny na zatížení vysílače HDO *(viz Příloha F)*.

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí, kde obecně platí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0,1 % U_n,
- napětí produkovaná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0,3 % U_n.

Výše uvedené hodnoty 0,1 % *Un* respektive 0,3 % *Un* vycházejí z předpokladu, že v síti nn nejsou připojeny více než dvě vlastní výrobny. Pokud vlastní výrobna nepřípustně ovlivňuje provoz zařízení HDO, je zapotřebí, aby její provozovatel učinil opatření potřebná k odstranění ovlivnění, a to i když ovlivnění je zjištěno v pozdějším čase. [6]

3.4 Elektroměry, měřící a řídící zařízení

Druh a počet potřebných měřicích zařízení, elektroměrů PDS, a řídících přístrojů, přepínačů tarifů, se řídí podle smluvních podmínek pro odběr a dodávku elektrické energie příslušného PDS. Proto je nutné projednat jejich umístění s PDS již ve stadiu projektu. Elektroměry pro účtování a jim přiřazené řídící přístroje jsou umístěny na vhodných místech udaných PDS.

Měření se volí podle výkonu a napěťové hladiny, do které výrobna pracuje:

Nízké napětí
- podle výkonu výrobny buď: přímé - do 80 A
  polopřímé

Vysoké napětí
- do výkonu transformátoru 630 kVA včetně: - měření na straně nn, polopřímé
- od výkonu 630 kVA: - měření na straně vn, nepřímé

Velmi vysoké napětí 110 kV
- měření na straně 110 kV, nepřímé.

Elektroměry pro polopřímé a nepřímé měření se volí elektronické čtyřkvadrantové. Dodávku a montáž elektroměrů zajišťuje PDS. Přístrojové měřicí transformátory napětí či proudu jsou součástí zařízení výrobny musí být schváleného typu, požadovaných technických parametrů a úředně ověřeny. V případě oprávněných zájmů PDS musí výrobce vytvořit podmínky pro to, aby přes příslušné komunikační rozhraní mohly být na příslušný dispečink PDS přenášeny další údaje důležité pro bezpečný a hospodárný provoz, například hodnoty výkonu a stavy vybraných spínačů. [6]

3.5 Spínací zařízení

Spínací zařízení musí být trvale přístupné pro PDS. Pro spojení vlastní výrobny se sítí PDS musí být použito spínací zařízení (vazební spínač) minimálně se schopností vypínání zátěže (například vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový odpínač), kterému je předřazena zkratová ochrana. Tento vazební spínač může být jak na straně nn, tak i na straně vn. Spínací zařízení musí zajišťovat galvanické oddělení ve všech fázích. U vlastních výroben se střídači je třeba spínací zařízení umístit na střídavé straně střídače. Při společném umístění ve skříni se střídačem

nesmí být spínací zařízení vyřazeno z činnosti zkratem ve střídači. Výrobce musí prokázat zkratovou odolnost celého zařízení. K tomu mu PDS udá velikost příspěvku zkratového ekvivalentního oteplovacího proudu a velikost nárazového zkratového proudu ze sítě. Způsobí-li nová výrobna zvýšení zkratového proudu v síti PDS nad hodnoty, na které je zařízení sítě dimenzováno, pak musí výrobce učinit opatření, která výši zkratového proudu z této výrobny nebo jeho vliv patřičně omezí. [6]

3.6 Ochrany

Ochrany výrobny elektrické energie, zkratovou ochranu, ochranu proti přetížení, ochranu před nebezpečným dotykem je nutné provést podle příslušných pravidel. U zařízení schopných ostrovního provozu je třeba zajistit chránění i při ostrovním provozu. K ochraně vlastního zařízení a zařízení jiných odběratelů jsou potřebná další opatření využívající ochran, které při odchylkách napětí a frekvence vybaví příslušná spínací zařízení. Při připojení výrobny do sítě vn jsou použity ochrany uvedené v tabulce *(viz Tab. G-1 Příloha G)*, kde jsou uvedeny i příklady nastavených ochran. Při připojení výrobny do sítě nn, kde fázové proudy jsou do 16 A, jsou použité ochrany a příklady jejich nastavení znázorněny v tabulce *(viz Tab. G-2 Příloha G)*. V některých případech může být, s ohledem na síťové poměry, jiné nastavení ochran, než jaké jsou uvedeny v tabulkách ve výše uvedených přílohách. Jejich nastavení je vždy nutné odsouhlasit s PDS, kde podkladem pro tato nastavení jsou studie dynamického chování zdrojů v dané síti. Podpěťová a nadpěťová ochrana musí být trojfázová. Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana může být jednofázová. Při připojení výroben k síti provozované s opětným zapínáním je zpoždění vypínání přípustné jen tehdy, když je pro nezpožděné odpojení výrobny při opětném zapnutí k dispozici zvláštní ochrana. Výrobce je povinen si zajistit, aby spínání, kolísání napětí, krátkodobá přerušení včetně opětného zapínání nebo jiných přechodových jevů v síti PDS nevedly ke škodám na jeho zařízení. [6]

3.7 Řízení jalového výkonu

Obecně způsob řízení jalového výkonu závisí vždy na konkrétním místě distribuční soustavy a určuje ho PDS po konzultaci s výrobcem.

3.7.1 Zdroje připojované do sítě nn

Zdroje do fázového proudu 16 A včetně

Účiník zdroje, za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí, musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní. Za předpokladu, že činný výkon je nad 20 % zdánlivého výkonu zdroje.

Fotovoltaické elektrárny do fázového výkonu 4,6 kVA včetně

U fotovoltaických elektráren do výkonu 4,6 kVA na fázi se kompenzace účiníku nepožaduje.

Ostatní zdroje

Účiník zdroje, za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí, musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého výkonu zdroje. [6]

3.7.2 Zdroje připojované do sítě vn

Tyto zdroje musí být při dodávce činného výkonu vybaveny pro některý z následujících režimů řízení jalového výkonu v předávacím místě.

a) udržování pevné hodnoty zadaného účiníku cos φ,
b) udržování hodnoty účiníku cos φ = f (P),
c) udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/dodávka) v rámci provozního PQ diagramu stroje,
d) udržování napětí v předávacím místě (na výstupu generátoru, za blokovým transformátorem nebo v pilotním uzlu distribuční soustavy) v rámci omezení daných PQ diagramem stroje.

Pro výkon výrobny do 400 kW postačí vybavení pro řízení podle bodu a. Podmínky řízení jalového výkonu pro výrobny s vyšším výkonem než 400 kW jsou uvedeny *(viz Příloha H)*. [6]

3.8 Připojení výrobny k síti

Výrobny elektrické energie nebo zařízení odběratelů s vlastními výrobnami, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k distribuční síti ve vhodném předávacím místě. Způsob a místo připojení k síti stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozu výrobny. Tím bude zajištěno, že vlastní výrobna bude provozována bez rušivých účinků.

Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z:
- impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu),
- připojovaného výkonu,
- druhu a způsobu provozu vlastní výrobny.

Připojení k síti PDS se děje v předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupném kdykoliv personálu PDS. [6]

3.8.1 Připojování výroben se střídači

Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. U vlastních výroben se střídači, schopných ostrovního provozu, které nejsou spínány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10\ \%\ U_n$,
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0{,}5$ Hz,
- rozdíl fáze $\Delta\varphi < \pm 10°$. [6]

4 PROBLEMATIKA FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

Fotovoltaické – FV elektrárny pracují na principu přeměny energie ze Slunce, sluneční energie na elektrickou energii. K této přeměně energie dochází ve FV článcích, respektive v panelech, což je seskupení mnoha FV článků v jeden celek. Sluneční záření ze Slunce vzniká v jeho nitru. Nitro Slunce obsahuje 3 vrstvy:

a) jádro – vzniká zde termojaderná fúze při teplotě $13 \cdot 10^6$ K,

b) oblast atmosféry – vznik elektromagnetického záření,

c) sluneční vítr – emitace protonů, α částic a elektronů. [7]

Sluneční záření dopadá na povrch Země ve formě elektromagnetického záření. Z celkového slunečního výkonu $3{,}8 \cdot 10^{23}$ kW, dopadne na zemský povrch pouze $1{,}8 \cdot 10^{14}$ kW energie. Jedna polovina slunečního záření je pohlcena zemským povrchem a přemění se na teplo ve formě infračerveného záření s přibližnou vlnovou délkou 10 μm. Toto teplo je vyzářeno do vesmíru, Země se chová jako transformátor energie. Dále se část energie ze Slunce spotřebuje k odpaření vody v oceánech. Před vstupem do atmosféry, která je okolo Země, je hustota dopadající sluneční energie – sluneční konstanta I_0 = 1360 $W \cdot m^{-2}$. Prostupem atmosféry je sluneční energie tlumena nebo odražena a na zemský povrch pak dopadá energie v rozmezí 1 $kW \cdot m^{-2}$ až několik desítek $W \cdot m^{-2}$, tyto hodnoty závisí na znečištění atmosféry podle

$$I_{PN} = I_0 \cdot A^{-Z} \tag{4.1}$$

kde: A – součinitel závisící na výšce Slunce nad zemským povrchem,

Z – je součinitel znečištění.

Součinitel znečištění dosahuje hodnot:

$Z = 2$ – pro místa nad 2000 m. n. m.

$Z = 2{,}5$ – pro místa nad 1000 m. n. m.

$Z = 3$ – pro venkov bez průmyslových exhalací

$Z = 4$ – pro města a průmyslová střediska

$Z = 5$ až 8 – silně znečištěné prostředí [7]

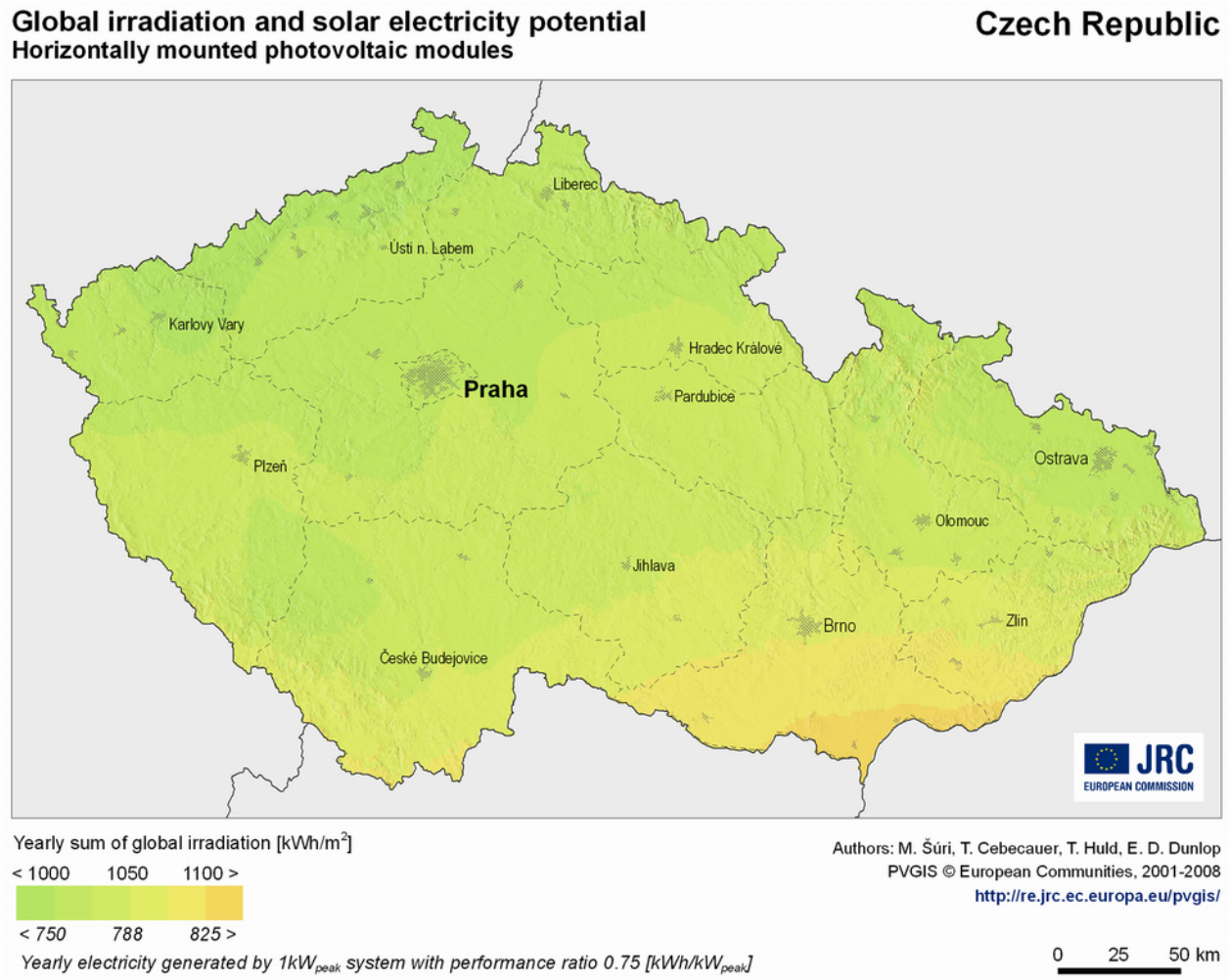
Sluneční záření je složeno ze záření přímého a záření difuzního. FV panely využívají primárně přímé sluneční záření, při němž mají nejvyšší výkon. Aby byla přeměna sluneční energie na elektrickou ve FV panelech co nejvyšší, musí sluneční záření dopadat kolmo na FV panel. V případě, že tomu tak není je výsledná energie dopadajícího slunečního záření menší podle

$$I_P = I_{PN} \cdot \cos \chi \tag{4.2}$$

kde: γ – je úhel mezi Sluncem a kolmicí vůči zemskému povrchu.

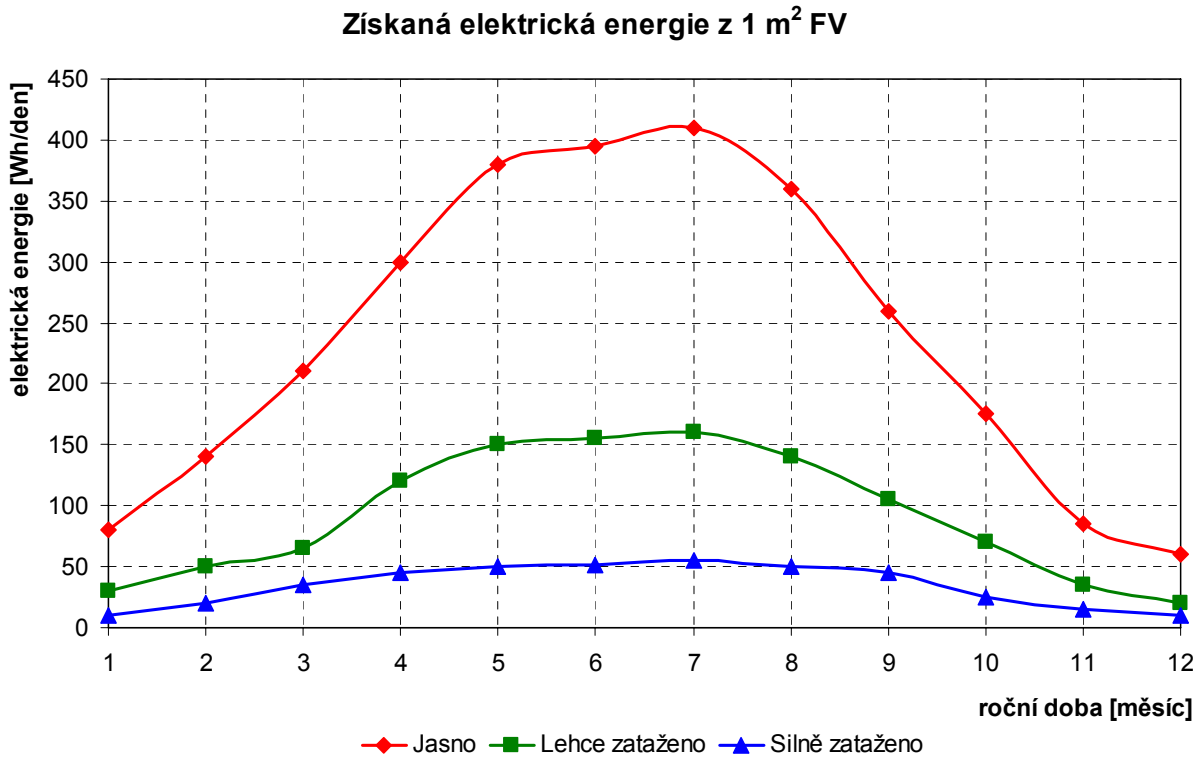
Při difuzním záření je účinnost přeměny nejnižší a závisí na míře znečištění atmosféry Z. Při součiniteli znečištění $Z = 3$ dopadající energie obvykle nepřevyšuje hodnotu 100 $W \cdot m^{-2}$.

Dalším omezením ve výrobě elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů je různá dopadající sluneční energie v závislosti na zeměpisné šířce. Pro Českou republiku je dopadající sluneční energie v závislosti na zeměpisné šířce znázorněná na obrázku *(viz Obr. 4-1)*.

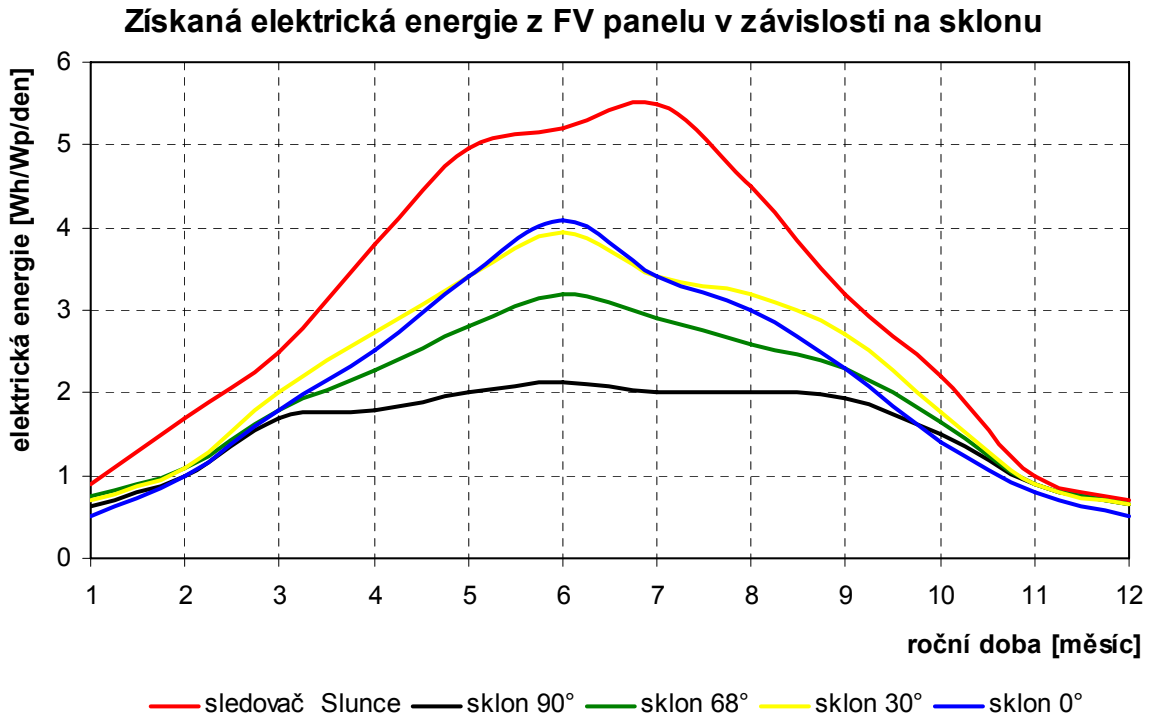


Obr. 4-1 Dopadající sluneční energie na území ČR a možný zisk elektrické energie [8]

Z FV elektrárny nemůžeme předpokládat konstantní dodávku elektrické energie. A to jednak v závislosti na počasí, s ohledem na sluneční podmínky, ale také především na denní dobu. Jednak se střídá den a noc, ale také přes den se mění dopadající energie slunečního záření. Na obrázku *(viz Obr. 4-2)* je znázorněn graf představující průměrnou získanou elektrickou energii z FV panelu za den, který má plochu 1 m^2 o výkonu 106 Wp, v závislosti na počasí a roční době. Množství získané elektrické energie z FV panelu závisí také na naklonění FV panelu vůči slunečnímu záření. Úhel slunečního záření se mění s roční dobou. Maximální využití slunečního záření by bylo dosaženo použitím sledovače Slunce tzv. Trackeru. Jeho poloha se neustále mění v závislosti na poloze Slunce. U FV panelů v pevné poloze je optimální sklon pro celoroční provoz 35°. Přesnější sklon FV panelů lze získat výpočtem pomocí programu *(viz [18])*. Na obrázku *(viz Obr. 4-3)* je znázorněn zisk elektrické energie za 1 den z FV panelu. Kromě sklonu panelů má vliv na energetický zisk také orientace FV panelů, směrem k jihu, rozestup mezi nosnými konstrukcemi FV panelů. FV panely by neměly být zastíněny stromy, budovami, atd.



Obr. 4-2 Získaná energie z 1 m² FV o výkonu 106 Wp v závislosti na roční době a počasí [9]



Obr. 4-3 Získaná elektrická energie FV panelu v závislosti na sklonu [9]

4.1 Definice fotovoltaického systému

FV systém je soubor elektrických zařízení a přístrojů, které tvoří samotnou FV elektrárnu tak, aby její provoz byl v dané situaci co možná nejefektivnější.

FV systém obecně obsahuje komponenty tak, aby bylo možné:

- přeměňovat energie ze slunce na elektrickou energii pomocí FV panelů,
- elektricky propojit jednotlivé FV panely s dalšími elektrickými prvky pomocí elektrických propojovacích kabelů,
- měnit parametry elektrické energie na požadované hodnoty dále využitelné pro spotřebu pomocí střídačů napětí,
- připojit FV systém do elektrizační sítě a zaznamenávat vyrobenou elektrickou energii pomocí elektroměru,
- připojit FV systém do distribuční sítě vn a transformovat tak napětí na požadovanou hodnotu pomocí transformátorů,
- sledovat a případně řídit celý FV systém pomocí řídícího systému.

4.2 Komponenty fotovoltaického systému

4.2.1 Fotovoltaický panel

FV panel je poměrné složité technické zařízení, jehož hlavním úkolem je přeměnit energii ze Slunce na elektrickou energii. Snahou je tuto transformaci energie provést s co nejvyšší účinností. Samotný princip přeměny energie proudu fotonů (slunečního záření) v energii pohybujících se elektronů (elektrický proud) je popsán vnitřním fotoelektrickým jevem.

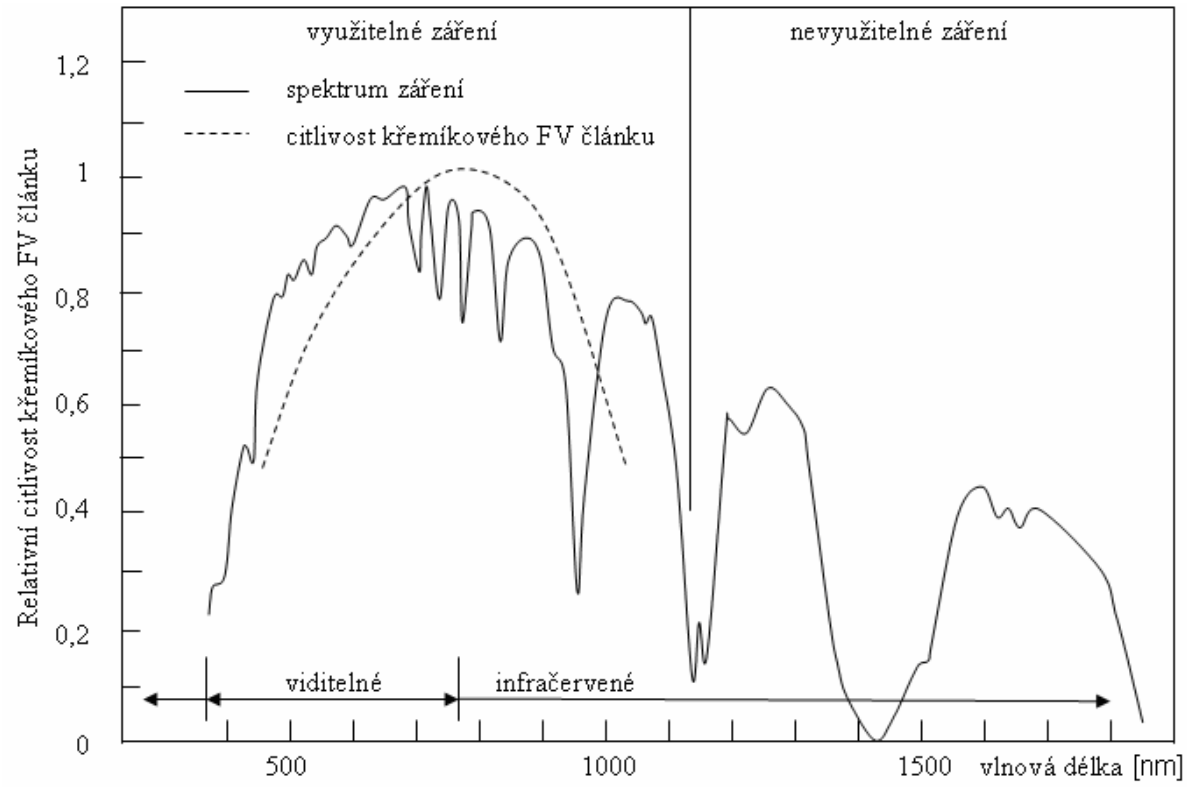
Vnitřní fotoelektrický jev

Sluneční záření (proud fotonů) dopadá na přechod PN. Foton narazí do elektronu ve valenční vrstvě atomu a předá mu svoji energii. Tento elektron excituje – přechází na vyšší energetickou hladinu. Touto excitací elektronu vzniká pár elektron díra – tzv. generace. Podmínkou je, aby energie fotonu byla vyšší než je energie zakázaného pásu, aby došlo k překonání zakázaného pásu elektronem. Dále je nutné tento pár elektron díra separovat potenciálovou bariérou, aby nedošlo po určité době ke zpětnému přechodu elektronu do valenčního pásu – tzv. rekombinace. Potenciál přechodu PN je vhodný pro separaci elektronů a děr. Separované elektrony a díry je nutné z oblasti přechodu PN odvést odděleně ke spotřebiči.

Fotovoltaické panely

FV panel je složen z jednotlivých FV článků. FV článek je vyroben z polovodičového materiálu – křemíku. Výstupní napětí jednoho článku se pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,7 V a výstupní proud je 3 A.

FV panel je tvořen z několika FV článků spojených sérioparalelně. Z vrchní části jsou články překryty vrstvami materiálů, které ovlivňují ztráty, především odrazem. Tyto krycí materiály musí dosahovat vysoké účinnosti pohlcení slunečního záření a zároveň poskytovat ochranu před nepříznivými přírodními jevy, krupobitím, sníhem, atd. Na obrázku *(viz Obr. 4-4)* je znázorněna část spektra slunečního záření, která je využitelná křemíkovým článkem. Pro FV panely se používá spektrum AM 1,5, které odpovídá výšce Slunce přibližně 45° nad obzorem. Označení spektra AM 1,5 se rozumí modelové spektrum slunečního záření po průchodu bezoblačnou oblohou. Energetická hustota tohoto spektra je 1 kW/m^2, v reálných podmínkách silně závisí na znečištění atmosféry.



Obr. 4-4 Část spektra slunečního záření, která je využitelná křemíkovým FV článkem [1]

Podle typu materiálu, z kterých jsou vyrobeny FV články, lze rozdělit na:

1) Objemové materiály

a) monokrystalický křemík

FV články z monokrystalického křemíku jsou v našich podmínkách nejvíce používané. Rozměry krystalu křemíku jsou větší než 10 cm, to neznamená, že by muselo jít o jeden neporušený krystal. Monokrystalické články se vyrábí z ingotů polykrystalického křemíku na bázi chemického procesu pomalým tažením krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Ty se poté rozřežou na tenké plátky. Monokrystalické články dosahují účinnosti 15 - 18 %.

b) multikrystalický křemík

FV články z multikrystalického křemíku jsou vyráběny podobnou technologií jako monokrystalické články. Použitý křemík nedosahuje tak vysoké čistoty jako křemík pro monokrystalické články. Multikrystalické články dosahují účinnosti 14 – 17 %.

c) polykrystalický křemík

Jde dnes o nejběžnější typ FV článků. Tyto články se vyrábějí odléváním čistého křemíku do vhodných forem a řezáním vzniklých ingotů na tenké plátky. Odlévání je podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu, proto jsou levnější a rychlejší. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje v rozmezí 12 až 14 % výjimečně až 16 %.

2) Tenkovrstvé technologie

a) amorfní křemík

Základem amorfních FV článků je napařovaná tenká křemíková vrstva nanesená na sklo nebo fólii v několika dalších různých vrstvách. Účinnost těchto článků je poněkud nižší, dosahuje 7 – 9 %. Pro dosažení daného výkonu je potřeba 2,5 krát větší plochy, než kolik by bylo potřeba při použití monokrystalických nebo polykrystalických FV panelů. Celoroční výnos je ovšem o 10 % vyšší, protože každá vrstva reaguje na jiné spektrum slunečního záření, a tím lze získat výrobu elektrické energie i bez přímého slunečního svitu. Tyto typy článků patří dnes na trhu k nejlevnějším a výhodné jsou především tam, kde investor není omezen plochou.

b) mikrokrystalický křemík

Je často použit v kombinaci s amorfním křemíkem. Amorfní a mikrokrystalický křemík mají odlišné hodnoty zakázaného pásu, takže mohou být zapojeny do tandemu. V takovém případě se dá využít větší část energie fotonů, kdy horní článek z amorfního křemíku absorbují větší část energie fotonů. Fotony s menší energií jím projdou a jsou absorbovány na dolním článku z mikrokrystalického křemíku.

c) CdTe

Materiál telurid kadmia má ideální vzdálenost valenčního a vodivostního pásu a velkou schopnost absorbovat sluneční záření v infračervené oblasti 790 nm.

d) $CuInSe_2$ – CIS

FV články z materiálu Diselenid mědi a india se vyznačují vysokou absorptivitou slunečního záření, a proto mohou být velmi tenké. 99 % záření se pohltí v prvním mikrometru tloušťky. Dosahují vysoké účinnosti, v laboratoři až 18 %.

e) Amorfní SiGe

f) InGaN

3) Alternativní technologie

a) polymerní vodivé vrstvy

Jde o určitou analogii FV článků s PN přechodem. Ve směsi vodivých polymerních molekul, z nichž jedna má elektroakceptorové vlastnosti a druhá elektrondonorové vlastnosti, dojde k pohlcení fotonu a ke vzniku vázaného páru elektron díra a za určitých podmínek dojde k přenosu náboje na elektronakceptorovou molekulu, například poly (3-oktyl-thiofen). Jako

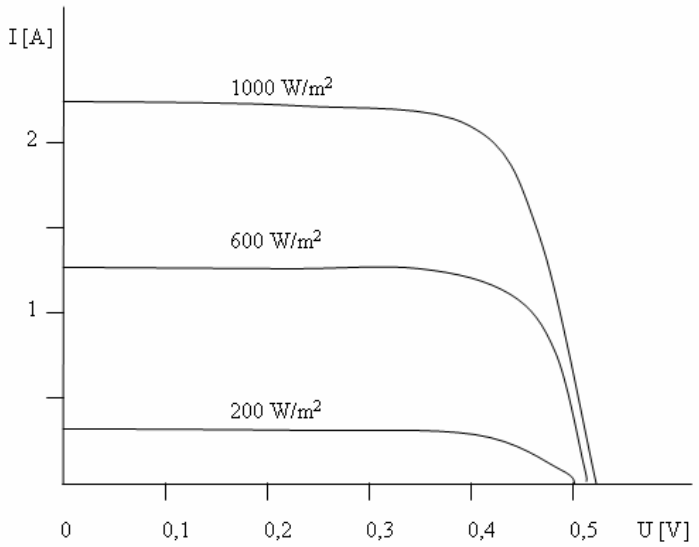
akceptor elektronů slouží uhlíková nanotrubice Carbolex. Problémy jsou zatím s účinností, protože pohyblivost elektronů v organických systémech je horší než v anorganických polovodičích, a je tedy větší šance k rekombinaci nábojů.

b) fotogalvanické články s organickým barvivem

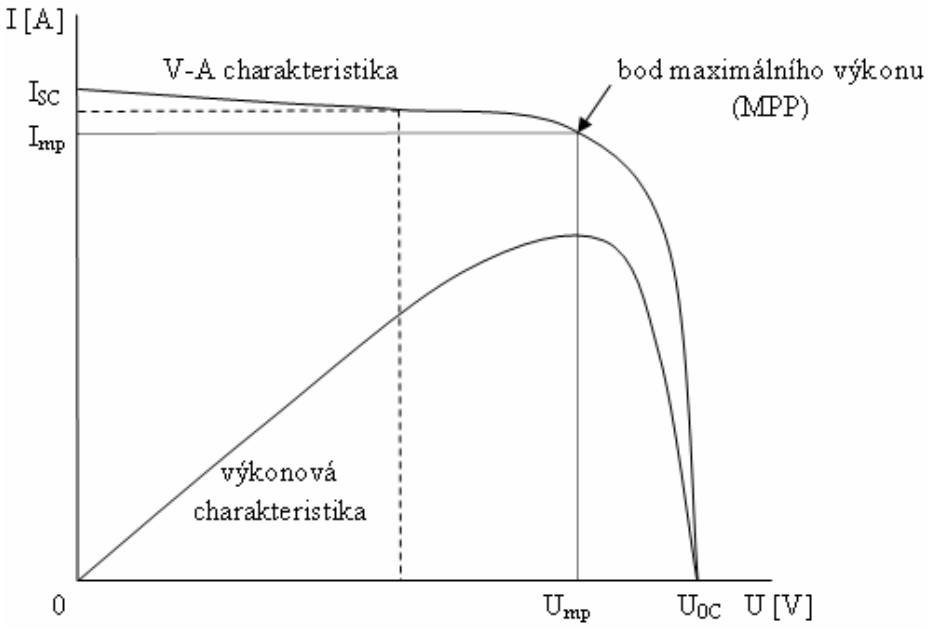
Tento článek se skládá z vrstvy vysoce porézního a vysoce jemného oxidu titaničitého, v němž je nasáknut vodný roztok elektrolytu obsahující redox (příklad jód/jodid) a vhodné barvivo (organický komplex ruthenia). Barvivo zachycením fotonu vytvoří excitovaný stav a elektron je přenesen na TiO_2. Elektron projde skrz strukturu TiO_2 na průhlednou elektrodu a je odveden do vnějšího obvodu. Obvod je uzavřen tak, že na druhé elektrodě je elektron vstupující z vnějšího obvodu přenesen na jód. Vytvoří se trijodidový aniont a ten redukuje oxidovanou formu barviva, které je tak připraveno na přijetí dalšího fotonu. Výhodou článků tohoto typu jsou menší nároky na čistotu použitých materiálů. Zásadní nevýhodou jsou potíže s kapalným a korozivním elektrolytem, který musí být dokonale uzavřen. A se stabilitou použitého barviva, které musí vydržet dlouhou dobu sluneční záření a nesmí se rozkládat. Bylo dosaženo účinnosti 7,3 %. [1]

Elektrické vlastnosti FV článků

Pro praktické využití FV článku jsou důležité tři elektrické veličiny: napětí, proud a vnitřní odpor. U FV článku je napětí naprázdno dáno především použitým polovodičem. Proud nakrátko je dán intenzitou dopadajícího záření. FV článek se při konstantní intenzitě slunečního záření chová jako zdroj konstantního proudu, jehož velikost je limitována počtem fotonů dopadajících za jednotku času. Proud tekoucí článkem závisí i na účinnosti, vyšší účinnost vyšší proud článku. Na vnitřním odporu článku dochází k nežádoucímu úbytku napětí. Dále se na elektrických parametrech uplatňují vnější vlivy, především teplota. Vyšší teplota znamená nižší napětí. Z V-A charakteristiky *(viz Obr. 4-6)* vyplývá při daných podmínkách (intenzita osvětlení, teplota) jedna hodnota napětí a proudu, při niž nabývá výkon článku maximální hodnoty. Pokud je to možné provozujeme FV články v tomto bodě - MPP.



Obr. 4-5 V-A charakteristika FV článku v závislosti na intenzitě osvětlení



Obr. 4-6 V-A a výkonová charakteristika FV článku

4.2.2 Střídače - invertory

Výstupní napětí z FV panelů je stejnosměrné a z hlediska využití elektrické energie s tímto průběhem napětí, omezeně využitelné. Je proto nutné použít střídačů – invertorů napětí, které pomocí polovodičových spínacích součástek mění stejnosměrný průběh napětí na střídavý (sinusový) průběh napětí. Takto vytvořené elektrické střídavé napětí je přímo využito spotřebiči nebo dále transformováno na požadovanou hodnotu napětí, pomocí transformátorů. Střídače se rozlišují podle systému, do kterého se připojují. Jedná se o tyto dva druhy střídačů:

a) izolované střídače - pracují v síti, která je oddělená od distribuční – systémy grid off. Tyto střídače mají omezené možnosti nastavení výstupních veličin, jako je frekvence a velikost napětí. Průběh výstupního střídavého napětí se často může značně lišit od sinusového průběhu. V této izolované síti by měl být jen jeden střídač, aby nedocházelo k poškození spotřebičů vlivem rozdílných průběhů proudu a napětí.

b) střídače pro paralelní provoz se sítí - pracují ve FV systémech, které jsou napojeny na distribuční síť. Jejich výstupní napětí odpovídá síťovému a je synchronní se síťovým kmitočtem. Vyrábí se v jednofázovém i třífázovém provedení. Z bezpečnostních důvodů musí tyto střídače neustále sledovat napětí v síti a při jeho výpadku musí být okamžitě odpojeny od sítě. Pro volbu vhodného střídače je rozhodující především jmenovitý výkon připojených FV panelů a velikost výstupního napětí FV panelů.

Parametry střídačů

Výkon střídače

Udává maximální přenášený výkon, který je schopen transformovat ze vstupní stejnosměrné strany na výstupní střídavou stranu bez výrazného omezení.

Vstupní napětí

Udává maximální připojitelné napětí na vstupní stranu střídače. Z důvodu snížení ztrát vedením je toto napětí několik stovek voltů, například 600 V.

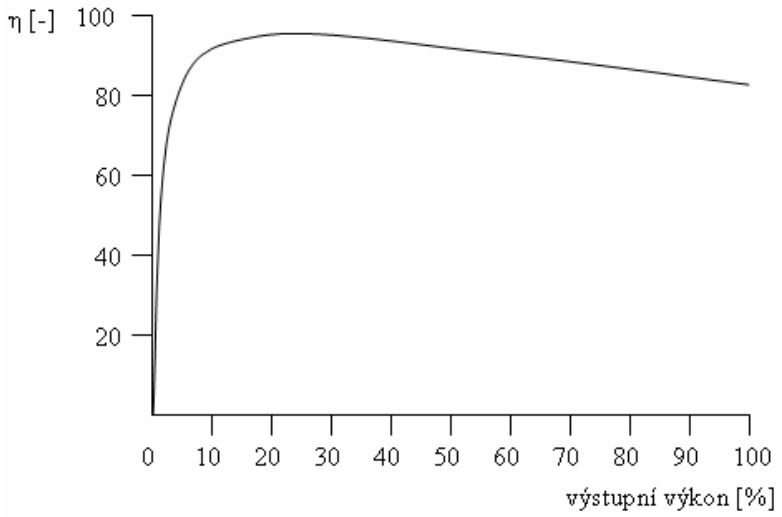
Výstupní napětí

Výstupní napětí u izolovaných střídačů je dáno požadovaným napětím spotřebičů. U střídačů spojených s distribučních sítí je definováno síťovým napětím 230 V u jednofázového provedení a 400 V u třífázového provedení.

Účinnost střídače

maximální účinnost – pohybuje se v současnosti u střídačů v rozmezí 90 – 98 %, ale sama o sobě není úplně vypovídající charakteristikou. Vysoká hodnota maximální účinnosti rozhodně nezajišťuje vysoké energetické zisky. Střídač v provozu totiž dosáhne této hodnoty jen za optimálních podmínek (zpravidla při jmenovitém DC napětí a středních hodnotách AC výkonu).

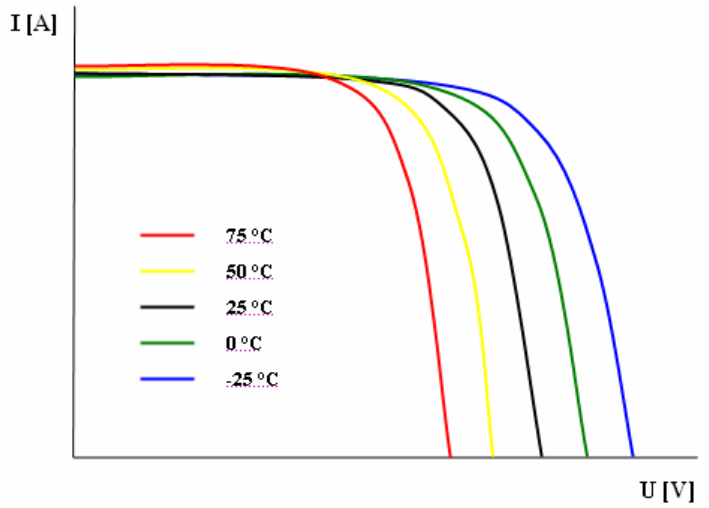
evropská účinnost – je účinnost měřená při měnících se klimatických podmínkách. Je průměrem účinnosti při různém zatížení střídače, měří se při 5, 10, 20, 30, 50 a 100 % jmenovitého výkonu. Hodnoty účinností jsou tedy reálnější vzhledem k provozním podmínkám střídače. Tato účinnost se měří při optimálním napětí na DC straně, které je v provozu silně ovlivněno teplotou, která se v průběhu roku mění. Pro množství vyrobené elektrické energie je důležitá vysoká účinnost v celém rozsahu možných bodů maximálního výkonu (MPP) použitých FV panelů. A přesnost MPP trackeru, což je elektronické zařízení střídače, které nastavuje pracovní bod tak, aby odpovídal aktuálnímu bodu maximálního výkonu FV panelů.



Obr. 4-7 Účinnost střídače v závislosti na jmenovitém výstupním výkonu [10]

Rozsah napětí MPP

Udává rozsah napětí, ve kterém by měl být schopen střídač optimálně pracovat, v bodě maximálního výkonu MMP. Vstupní stejnosměrné napětí se mění s teplotou, proto je důležité, aby střídač pracoval s vysokou účinností v celém pracovním rozsahu.



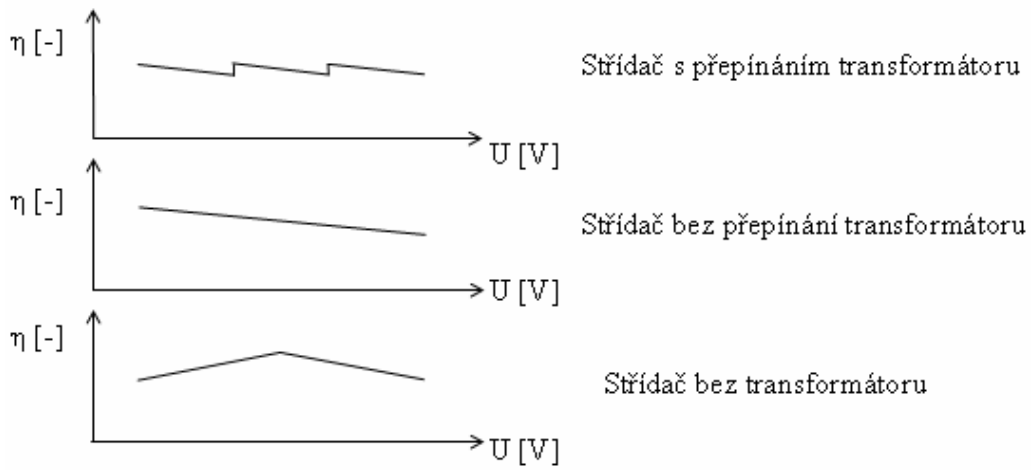
Obr. 4-8 Rozsah napětí MPP [10]

Účinnost přizpůsobení MPP

Jedná se o důležitý parametr, který udává, jak rychle dokáže střídač zareagovat na změnu klimatických podmínek a na tuto změnu příslušně a přesně reagovat. Čím delší je tato prodleva, tím horší jsou výsledky. Tuto funkci ve střídači obstarává tzv. MPP tracker. Jedná se o zařízení pro sledování bodu maximálního výkonu - MPP, které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. Hodnota této účinnosti neklesá u kvalitních střídačů pod 99 %.

Střídač s transformátorem nebo bez transformátoru

Vlivem různých klimatických podmínek se mění napětí na vstupu střídače. S touto změnou se mění i účinnost střídače. Vyšší zisk ve výrobě elektrické energie získáme použitím střídače s vysokofrekvenčním transformátorem, který umožňuje přepínání podle vstupního napětí přiváděného do střídače. Tím dosáhneme rovnoměrné účinnosti v celé oblasti vstupního napětí. U střídačů bez přepínání transformátoru účinnost klesá se zvyšujícím se vstupním napětí. Střídače bez transformátoru špičku účinnosti nemají.



Obr. 4-9 Účinnost střídače v závislosti na vnitřním zapojení střídače [10]

Koncepce využívající větší počet výkonových dílů

Některé vyráběné střídače obsahují několik výkonových stupňů. To má vliv jednak na stálý chod střídače, ale také na jeho účinnost a na prodloužení životnosti. Při částečném zatížení pracuje s vyšší účinností nižší výkonový stupeň. Další se zapínají podle měnících se slunečních podmínek. Tato koncepce je vhodná zejména v oblastech s častou změnou klimatu, například ČR, kde jsou střídače často vlivem oblačnosti a mlh zatíženy pouze částečně. Sledovány jsou i hodinové využití jednotlivých výkonových stupňů a využívá se vždy ten, který je nejméně opotřebený. Životnost střídače se tak prodlužuje, provozní náklady klesají. Při případné poruše výkonového stupně střídač pracuje dál. Ostatní výkonové stupně převezmou jeho práci, nedojde k přerušení provozu. Stačí pouze vyměnit poškozený výkonový stupeň.

Sběr a analýza dat

Jedná se o důležitou funkci, zejména u větších instalací, kdy je sběr dat a jejich analýza důležitou kontrolou celého chodu systému. Při poruše jakéhokoliv střídače by měl mít provozovatel FV elektrárny záznam v informačním systému, který ho na závadu upozorní a umožní mu neprodleně reagovat. Hledat ručně závadu často u několika desítek střídačů může být časově náročné a nákladné. Výrobci střídačů nabízejí celou řadu komunikačních a datových zařízení umožňující komfortní kontrolu výroby a sledování poruch. Stahování dat na počítač a zobrazování na displeji pomocí kabelových či bezdrátových technologií, je dnes standardem. Stejně jako zasílání chybových hlášení pomocí sms nebo e-mailu. Někteří výrobci nabízejí také možnost sledovat data o vlastní výrobě prostřednictvím centrálních serverů. Provozovatel FV elektrárny pak může sledovat a porovnávat množství vyrobené elektrické energie přímo na internetu.

Chlazení a řízení teploty, venkovní nebo vnitřní použití.

Teplota střídače může poměrně citelně ovlivnit jeho účinnost. Základem je proto použití kvalitní elektroniky pracující bezchybně i při vysokých teplotách a dobrý systém chlazení či odvětrávání. Jako výhodné se jeví chlazení pomocí uzavřeného chladiče, kdy se chladící vzduch nedostane přímo do kontaktu se základní deskou a elektronikou. Prach a vlhkost tak zůstávají mimo vlastní střídač. Výhodou některých střídačů je také možnost napájet ventilátory chlazení z externího zdroje a není tedy nutné spotřebovávat vlastní vyrobenou elektřinu.

O možném použití střídače ve venkovním nebo vnitřním prostředí nás informují stupně krytí IP, které udávají odolnost střídačů proti vniknutí cizích těles a kapalin. Většinu moderních střídačů je dnes možné instalovat ve vnitřním prostředí a při splnění předepsaných podmínek i ve venkovním prostředí.

Servis

Kvalitní a rychlý servis, případné poruchy na střídači, je základním předpokladem bezproblémové investice. Při poruše střídače dochází k omezení nebo výpadku výroby elektrické energie, čímž provozovatel fotovoltaické elektrárny přichází o zisk. Jistou výhodou je použít střídačů, jejichž výrobci mají v České republice obchodní zastoupení, servisní centrum nebo proškolenou síť partnerů. Výměna nebo oprava střídače je potom relativně rychlá.

Způsoby zapojení fotovoltaických panelů se střídači v systému grid on

a) modulový střídač

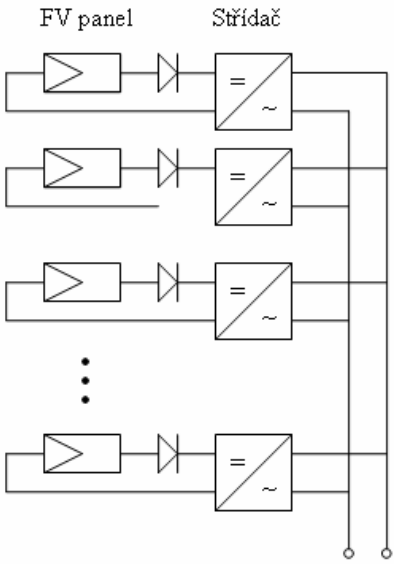
Modulový střídač je střídač malého výkonu do 300 W, který se instaluje přímo na FV panel. Každý panel má tedy svůj vlastní střídač. Výstupy z těchto střídačů jsou paralelně propojeny a připojeny k síti.

Výhody:

- snížení nákladů na stejnosměrné vedení, které má minimální délku,
- snadná rozšiřitelnost o další fotovoltaické panely, vysoké výkony,
- při částečném zastínění některého z fotovoltaických panelů nedochází k výraznému zvýšení ztrát celé FV elektrárny.

Nevýhody:

- příliš vysoká cena za takto použité střídače,
- nižší účinnost celého FV systému.



Obr. 4-10 Modulový střídač

b) centrální střídač

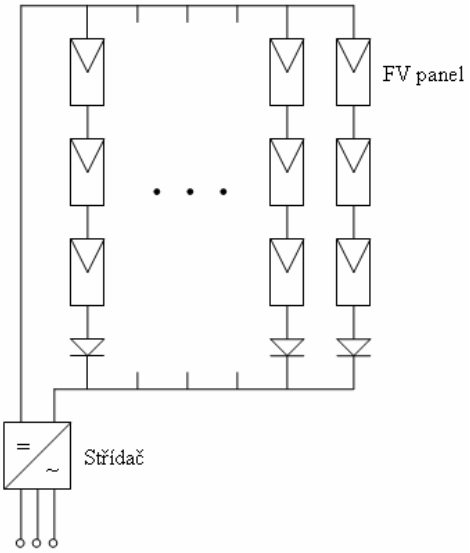
Centrální střídač převádí celý výkon všech FV panelů, které se sério-paralelně propojí a přivede do jednoho centrálního střídače o výkonu 10 až 250 kW.

Výhody:

- vyšší pracovní napětí, které je příznivé pro zmenšení ztrát ve vedení,
- vysoká účinnost střídače,
- nízká pořizovací cena střídače.

Nevýhody:

- nemožnost rozšířit o další FV panely, to vede ke zvýšení jmenovitého výkonu střídače, což znamená výměnu za výkonnější typ,
- při částečném zastínění některého z FV panelů má za následek výrazné zvýšení ztrát, zastíněný panel nevyrábí energii a stává se spotřebičem, což vede ke snížení účinnosti systému.



Obr. 4-11 Centrální střídač

c) řetězcový střídač

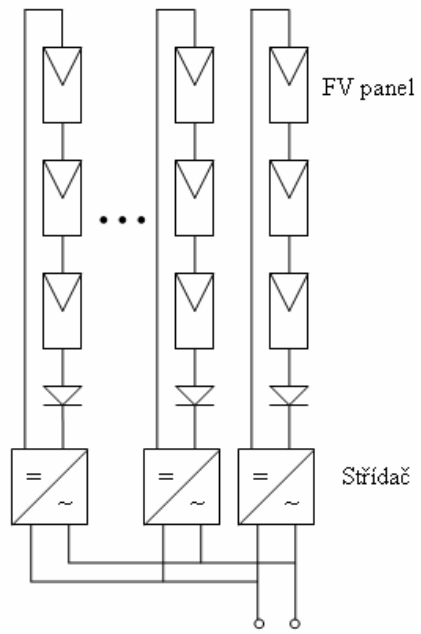
Řetězcový střídač využívá kombinaci předchozích dvou zapojení, kdy několik FV panelů, například celá řada je zapojena sériově a výkon tohoto vytvořeného řetězce, 1 až 10 kW, zpracovává jeden střídač. Těchto řetězců může být několik, střídače jsou pak mezi sebou propojeny paralelně.

Výhody:

- snadnější rozšíření než v případě použití jednoho centrálního střídače
- každý řetězec má MPP tracker, čímž je dosažena vysoká účinnost

Nevýhody:

- vyšší cena



Obr. 4-12 Řetězcový střídač

4.2.3 Nosná konstrukce

Nepostradatelnou součástí FV systému je nosná konstrukce, na kterou jsou připevněny FV panely. Nosná konstrukce musí odolávat různým klimatickým vlivům, protože může být vystavena značné zátěži, například větru o rychlosti 120 km/h. Proto se zhotovují z korozitivně odolných materiálů s dostatečnou pevností, přiměřenou hmotností a zpracovatelností. Nosná konstrukce může být z hlediska nastavení polohy rozdělena na:

a) statická - sklon FV panelů je po celou dobu provozu stejný a nelze jej měnit,

b) natáčecí - sklon FV panelů lze měnit v závislosti na ročním období, zpravidla lze sklon fotovoltaických panelů nastavit ručně do dvou poloh, pro zimní období větší sklon a letní období menší sklon,

c) sledovač slunce - tzv. trackery, umožňuje natáčení FV panelů ve vodorovné i svislé ose, tak aby sluneční záření dopadalo na FV panely kolmo. Ke správné funkci jsou nutná čidla optimální polohy a řídící mechanismus akčních členů, většinou elektromotorů.

Nosná konstrukce pro FV panely může být vyrobena:

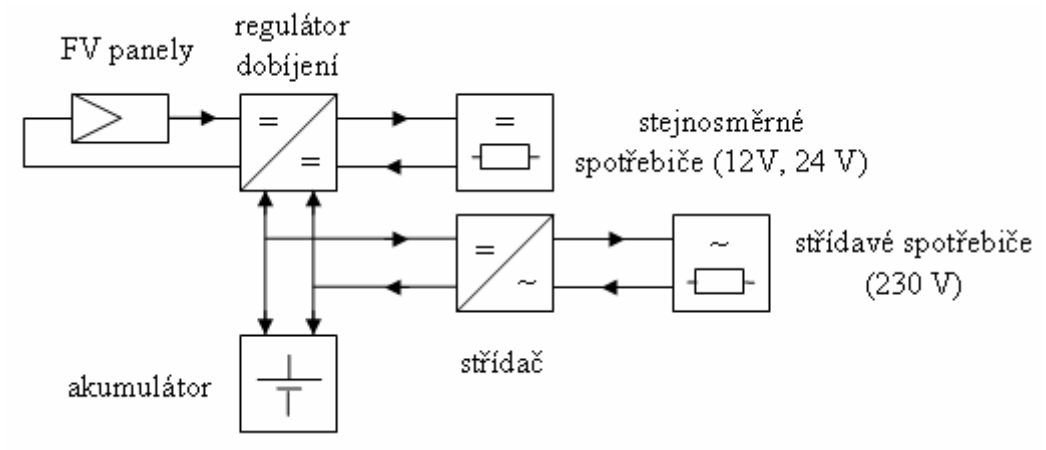
- pozinkovaná ocel, hliník - materiál, který odolává korozi, mechanicky pevný
- dřevo - musí být napuštěno a natřeno, aby odolávalo klimatickým podmínkám
  - mechanicky pevné, ale větších rozměrů než při použití pozinkované oceli nebo hliníku
  - výrazně levnější než pozinkovaná ocel a hliník

4.2.4 Transformátor

Transformátor je nutné použít především u větších FV elektráren (řádově stovky kW) připojovaných do sítě vn. Do sítě vn se připojují FV elektrárny cca od výkonu 50 kW, záleží na parametrech sítě v místě připojení. Ve většině případů je FV elektrárna připojována pomocí distribučních transformátorů do distribuční sítě 22 kV, v některých oblastech ČR (35 kV). Ve výjimečných případech, pokud se v dané oblasti nachází síť o jiném napětí, například průmyslová síť 6 kV nebo síť 10 kV, je možné připojit FV elektrárnu i do této sítě, pokud to parametry sítě dovolí. Výkon transformátoru by se měl co nejvíce blížit výkonu FV elektrárny.

Dalšími komponenty FV systému jsou elektrické propojovací kabely, které spojují FV panely se střídači. A střídače buď přímo se sítí nebo transformátorem. Odpojovače zátěže, které odpojují FV elektrárnu od sítě, ochrany, měřicí zařízení, řídící a informační systém, transformátor, atd.

4.3 FV systémy nezávislé na distribuční síti – ostrovní systémy



Obr. 4-13 Systém připojení grid-off

Ostrovní systém grid-off se používá pro zajištění elektrické energie tam, kde není rozvod elektrické energie z distribuční sítě. Zhotovení přípojky elektrické energie by bylo příliš nákladné. Elektrickou energii získanou z FV panelů lze přímo spotřebovat spotřebiči na stejnosměrné napětí a nespotřebovanou energii ukládat do akumulátorů přes regulátor dobíjení. Při nedodávce elektrické energie z FV panelů je energie dodávaná z akumulátorů, velikost závisí na kapacitě akumulátorů. Spotřebiče na střídavé napětí jsou připojeny přes střídač. V tomto systému napájení je nutné použít úsporné spotřebiče.

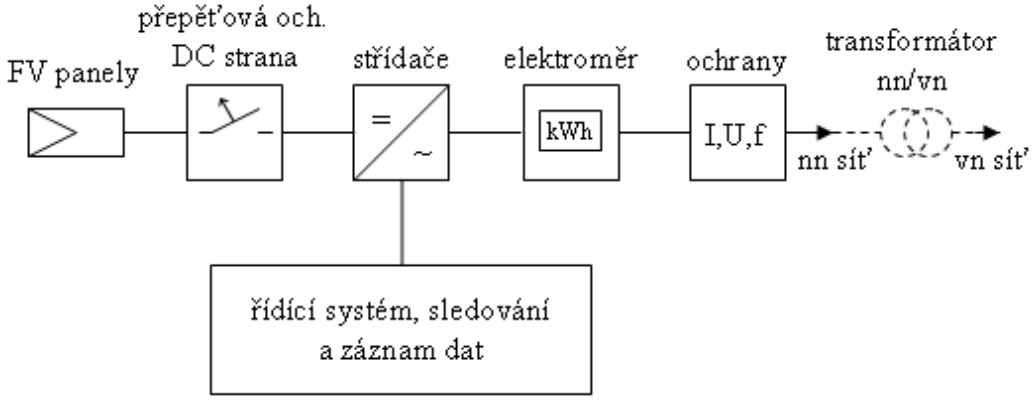
4.4 FV systémy přímo připojené k distribuční síti

4.4.1 FV elektrárny bez akumulace elektrické energie

Jedná se o většinu FV elektráren takto připojovaných do distribuční sítě nn tak i vn. Vyrobená elektrická energie FV elektrárnou je buď rovnou spotřebována, například u menších domovních FV elektráren, v domácnosti. V případě, že není veškerá elektrická energie spotřebována, jsou tyto přebytky dodávány do distribuční sítě nn.

V případě velkých FV elektráren (řádově stovky kW), které jsou připojovány do distribuční sítě vn, je vyrobená elektrická energie FV elektrárnou dodávána do sítě. Množství dodávané elektrické energie do sítě je menší než vyrobené, vlivem vlastní spotřeby FV elektrárny.

Nevýhodou tohoto FV systému bez akumulace energie připojeného do distribuční sítě je, že dodávané množství elektrické energie do sítě je velmi závislé na slunečních podmínkách. Z FV elektráren se pak stávají nečekané špičkové zdroje, v dnešní době již velkého výkonu. Na následujícím obrázku *(viz Obr. 4-14)* je schéma názorného připojení FV elektrárny bez akumulace do distribuční sítě nn nebo vn při použití distribučního transformátoru.



Obr. 4-14 Názorné připojení FV elektrárny do distribuční sítě bez akumulace

4.4.2 Fotovoltaické elektrárny s akumulací elektrické energie

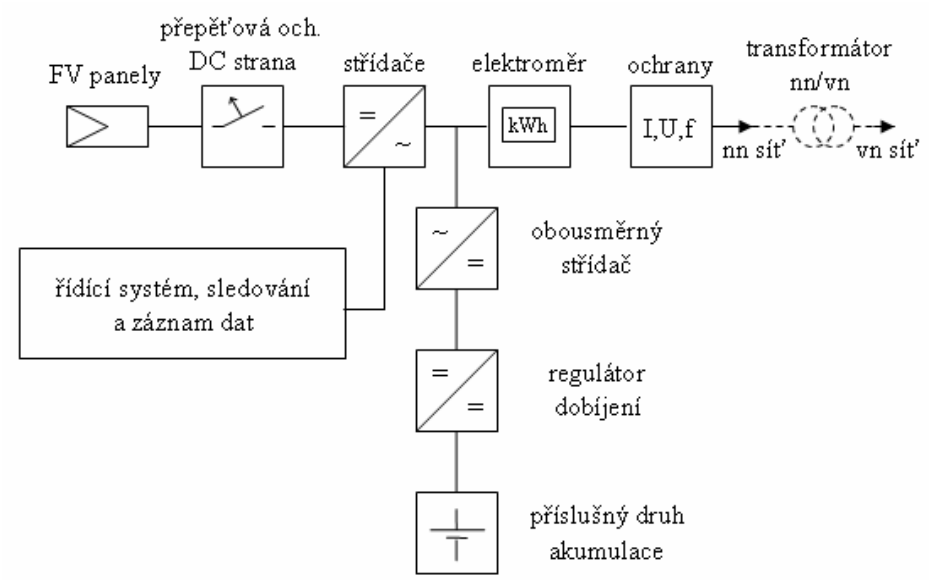
Zlepšení kontinuity dodávky vyrobené elektrické energie z FV elektráren do distribuční sítě by zlepšila akumulace elektrické energie. V současné době není v praxi zatím tato problematika akumulace u FV elektráren moc používána, ale své opodstatnění by určitě měla.

U FV elektráren, kde její výkon odpovídá připojení do sítě nn, by jako akumulátory elektrické energie mohly být použity solární akumulátory, které jsou svou technickou konstrukcí uzpůsobené pro dlouhodobé vybíjení, ale pouze do 80 % jejich kapacity. Jsou uzpůsobeny pro vyšší opakování cyklů nabíjení a vybíjení, než klasické startovací olověné akumulátory. Kapacita jednoho solárního akumulátoru se pohybuje do 50 Ah až 250 Ah. Jmenovité napětí 12 V nebo 24 V. Systém akumulace musí být vybaven regulátorem nabíjení a vybíjení. Další možností jak akumulovat elektrickou energii je pomocí palivových článků, kdy na jeho elektrody je přiváděn

stejnosměrný proud. Vlivem chemické reakce se potom ze záporné elektrody uvolňuje vodík a z kladné elektrody kyslík. Tyto plyny by bylo nutné jímat do zásobníků. Při obráceném chodu, kdy je vodík přiváděn k anodě a kyslík ke katodě, vyrábí palivový článek stejnosměrnou elektrickou energii. Kromě vyrobené elektrické energie produkuje palivový článek také teplo, které je nutné odvádět. Výkon nízkoteplotních palivových článků se pohybuje v rozmezí 0,5 až 100 kW.

U velkých FV elektráren, které dodávají vyrobenou elektrickou energii do sítě vn je akumulace elektrické energie problematická. Solární akumulátory elektrické energie by nemohly být použity. Potřebná energie, při velkém výkonu, kterou je nutné akumulovat a potom následně dodat zpět do sítě, by z důvodu své kapacity nepostačily. Východiskem by mohly být vanad redoxové baterie, kdy základem jsou dva velké zásobníky s elektrolytem, rozpuštěný vanad v kyselině sírové. Jeden zásobník s negativním elektrolytem a druhý s pozitivním elektrolytem. Dále je systém složen z několika membránových buněk protonové výměny, invertoru a řídícího systému. Elektrolyt je čerpán ze zásobníků do membránových buněk protonové výměny. Elektrochemickou reakcí získáme v membránových buňkách elektrickou energii. Přivedení elektrické energie do membránových buněk dochází k nabíjení elektrolytu. Nabitý elektrolyt potom čerpáme přes membránové buňky, když potřebujeme získat elektrickou energii, čímž dochází k vybíjení elektrolytu. Výkony vanad redoxových baterií jsou řádově stovky kW. Kapacita této baterie je závislá na velikosti obou zásobníků. Další možností akumulace elektrické energie bylo nabíjení a vybíjení superkapacitorů, které jsou schopny pojmout velké množství energie při velkém výkonu a vhodném sério-paralelním zapojení. Na následujícím obrázku *(viz Obr. 4-15)* je znázorněn možný způsob připojení FV elektrárny s akumulací do sítě.

Dalším východiskem zlepšení kontinuity dodávané elektrické energie z FV elektráren, by mohla být spolupráce s další elektrárnou. Tomuto řešení by vyhovovala akumulační vodní elektrárna v blízkosti FV elektrárny, z hlediska místa připojení do sítě. FV elektrárna a akumulační vodní elektrárna by se vzájemně doplňovali. Při dobrých slunečních podmínkách by do sítě dodávala elektrickou energii FV elektrárna, zatímco akumulační vodní elektrárna by byla v klidovém režimu. Při nedodávání elektrické energie z FV elektrárny by její úlohu převzala akumulační vodní elektrárna.



Obr. 4-15 Názorné připojení FV elektrárny s akumulací do distribuční sítě

4.4.3 Způsob prodeje elektrické energie

a) pevná výkupní cena

Jedná se o způsob prodeje vhodný spíše pro větší FV elektrárny především tam, kde je FV elektrárna postavena pouze za účelem dodávky elektrické energie do distribuční sítě. Ze zákona č. 180/2005 Sb. vyplývá povinnost pro PDS připojit FV elektrárnu do distribuční soustavy a veškerou vyrobenou elektřinu, na kterou se vztahuje podpora vykoupit. Výkup probíhá za cenu určenou pro daný rok Energetickým regulačním úřadem - ERÚ a tato cena bude vyplácena jako minimální, navyšuje se o cenový index průmyslové výroby nebo-li o průmyslovou inflaci, po dobu následujících dvacet let. Pevná výkupní cena pro rok 2010 pro FV elektrárnu o velikosti do 30 kW je 12,25 Kč/kWh, a o velikosti nad 30 kW je 12,15 Kč/kWh.

b) využití tzv. zeleného bonusu

Dalším typem připojení na distribuční soustavu je využití tzv. zeleného bonusu. Zeleným bonusem se rozumí finanční částka navyšující tržní cenu elektrické energie, která zohledňuje snížení poškozování životního prostředí využitím obnovitelného zdroje energie. Výrobce elektrické energie nemá v tomto režimu zelených bonusů 100 % jistotu na odbyt elektrické energie. Musí si sám hledat odběratele elektrické energie, může jim být obchodník s elektrickou energií nebo i konečný zákazník. Tržní cena, za kterou obchodník elektrickou energii odběrateli prodá je dána vzájemnou dohodou a není stanovena ERÚ. Tržní cena elektrické energie se v současné době pohybuje kolem 2 Kč/kWh. Výrobce tedy může přímo ovlivnit výši výnosů za vyrobenou elektrickou energii a dosáhnout tak vyššího zisku než v režimu výkupních cen. Zelený bonus je pevně stanoven ERÚ a hradí jej výrobci vždy PDS. Zelený bonus je pro rok 2010 pro FV elektrárnu o velikosti do 30 kW je 11,28 Kč/kWh, a o velikosti nad 30 kW je 11,18 Kč/kWh.

Režim zelených bonusů je povinný pro výrobce elektrické energie, kteří vyrábí elektrickou energii a současně z části spotřebovávají. Tento režim zelených bonusů lze využít u domovních FV systémů. Výhodou je úspora za zřízení nové přípojky. FV systém se připojí do stávajícího domovního rozvodu, samozřejmě za nutné úpravy. Režim zeleného bonusu je v tomto případě využíván v okamžiku, kdy FV elektrárna vyrábí elektrickou energii a současně je elektrická energie spotřebována v domácnosti. Spotřebovaná elektrická energie je zdarma. Výrobce získá finanční částku ve formě zelených bonusů od provozovatele distribuční soustavy podle velikosti FV elektrárny (viz výše) za každou vyrobenou kilowatthodinu. Problémem je, že u režimu zelených bonusů je těžko dosažitelné, aby vyrobená elektrická energie byla zároveň spotřebována. V tom případě vznikají výrobci elektrické energie z FV elektrárny přebytky elektrické energie. Záleží na PDS zda tyto přebytky od výrobce vykoupí. Na tyto přebytky elektrické energie musí být sepsaná s PDS další smlouva. V případě, že PDS přebytkovou silovou elektrickou energii od výrobce vykoupí, tak je to za rozdíl pevné výkupní ceny a zelených bonusů, což je přibližně 1 Kč/kWh.

4.4.4 Vliv FV systému na síť

Budeme-li uvažovat FV elektrárnu připojenou do distribuční sítě takového výkonu, který neovlivní a nepřekročí povolené elektrické parametry, tak jak je stanovuje provozovatel distribuční soustavy, není z tohoto hlediska u FV elektráren žádný větší problém. V případě České republiky, kdy vlivem dotační politiky došlo k velkému podporování výkupních cen z FV elektráren, a tedy i podporováním tohoto druhu obnovitelného zdroje energie. Došlo k velkému nárůstu instalací FV elektráren a povolených projektů, které se budou v nejbližší době realizovat. V současné době je k 1.5. 2010 ERÚ registrován výkon 512,21 MW z FV elektráren a dokonce roku se předpokládá, že se instalovaný výkon přiblíží k 1 GW. Fotovoltaické elektrárny, ale potřebují ke své funkci, aby mohli vyrábět elektrickou energii, sluneční záření. S touto nutnou podmínkou pro jejich funkci je spojena možnost dodávky a nedodávky elektrické energie do elektrizační sítě. Za slunečného dne pracují FV elektrárny poměrně na vysoký výkon, ale za zataženého počasí pracuje elektrárna na velmi malý nebo téměř nulový výkon, oproti slunečnímu dni. V noci nepracuje FV elektrárna vůbec. FV elektrárny nejsou schopny dodávat do distribuční sítě konstantní výkon. Nelze s nimi počítat ani jako se zdrojem špičkovým, jako jsou například akumulační vodní elektrárny nebo přečerpávací vodní elektrárny, protože v daném okamžiku, kdy by byl požadavek na dodávání elektrické energie z FV elektrárny, nemusí být v tuto dobu vhodné sluneční podmínky. Výkony FV elektráren se pohybují od desítek po stovky kilowatt až jednotky MW. FV elektrárny se připojují převážně do distribuční sítě. V současné době je v některých oblastech už tak velké množství připojených FV elektráren, že 13. 2. 2010 bylo zastaveno další povolování o připojení FV elektráren a větrných elektráren do distribuční sítě. Jedním důvodem je skutečnost, že distribuční sítě nebyly stavěny na tak velké přenášené výkony, nebylo uvažováno s připojováním výroben elektrické energie do těchto sítí a tak velkých výkonů. Byly určeny k distribuci elektrické energie k zákazníkům z nadřazené přenosové sítě vvn, do které jsou připojeny konvenční elektrárny velkých výkonů. Kapacita distribučních sítí je, proto v některých oblastech České republiky již vyčerpána. Druhým důvodem je skutečnost, že provozovatel naší přenosové sítě se oprávněně obává následků, které mohou FV elektrárny v elektrizační sítí způsobit. V distribuční sítí vlivem velké výroby elektrické energie není všechna elektrická energie, v těchto sítích spotřebována a dochází k přetokům elektrické energie přes distribuční transformátory 110/22 kV do distribuční soustavy 110 kV a následně přes transformátory 400/110 kV nebo 220/110 kV do přenosové soustavy. Protože je tedy elektrizační síť vzájemně propojená, výroba z FV elektráren připojených do distribuční soustavy ovlivňuje toky výkonů v přenosové soustavě. Po dokončení instalace a připojení všech povolených FV elektráren bude zejména v letních slunečných dnech problém s regulováním přenášeného výkonu v přenosové soustavě. Provozovatel přenosových sítí bude v nejkrajnějším případě nucen některé velké FV elektrárny odpojit, aby udržel stabilitu elektrizační soustavy. V přenosových vedeních vvn může a bude docházet k velkým odchylkám v okamžité výrobě a spotřebě elektrické energie. Tyto odchylky jsou potom složitě regulovány provozovatelem přenosové soustavy. Aby nemusel provozovatel přenosových sítí, odpojovat FV elektrárny může ještě snížit vyráběný výkon v přenosové soustavě o regulační výkon, který poskytují konvenční zdroje elektrické energie. Může ovšem nastat případ, kdy už ani o tento výkon nebude moci být v přenosové soustavě snížen. K udržení stability naší elektrizační sítě se odhaduje maximálně možný připojitelný výkon, ve FV elektrárnách, na 2 GW. Překročením této hodnoty by mohlo dojít k nestabilitě naší elektrizační soustavy a následnému rozpadu.

5 PROJEKČNÍ NÁVRH FV SYSTÉMU S VÝKONEM NAD 500 KW

FV elektrárna s nominálním výkonem 516,24 kWp bude navržena pro instalaci v Jižních Čechách, jižně od města Třebíč. Přesné umístění je znázorněno na mapě *(viz Obr. 5-1),* mezi vesnicemi Mikulovice a Kojetice. Výkon z FV elektrárny bude vyveden do distribuční soustavy 22 kV, která se nachází v její blízkosti. Nejbližší rozvodnou, do které tato síť pokračuje je rozvodna 110/22 kV Říkov. Vzdálenost FV elektrárny, po distribučním vedení 22 kV, do rozvodny Řípov je 10,26 km.

Obr. 5-1 Umístění FV elektrárny

5.1 Návrh FV elektrárny

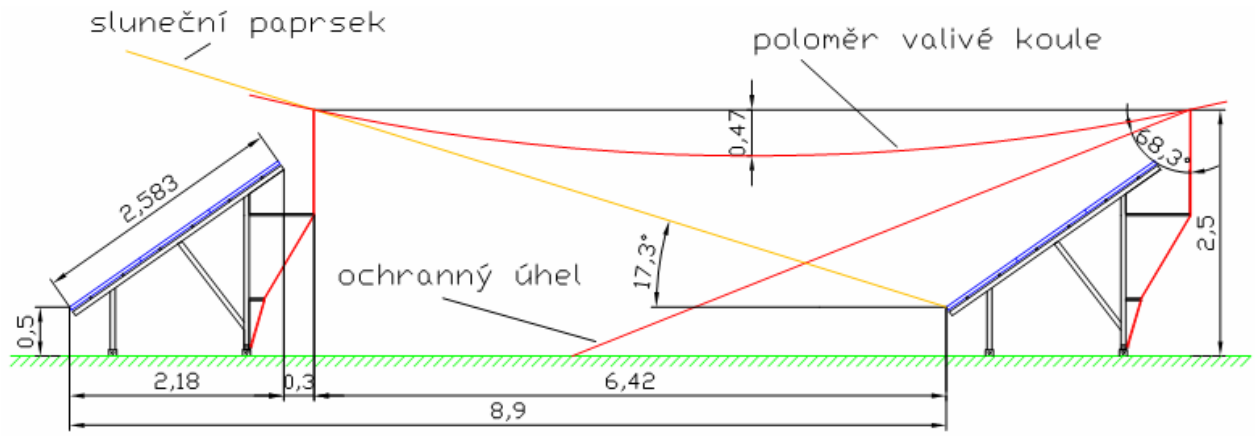
FV elektrárna s výkonem 516,24 kWp bude instalována na ploše 11564 m^2. Na této ploše bude celkem instalováno 2151 FV panelů SANYO HIT-240HDE4 o výkonu 240 Wp, katalogový list *(viz Příloha CH)*. Tyto navržené FV panely jsou vyrobeny z monokrystalického křemíku, který je obklopen ultratenkými vrstvami amorfního křemíku. S touto použitou technologii je u tohoto panelu dosaženo vyššího využití difuzního záření, ale také vyšší účinnosti při vysokých teplotách. Zastavěná plocha FV panely je 2448 m^2. Je uvažováno, že zvolený pozemek nemá žádný sklon, je ve tvaru čtverce a orientován k jihu. Pozemek, na který je FV elektrárna navržena se nachází na zeměpisných souřadnicích 49° 9´ zeměpisné šířky a 15° 50´ zeměpisné délky. Pro tuto zeměpisnou šířku odpovídá podle programu *(viz [22])* optimální celoroční sklon FV panelů

35° vůči zemskému povrchu. Pod tímto úhlem budou FV panely namontovány na nosné konstrukci z pozinkované oceli. Samotná nosná konstrukce bude provedena zavrtanými zemními vruty, na kterých bude nainstalována nosná konstrukce pro tři FV panely umístěné nad sebou. FV panely budou na nosné konstrukci umístěny horizontálně. Pomocí programu *(viz [19])* byly vypočítány rozestupy mezi řadami FV panelů, tak aby nedocházelo ke stínění zadních řad FV panelů předními řadami FV panelů. Při volbě rozestupů mezi řadami FV panelů bylo uvažováno možné stínění od jímačů, které slouží jako ochrana proti blesku.

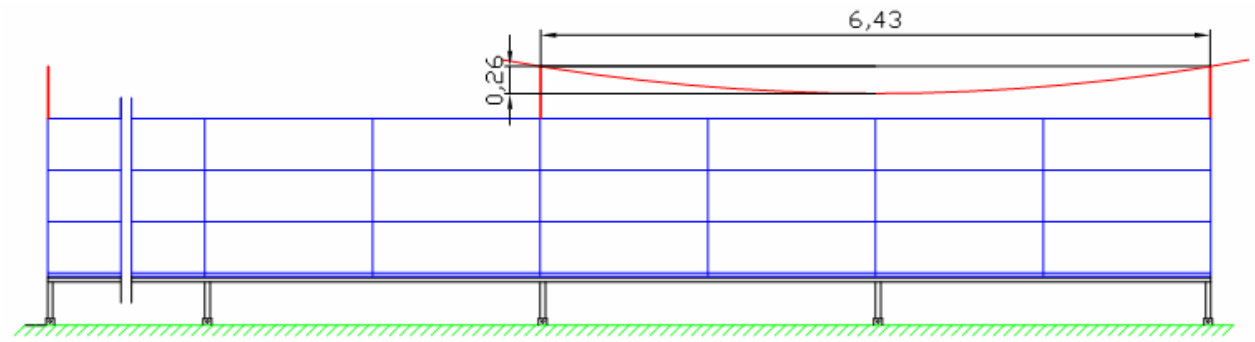
5.1.1 Návrh ochrany proti blesku

FV panely jsou jednou z nejdražších položek FV elektrárny a je nutné je chránit proti úderu bleskového výboje. FV panelu budou chráněny proti blesku oddálenými jímači. Výška oddálených jímačů musí být taková, aby ochranný úhel pokryl vždy celý FV panel. V návrhu je uvažováno s výškou jímače 2,5 m, kde o 0,5 m převyšuje horní stranu FV panelu. Pomocí výpočetního softwaru *(viz [20])* byl vypočítán ochranný úhel 68,3°. Ochranný úhel jímače ochrání celou soustavu FV panelů před sebou. Třída LPS představuje poloměr valivé koule, při výpočtu bylo uvažováno s nejmenším poloměrem valivé koule 20 m. Na obrázku *(viz Obr. 5-2)* je znázorněno rozmístění FV panelů, umístění jímačů a jimi vytvořený ochranný úhel, rozestupy mezi řadami FV panelů. Aby bylo dosaženo plné ochrany všech FV panelů, musí být jímače ochrany proti blesku instalovány i v řadách FV panelů s určitými rozestupy. Pro určení těchto rozestupů byl použit software *(viz [21])*, kde rozestup mezi jímači 6,43 m zajistí, že valivá koule o poloměru 20 m se nebude dotýkat FV panelů. Přehledné znázornění situace je na obrázku *(viz Obr. 5-3)*.

Jímací soustava ochrany proti úderu blesku je svedena do mřížové zemnící soustavy, tvořenou zemnícími pozinkovanými pásky. Tyto zemnící pozinkované pásky budou uloženy v nezámrzné hloubce. Rozmístění pozinkovaných pásků tvoří mřížovou zemnící soustavu, která je znázorněna na obrázku *(viz Příloha L)*.



Obr. 5-2 Rozmístění řad FV panelů a jímačů



Obr. 5-3 Rozmístění jímačů podél řady FV panelů

5.1.2 Návrh střídačů pro navržený FV systém

Při návrhu střídačů, pro tuto FV elektrárnu, budou použity střídače firmy Fronius. Podle softwaru Fronius Solar.configurator *(viz [22])* budou pro tuto navrženou FV elektrárnu použity střídače Fronius IG 500. V následující tabulce *(viz Tab. 5-1)* jsou znázorněny vstupní a výstupní parametry střídačů ve dvou odlišných zapojeních.

Tab. 5-1 Výstupní parametry použitých střídačů Fronius IG 500

Typ střídače	Fronius IG 500	Fronius IG 500
Výkonový poměr	96 %	101 %
Počet střídačů	1	11
Počet modulů/větví	9	9
Počet větví	19	20
Počet FV modulů	171	180
Výkon FV	41097 W	43260 W
Maximální proud FV	140,03 A	147,4 A
Napětí MPP při 70 °C	300 V	300 V
Napětí MPP při 25 °C	320 V	320 V
Napětí naprázdno při -10 °C	407 V	407 V

Tyto střídače budou ve FV systému zapojeny tak, že vždy jedna větev - řetězec bude obsahovat 9 FV panelů. V každé dílčí řadě je 10 takových to řetězců, pouze v jedné zkrácené dílčí řadě je 9 těchto řetězců. Střídač Fronius IG 500 je navržen vždy pro dvě dílčí řady, je na něj připojeno 180 a v jednom případě 171 FV panelů. Stejnosměrné vedení bude mít průřez 4 mm^2. Z každého řetězce FV panelů prochází před vstupem do střídače zařízením Fronius Control String, které umožňuje kontrolu a dohled nad funkčností FV panelů. Propojení tohoto zařízení se střídačem je provedeno stejnosměrným vedením o průřezu 70 mm^2. Katalogové údaje střídače Fronius IG 500 a zařízení Fronius Control String je uvedeny v příloze *(viz Příloha I)*. Pro každou dílčí řadu je použito jednoho kontrolní zařízení Fronius Control String. Napájecí stejnosměrné napětí 12 V bude vytvořeno transformací a usměrněním výstupního napětí ze střídače. Rozmístění střídačů Fronius IG 500 a kontrolního zařízení Fronius Control String ve FV systému je schematicky znázorněno na obrázku *(viz Příloha M)*. Střídače a FV panely jsou tedy navrženy

ve vzájemné závislosti tak, aby jejich rozmístění bylo v určitých pracovních blocích. Do střídače 1 pracují FV řady panelů 1 a 2, do střídače 2 pracují FV řady panelů 3 a 4, až do střídače 12 pracují FV řady panelů 23 a 24. Třífázové výstupy jednotlivých střídačů jsou vedeny nejkratší cestou k transformátoru, kde jsou na přívodní svorky nn rozvaděče připojeny paralelně a správně zfázovány. Střídavé vedení s měděným jádrem, které bude použito k propojení střídačů s transformátorovou stanicí budou mít průřez 25 mm^2 pro střídač 1 a 35 mm^2 pro střídač 2 až 12.

5.1.3 Ztráty ve FV systému

Ve FV systému vnikají ztráty přenosem vyrobené elektrické energie FV panely až po předávací místo v distribuční soustavě. Ztráty tedy představují výkonové ztráty ve všech typech vedeních. Ve stejnosměrném vedení použitého k propojení FV panelů a střídačů a střídavém vedení použitého k propojení střídačů s transformátorem. V následující tabulce *(viz Tab. 5-2)* jsou uvedeny přibližné délky jednotlivých vedení, jejich průřezy, dílčí ztráty a celkové ztráty ve FV systému. K výpočtu ztrát vedením byl použit software Fronius Solar.configurator *(viz [22])*.

Tab. 5-2 Použité vedení ve FV systému a jejich ztráty

Typ vedení		Délka vedení	Průřez	Dílčí ztráty
Stejnosměrné vedení 1 a 2 řada	**FV panely-Control String**	1083 m	4 mm^2	0,58 %
	Control String - střídač	32 m	70 mm^2	0,09 %
Stejnosměrné vedení 3 až 24 řada	**FV panely-Control String**	12980 m	4 mm^2	6,55 %
	Control String - střídač	220 m	70 mm^2	0,63 %
Střídavé vedení 1 a 2 řada	**Střídač - transformátor**	10 m	25 mm^2	0,15 %
Střídavé vedení 3 až 24 řada	**Střídač - transformátor**	530 m	35 mm^2	5,88 %
Celkové ztráty způsobené přenosem elektrické energie				**13,88 %**

Velikost vypočítaných ztrát, které jsou způsobeny přenosem vyrobené elektrické energie, je 13,88 %. Vlivem těchto ztrát může být nominální instalovaný výkon 516,24 kWp ve FV panelech, o tyto ztráty snížen. Výsledný dodávaný výkon PDS bude závislý na aktuálních slunečných podmínkách a bude řešen ze strany výrobce.

5.1.4 Transformátor a transformátorová stanice

K vyvedení vyrobené elektrické energie do distribuční sítě 22 kV je použit distribuční transformátor o jmenovitém výkonu 630 kVA. Olejový hermetizovaný transformátor s měděným

vinutím ve vlnové nádobě bude umístěn v kioskové transformátorové stanici s označením PET® STANDARD 450 firmy EEIKA Brno, s r.o. Instalovaný transformátor s jmenovitým výkonem 630 kVA bude použit od firmy BEZ transformátory, a.s. Parametry toho transformátoru jsou uvedeny v následující tabulce *(viz Tab. 5-3)*. Názorné zobrazení stavební části a elektrické osazení transformátorové stanice PET® STANDARD 450, včetně rozměrů je uvedeno v příloze *(viz Příloha J)*.

Tab. 5-3 Parametry použitého transformátoru [12]

Jmenovitý výkon	630 kVA	**Akustický tlak L_{pA}**		43 dB(A)
Typ	378/22	**Akustický výkon L_{WA}**		57 dB
Vyšší jmenovité napětí	22000 kV	**Rozměry**	délka	1450 mm
Nižší jmenovité napětí	400/230 V		šířka	840 mm
Skupina spojení	Dyn1		výška	1640 mm
Ztráty naprázdno P_0	860 W	**Hmotnost**	olej	365 kg
Ztráty nakrátko P_k	6500 W		celková	1825 kg
Napětí nakrátko u_{k75}	4 %			

5.1.5 Připojení transformátoru k distribuční soustavě

Transformátor použitý ke transformaci vyrobené elektrické energie je připojen k distribuční soustavě vysokonapěťovým kabelem s hliníkovým jádrem o délce 40 m. Z distribučního venkovního vedení je z nejbližšího sloupu, vzhledem k transformátoru, vyvedena kabelová odbočka k transformátoru. Kabel je k transformátoru veden zemí. Vypočtený proud na vn straně transformátoru je

$$I_{vn} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{516{,}24}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0{,}95} = \underline{\underline{14{,}26\ A}} \tag{1}$$

Jmenovitý krátkodobý proud I_{ke} instalované transformátorové stanice bude uvažován 16 kA. Na tento jmenovitý krátkodobý proud, který by případně trval maximálně 1 s, je dimenzován průřez kabelového vedení. Minimální průřez je potom dle kontroly dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu

$$S_{\min} = \frac{k_e \cdot I_k'' \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\upsilon_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln\frac{\upsilon_f + \upsilon_k}{\upsilon_f + \upsilon_1}}} = \frac{1{,}01 \cdot 16 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2{,}417 \cdot (228 + 20)}{0{,}02941} \cdot \ln\frac{228 + 250}{228 + 90}}} = \underline{\underline{177{,}3\ mm^2}} \tag{2}$$

Pro přípojku k FV elektrárny k distribuční síti je zvolen typ vn kabelu 22-AXEKVCEY. Nejbližší vyšší průřez vypočtenému kabelu AXEKVCEY odpovídá 185 mm^2. Použitý kabel má označení 22-AXEKVCEY 185. [13]

5.1.6 Elektrické ochrany, spínací zařízení, obchodní měření

Pro chránění FV elektrárny bude použita nadproudová ochrana. Dále podpěťová a přepěťová ochrana, podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana, kde jejich primární nastavení bude na hodnoty uvedé v tabulce *(viz Tab. G-1 Příloha G)*. Případné jiné nastavení ochran bude změněno při zkušebním připojení do distribuční sítě provozovatelem distribuční soustavy.

Spínací zařízení bude provedeno na straně nn i vn v příslušných rozvaděčích, výkonovým vypínačem se schopností vypnout jak jmenovitý tak i zkratový proud.

Obchodní měření bude realizováno na straně vn pomocí měřících transformátorů proudu a napětí, kde jejich výstupy budou připojeny do čtyřkvadrantového elektroměru. Rozvaděč, kde bude umístěno obchodní měření musí být volně přístupný provozovateli distribuční soustavy.

5.2 Studie připojitelnosti FV elektrárny o výkonu 516,24 kW

Pro výpočet studie připojitelnosti FV elektrárny o výkonu 516,24 kW do distribuční sítě 22 kV byl použit výpočetní software E-vlivy 2.0.8 *(viz [23])*. Pomocí tohoto softwaru byla namodelována síť s parametry rozvodny Řípov 110/22 kV, s parametry vedení VN 138 a VN 184 až do místa připojení FV elektrárny, a dále s parametry připojované FV elektrárny přes distribuční transformátor 22/0,4 kV.

5.2.1 Úvod

Uvedený fotovoltaický elektrický zdroj bude posuzován pro navržené místo připojení, vedení 22 kV VN 184 a VN 138. Uvedené místo distribuční soustavy je napájeno z rozvodny 110/22 kV Řípov. Vyvedení výkonu FV elektrárny je uvažováno přes střídače Fronius IG 500. Na vedení VN 138 ani na vedení VN 184 není evidován žádný související zdroj. Ostatní související zdroje do rozvodny Řípov jsou připojeny z jiných vedeních VN. Podle stávajících podmínek připojitelnosti, nemají prakticky žádný vliv na podmínky připojení na vedení VN 138 a VN 184, a proto není nutné tyto zdroje uvažovat. Studie připojitelnosti řeší, zda je možné z hlediska vlivů na distribuční síť připojit požadovaný výkon, aniž by byly překročeny meze povoleného ovlivnění napětí v místě připojení a v jiných místech distribuční soustavy. Dále aby nebyly překročeny hodnoty zatížitelnosti, šíření flikru, zkreslení HDO a emise harmonických proudů.

5.2.2 Parametry zdroje

Typ výrobny: sluneční

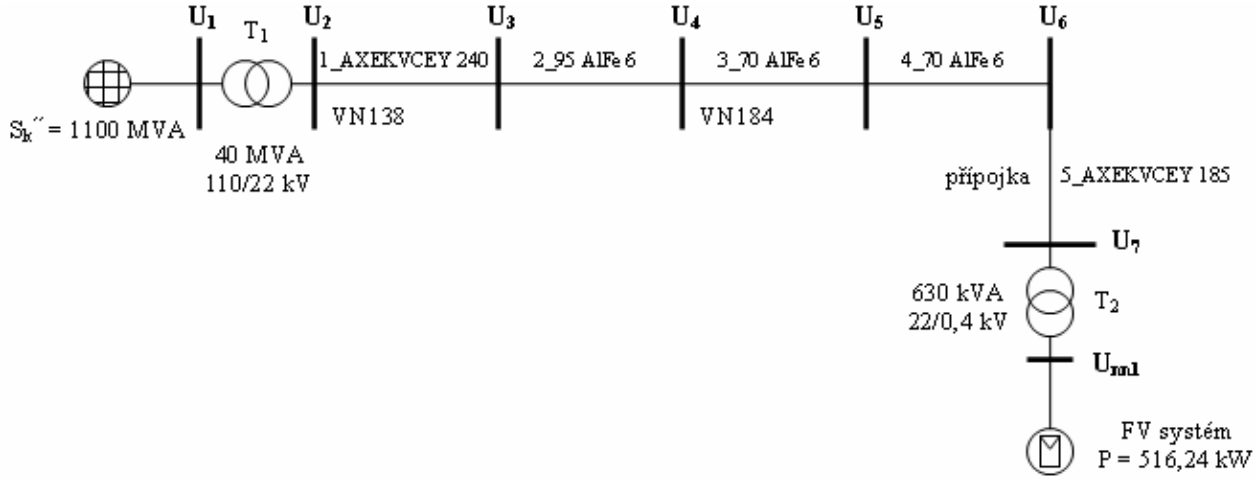
Umístění zdroje: katastrální území Mikulovice

Výkon zdroje: 516,24 kWp

Požadovaná hladina zapojení výrobny do distribuční soustavy: vn

Popis výrobny elektřiny: fotočlánkový se střídači

5.2.3 Schéma zapojení FV elektrárny k distribuční síti



Obr. 5-4 Schéma zapojení FV elektrárny k distribuční síti

5.2.4 Parametry prvků sítě

Napájecí uzel 110/22 kV Řípov

Tab. 5-4 Parametry napájecího uzlu [17]

Název rozvodny	U_n [kV]	I_{zkr} [kA]	S_{zkr} [MVA]
Řípov	110	5,774	1100

Transformátor T1 110/22 kV Řípov

Tab. 5-5 Parametry transformátoru T1 [17]

Transformátor	U_1 [kV]	U_2 [kV]	S_t [MVA]	P_t [kW]	u_k [%]	Skupina spojení
T1	110	23	40	238	11	Ynd1

Parametry vedení 22 kV z rozvodny 110/22 kV Řípov do místa připojení FV elektrárny

Tab. 5-6 Parametry vedení 22 kV do místa připojení FV elektrárny [17]

Úsek	Číslo vedení	Typ vedení	R [Ω/km]	X [Ω/km]	B [S/km]	Délka [m]	I_{max} [A]
1_VN138	VN138	AXEKVCEY 240	0,125	0,157	94	70	455
2_VN138	VN138	95 AlFe 6	0,301	0,374	1,448	6310,98	289
3_VN184	VN184	70 AlFe 6	0,434	0,391	1,427	3538	225
4_VN184	VN184	70 AlFe 6	0,434	0,391	1,427	344,75	225
přípojka	přípojka	AXEKVCEY 185	0,164	0,185	87,97	40	396

Parametry transformátoru T2 navrhované FV elektrárny

Tab. 5-7 Parametry transformátoru T2

Transformátor	U_1 [kV]	U_2 [kV]	S_t [kVA]	P_t [W]	u_k [%]	Skupina spojení
T2	22	0,4	630	6500	4	Dyn1

Parametry střídačů Fronius IG 500

Tab. 5-8 Parametry střídače Fronius IG 500

Střídač	$P_{jmen\ AC}$ [kW]	$U_{jmen\ AC}$ [V]	f [Hz]	cosφ [-]	Činitel zkreslení [%]
Fronius IG 500	40	400	50	1	< 5

5.2.5 Výpočet chodu sítě před připojením FV elektrárny

V následující tabulce *(viz Tab. 5-9)* jsou uvedeny vypočítané proudy a výkony v jednotlivých uzlech sítě před připojením FV elektrárny.

Tab. 5-9 Výpočet proudů a výkonů v uzlech sítě před připojením FV elektrárny

	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ω]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Řípov	U_1	0,069	-90,001	12,222	90,000	0,000	13,057	13,057
T1	U_1	0,069	-90,000	1,273	86,899	0,000	13,112	13,112
	U_2	0,329	-90,000	1,273	86,899	0,000	-13,112	13,112
1_AXEKVCEY 240	U_2	0,367	-86,227	0,016	57,108	0,963	14,597	14,629
	U_3	0,280	-85,051	0,016	57,108	-0,963	-11,116	11,158
2_95 AlFe 6	U_3	0,242	-90,021	3,029	51,161	-0,003	9,623	9,623
	U_4	0,120	-90,040	3,029	51,161	0,003	-4,788	4,788
3_70 AlFe 6	U_4	0,120	-90,146	2,063	41,911	-0,012	4,781	4,781
	U_5	0,053	-90,327	2,063	41,911	0,012	-2,111	2,111
4_70 AlFe 6	U_5	0,057	-85,916	0,201	41,911	0,162	2,267	2,273
	U_6	0,051	-85,389	0,201	41,911	-0,162	-2,007	2,014
přípojka	U_6	0,036	-109,026	0,010	48,498	-0,462	1,340	1,417
	U_7	0,017	131,493	0,010	48,498	0,462	0,522	0,697

V následující tabulce *(viz Tab.5-10)* jsou uvedeny vypočítané napěťové poměry a zkratové výkony ve všech posuzovaných uzlech sítě před připojením FV elektrárny.

Tab. 5-10 Výpočet napětí a zkratového výkonu v uzlech sítě před připojením FV elektrárny

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	Z_k [Ω]	Úhel [°]	S_k'' [MVA]
U_1	110,001	0,000	13,445	90,000	989,986
U_2	23,001	0,000	1,918	87,849	277,542
U_3	23,001	0,000	1,932	87,599	275,502
U_4	23,002	-0,002	4,725	65,218	112,666
U_5	23,002	-0,002	6,671	58,187	79,812
U_6	23,002	-0,002	6,864	57,717	77,565
U_7	23,002	-0,002	6,874	57,704	77,455

5.2.6 Výpočet chodu sítě po připojení FV elektrárny 516,24 kW

V následující tabulce *(viz Tab. 5-11)* jsou uvedeny vypočítané proudy a výkony v jednotlivých větvích sítě po připojení FV elektrárny. Použité střídače Fronius IG 500 nemají možnost regulace *cos φ*, a proto k dosažení neutrálního účiníku bude nutná kompenzace odebíraného jalového výkonu. Vzhledem k výkonu transformátoru 630 kVA bude zvolena kompenzace jalového výkonu kapacitním výkonem o velikosti 16 kVAr. Velikost kompenzačního výkonu 16 kVAr je hodnota používaná v praxi, kdy k transformátoru o výkonu 1 MVA odpovídá kompenzační výkon 20 kVAr.

Tab. 5-11 Výpočet proudů a výkonů v uzlech sítě po připojení FV elektrárny

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ω]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Řípov	U_1	2,678	0,619	12,222	90,000	510,212	-5,253	510,239
T1	U_1	2,678	0,619	1,273	86,899	510,211	-5,252	510,238
	U_2	12,808	0,619	1,273	86,899	-510,247	4,598	510,267
1_AXEKVCEY 240	U_2	12,817	0,557	0,016	57,108	510,595	-4,048	510,611
	U_3	12,818	0,948	0,016	57,108	-510,599	7,522	510,655
2_95 AlFe 6	U_3	12,809	1,009	3,029	51,161	510,251	-8,059	510,314
	U_4	12,812	1,552	3,029	51,161	-511,186	11,742	511,321
3_70 AlFe 6	U_4	12,812	1,551	2,063	41,911	511,193	-11,735	511,327
	U_5	12,813	1,852	2,063	41,911	-511,949	13,740	512,133
4_70 AlFe 6	U_5	12,811	1,863	0,201	41,911	511,839	-13,839	512,026
	U_6	12,811	1,892	0,201	41,911	-511,913	14,035	512,105
Přípojka	U_7	12,847	1,695	0,010	48,498	513,419	-12,310	513,566
	U_8	12,849	1,904	0,010	48,498	-513,422	14,180	513,618
T2	U_8	12,815	2,111	0,011	75,052	512,020	-15,988	512,270
	U_{nn1}	736,860	2,111	0,011	75,052	-516,24	0,000	516,24
FVE	U_{nn1}	736,860	-177,889	0,317	-180,000	-516,24	0,000	516,24

V následující tabulce *(viz Tab. 5-12)* jsou uvedeny vypočítané napěťové poměry a zkratové výkony ve všech posuzovaných uzlech sítě po připojení FV elektrárny.

Tab. 5-12 Výpočet napětí a zkratového výkonu v uzlech sítě po připojení FV elektrárny

Uzel	U [kV]	úhel [°]	Z_k [Ω]	úhel [°]	S_k'' [MVA]
U_1	109,999	0,030	13,445	90,000	989,986
U_2	23,001	0,103	1,918	87,849	277,542
U_3	23,001	0,104	1,932	87,599	275,502
U_4	23,043	0,236	4,725	65,218	112,666
U_5	23,076	0,314	6,671	58,187	79,812
U_6	23,079	0,322	6,864	57,717	77,565
U_7	23,079	0,322	6,874	57,704	77,455
U_{nn1}	0,405	2,111	0,012	72,130	14,475

V následující tabulce *(viz Tab. 5-13)* jsou uvedeny změny napětí v jednotlivých uzlech sítě po připojení FV elektrárny.

Tab. 5-13 Změna napětí po připojení FV elektrárny

Uzel	ΔU před přip. FVE [%]	ΔU po přip. FVE [%]	Rozdíl ΔU [%]	Poznámka
U_1	-0,001	0,000	0,001	
U_2	-4,550	-4,551	0,001	
U_3	-4,550	-4,552	0,002	
U_4	-4,554	-4,735	0,181	
U_5	-4,555	-4,883	0,328	
U_6	-4,555	-4,898	0,343	FVE
U_7	-4,555	-4,898	0,343	
U_{nn1}	-1,009	-1,108	0,099	

5.2.7 Zpětný vliv – flikr

Pro posouzení výroben v předávajícím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě mezní hodnotu $P_{lt} < 0,46$. Vzhledem k charakteru zdroje se nepředpokládá výraznější příspěvek k úrovni flikru. Použité střídače Fronius IG 500 splňují, z hlediska flikru, normu ČSN EN 61000-3-11.

5.2.8 Útlum signálu HDO

Zařízení HDO jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % U_n. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5 % jmenovitého proudu. Zdroje připojené statickými střídači bez filtrů nezpůsobují snížení hladiny signálu HDO. Snížení signálu HDO ve všech jednotlivých uzlech jsou uvedeny v následující tabulce *(viz Tab. 5-14)*. Frekvence signálu HDO je v uvažované síti, do které je FV elektrárna připojena je 216,7 Hz.

Tab. 5-14 Útlum signálu HDO

Uzel	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7
ΔU [%]	0,000	0,071	0,071	0,034	- 0,033	- 0,040	- 0,040

5.2.9 Příspěvek ke zkratovému proudu od FV elektrárny

FV elektrárna obecně nezpůsobuje příspěvek zkratového proudu v místě připojení do distribuční soustavy. Je to dáno tím, že většina střídačů je s řízením proudu, které se používají pro FV elektrárny, má funkci omezení výstupního proudu při poruše v napájecím systému. A proto je zkratový proud pouze o 10 až 20 % vyšší než jmenovitý maximální výstupní proud z FV elektrárny. Pomocí programu E-vlivy byl vypočítán 3 fázový zkratový proud 2069 kA v místě připojení. Je-li jmenovitý výstupní proud na straně vn 12,815 A, potom je nárůst zkratového proudu při 10 % zvýšení 14,1 A. V místě připojení FV elektrárny se 3 fázový zkratový proud zvýší na hodnotu 2083 A. Toto zvýšení zkratového proudu musí být respektováno nastavením proudových ochran ve FV elektrárně.

5.2.10 Zpětné proudy harmonické

Přípustné harmonické proudy $I_{vpř}$ jsou vypočteny ze vztažných jednotlivých harmonických proudů pro síť 22 kV $i_{vpř,\ 22\ kV}$ z tabulky *(viz Tab. K-1 Příloha K)*, které jsou násobeny zkratovým výkonem v místě připojení FV elektrárny do distribuční soustavy, uzel U_6, $S_k'' = 77{,}565$ MVA.

Pro posouzení zpětného vlivu na distribuční soustavu z hlediska harmonických proudů I_h bylo vycházeno z technických parametrů střídačů Fronius IG 500 *(viz [15])*.

Z tabulky *(viz Tab. K-1 Příloha K)* vyplývá, že žádný proud harmonické nepřekročí povolenou hodnotu.

6 ZHODNOCENÍ VLIVU VÝROBNY NA SÍŤ, EKONOMIKA PROVOZU

6.1 Zhodnocení vlivu výrobny na síť

Navržená FV elektrárna o nominálním výkonu 516,24 kWp a instalovaná v Jižních Čechách, mezi obcemi Mikulovice a Kojetice, jejichž výkon je vyveden do distribuční soustavy 22 kV je v souladu s připojovacími podmínkami, tak jak je stanovuje provozovatel distribuční soustavy v pravidlech provozování distribuční soustavy (viz [6]). Způsobené zpětné vlivy nepřekračují povolené hodnoty.

Napěťová změna při připojení/odpojení FV elektrárny

V případě připojování FV elektrárny do distribuční sítě vn prakticky nedochází ke kolísání napětí, protože vlastní připojování FV elektrárny se děje postupným připojováním střídačů Fronius IG 500.

Vyvolaná maximální změna napětí v místě připojení FV elektrárny, Δu_{vn} = 0,343 %, by mohla vzniknout při celkovém odpojení FV elektrárny. K takovéto změně napětí by mohlo dojít při vypnutí vedení a to i krátkodobému, např. funkce opětného zapínání.

Pro dodržení neutrálního účiníku v předávacím místě do distribuční soustavy bude nutná kompenzace odebíraného jalového výkonu o velikosti 16 kVAr.

Zpětný vliv flikr

U FV elektrárny připojeného do distribuční soustavy přes střídače Fronius IG 500 se nepředpokládá výraznější příspěvek k úrovni flikru, protože tyto střídače splňují normu ČSN EN 61000-3-11.

Útlum signálu HDO

FV zdroje připojené statickými střídači bez filtrů nezpůsobují snížení hladiny signálu HDO. Při uvádění FV elektrárny do provozu bude v rámci zkušebního provozu provedeno měření, kterým budou zkontrolovány všechny potřebné hodnoty zpětných vlivů, a bude provedena kontrola správnosti nastavení ochran .

Zpětný vliv emise harmonických proudů

Všechny hodnoty emise harmonických proudů emitované navrženou FV elektrárnou jsou pod povolenými hodnotami. Před uvedením do trvalého provozu bude provozovatelem distribuční soustavy provedeno měření kvality emise harmonických proudů.

Příspěvek ke zkratovým poměrům

Příspěvek ke zkratovému proudu odpovídá nárůstu 0,68 % oproti původní hodnotě maximálního třífázového zkratového proudu 2069 A v předávaném místě připojení do distribuční soustavy. Toto zvýšení zkratového proudu musí být respektováno nastavením zkratových ochran ve FV elektrárně.

V obecném případě každý elektrický zdroj připojený do distribuční sítě způsobuje zvýšení napětí v nejbližších uzlech sítě. Toto zvýšené napětí vyvolané FV elektrárnou o výkonu 516,24 kWp může příznivě posilovat stabilitu napětí v této lokální distribuční síti. Případný pokles napětí v některých uzlech distribuční sítě, způsobený velkým odběrem z tohoto uzlu, např. průmyslovým závodem. FV elektrárna by potom mohla tento pokles napětí alespoň částečně vyrovnávat.

6.2 Ekonomika provozu

6.2.1 Roční vyrobená elektrická energie

Pro stanovení ekonomiky provozu je potřeba znát množství vyrobené elektrické energie navržené FV elektrárny o instalovaném výkonu 516,24 kWp. Pevný sklon FV panelů je 35° a orientace je 0° - na jih. Estimovaný výpočet vyrobené elektrické energie byl proveden pomocí softwaru *(viz [18])*. V následující tabulce *(viz Tab. 6-1)* je znázorněna vyrobená elektrická energie v jednotlivých měsících a dále průměrná denní E_d, měsíční E_m a celková roční. V tom samém znění je uvedena i dopadající energie slunečního na FV panely I_d, I_m.

Tab. 6-1 Vyrobené množství elektrické energie [18]

FV elektrárna s pevnou konstrukcí se sklonem 35°, orientace 0° - na jih				
Měsíc	**E_d [kWh]**	**E_m [kWh]**	**I_d [kWh/m^2]**	**I_m [kWh/m^2]**
Leden	573	17800	1,30	40,2
Únor	920	25800	2,13	59,7
Březen	1350	41900	3,23	100
Duben	1700	51000	4,25	127
Květen	1940	60000	4,99	155
Červen	1850	55600	4,84	145
Červenec	1990	61600	5,22	162
Srpen	1830	56800	4,79	148
Září	1420	42500	3,58	107
Říjen	1210	37600	2,94	91.3
Listopad	560	16800	1,31	39.3
Prosinec	402	12500	0,92	28.4
Průměr za rok	**1310**	**40000**	**3,30**	**100**
Celkem za rok	**480000**		**1200**	

Předpokládané množství roční vyrobené elektrické energie podle programu *(viz [18])* je 480000 kWh. V navržené FV elektrárně jsou použity FV panely SANYO HIT-240HDE4, které mají vlivem použité technologie až o 10 % vyšší výkon než FV panely z monokrystalického křemíku. Je uvažováno, že roční množství vyrobené elektrické energie bude 524000 kWh.

6.2.2 Investiční náklady na FV elektrárnu

Do investičních nákladů na FV elektrárnu jsou zahrnuty náklady na:

- pořízení průmyslového pozemku pro výstavbu FV elektrárny o rozloze 11564 m^2,
- 2151 kusů FV panelů SANYO HIT-240HDE4,
- nosnou konstrukci,
- 12 kusů střídačů Fronius IG 500,
- 24 kusu zařízení Fronius Control String,
- stejnosměrné a střídavé vedení,
- ochranu proti blesku,
- transformátorovou stanici PET® STANDARD 450 s transformátorem o výkonu 630 kVA,
- montážní práce na stavbu FV elektrárny,
- další investice na zabezpečení a řízení FV elektrárny atd.

Investiční náklady jednotlivých vyjmenovaných položek bez DPH jsou uvedeny v následující tabulce *(viz Tab. 6-2)*.

Tab. 6-2 Investiční náklady na FV elektrárnu

Položka	Jednotková cena	Celková cena
Pozemek pro FV elektrárnu	200 Kč/m^2	2 320 000 Kč
FV panely SANYO HIT-240HDE4	14877 Kč/kus	32 000 000 Kč
Nosná konstrukce pozinkovaná ocel	-	3 285 000 Kč
Střídač Fronius IG 500	415 000 Kč/kus	4 920 000 Kč
Fronius Control String	13 720 Kč/kus	329 280 Kč
Kabel 4 mm^2	0,84 Kč/m	12 000 Kč
Kabel 70 mm^2	168 Kč/m	42 340 Kč
Kabel 25 mm^2	204 Kč/m	2 040 Kč
Kabel 35 mm^2	280 Kč/m	148 400 Kč
Ochrana proti blesku	-	150 000 Kč
Trafostanice PET® STANDARD 450	-	250 000 Kč
Montážní práce při stavbě FV elektrárny	-	500 000 Kč
Další investice	-	200 000 Kč
Celkové investiční náklady na FV elektrárnu bez DPH		**44 216 720 Kč**

Přibližné investiční náklady na FV elektrárnu jsou 44 216 720 Kč. Investiční náklady na instalovaný výkon 1 kWp jsou 85 652 Kč včetně investice na pořízení pozemku. Není-li uvažována pořizovací cena pozemku jsou potom investiční náklady na FV elektrárnu 41 896 720 Kč. Investiční náklady na 1 kWh jsou potom 81 158 Kč.

6.2.3 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny a stanovení návratnosti

Výpočet tržby za vyrobenou elektrickou energii v jednotlivých letech provozu

Předpokládá se že FV elektrárna bude provozována v režimu pevné výkupní ceny, která je pro rok 2010 stanovena Energetickým regulačním úřadem na hodnotu 12,15 Kč za 1 kWh. Tato výkupní cena je garantována po následujících 20 let provozu FV elektrárny jako minimální. Po tuto dobu bude také počítána ekonomika provozu. Podle vyhlášky č. 140/2009 Sb. O způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen *(viz [16])*, která udává, že výkupní ceny se za dobu provozu výrobny meziročně zvyšují s ohledem na index průmyslových cen výrobců *PPI* minimálně o 2 % a maximálně o 4 %. V tomto výpočtu ekonomiky provozu FV elektrárny bude uvažováno s minimálním meziročním zvýšením výkupní ceny o 2 %. Dále se na vyrobeném množství elektrické energie projeví pokles výkonu FV panelů během doby provozu. Výrobce FV panelů SANYO HIT-240HDE4 garantuje, že výkon neklesne po 10 letech o více než 10 % a po 20 letech o více než 20 %. Ve skutečnosti není pokles výkonu tak dramatický. V tomto výpočtu je uvažováno s poklesem výkonu o 5 % ročně. Tržba v každém roce je potom počítána podle vztahu *(viz 6.1)*

$$Tržba = roční\ vyrobená\ energie \cdot \left(1 - \frac{pokles\ výkonu}{100}\right)^n \cdot pevná\ cena \cdot \left(1 + \frac{PPI}{100}\right)^n \quad (6.1)$$

kde: n - je rok provozu 0 až 19

Náklady FV elektrárny

U FV elektrárny se nepředpokládají, během doby provozu, téměř žádné provozní náklady. Ve výpočtu jsou předpokládány roční provozní náklady 20 000 Kč. Tato částka je uhrazena oprávněné osobě, která několikrát během roku vstoupí do zabezpečeného objektu FV elektrárny a vizuálně ji zkontroluje.

Další finanční položku, kterou započítáváme do nákladů jsou odpisy FV elektrárny. Pro výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů energie je umožněna možnost osvobození od daně z příjmu v roce, kdy byla FV elektrárna spuštěna a v následujících 5 letech. Celkem je tedy osvobození od daně z příjmu v prvních 6 letech provozu FV elektrárny. Po této době je možné uplatňovat daňové odpisy FV elektrárny. Daňové odpisy tedy představují částku – náklady, které snižují základ pro výpočet daně z příjmu. V tomto výpočtu ekonomiky provozu je uvažováno s odpisováním FV elektrárny ve dvou skupinách. První odpisovou skupinu tvoří stavební nosná konstrukce, kabely a trafostanice PET® STANDARD 450. Tyto zařízení spadají do 4. odpisové skupiny s dobou odpisování 20 let. Druhou odpisovou skupinu tvoří FV panely SANYO HIT-240HDE4, střídače Fronius IG 500 a Fronius Constrol String. Tyto zařízení spadají do 3. odpisové skupiny s dobou odpisování 10 let. Je tedy předpokládáno, že nejdražší část FV elektrárny, což jsou FV panely a střídače budou odepsány během doby provozu 20 let. Zařízení spadající do 4. odpisové skupiny nebudou za dobu garantované výkupní ceny 20 let odepsány v plné výši.

Ve výpočtu ekonomiky provozu se projeví, zda na počáteční investici FV elektrárny bude nutný bankovní úvěr nebo nebude. Bude-li na investici FV elektrárny nutný bankovní úvěr, pak

maximálně 80 % z počáteční investice. Předpokládá se, že bude splácen s roční úrokovou mírou 5 % po dobu 20 let. V dalších výpočtech budou uvažovány obě varianty, tj. s bankovním úvěrem a bez bankovního úvěru. Náklady jsou potom vypočteny podle následujícího vztahu *(viz 6.2)*

$$\textit{Náklady} = \textit{provozní náklady} + \textit{odpisy} + \textit{náklady na splátku bankovního úvěru}. \quad (6.2)$$

Hrubý zisk a čistý zisk z FV elektrárny

Hrubý zisk je vypočítán podle následujícího vztahu *(viz 6.3)*

$$\textit{Hrubý zisk} = \textit{Tržba} - \textit{Náklady}. \quad (6.3)$$

Jsou-li v některých letech hrubé zisky z FV elektrárny záporné, pak je čistý zisk roven hrubému zisku. V opačném případě je uvažována daň z příjmu 15 %. Čistý zisk je vypočítán podle vztahu *(viz 6.4)*

$$\textit{Čistý zisk} = \textit{Hrubý zisk} \cdot \left(\frac{100 - \textit{daň z příjmu}}{100} \right). \quad (6.4)$$

Peněžní tok, aktualizovaný peněžní tok, NPV a vnitřní výnosové procento

Peněžní tok je dán následujícím vztahem *(viz 6.5)*, kdy v každém roce přičteme k čistému zisku odpisy.

$$\textit{Peněžní tok} = \textit{Čistý zisk} + \textit{odpisy} \quad (6.5)$$

Aktualizovaný peněžní tok představuje peněžní tok v následujících letech přepočítaný na rok, kdy se rozhodujeme o investici, tedy v současné době. Aktualizovaný peněžní tok získáme v každém roce podle následujícího vztahu *(viz 6.6)*

$$\textit{Aktualizovaný peněžní tok} = \frac{\textit{Penežní tok}}{\left(1 - \frac{\textit{diskontní míra}}{100}\right)^n} \quad (6.6)$$

kde: *diskontní míra* - představuje výnosnost alternativní investice (např. uložení financí na bankovní účet), v současné době 2 %

n - je rok provozu 1 až 20

Výpočet pomocí metody NPV, čisté současné hodnoty, slouží k určení návratnosti počátečních investic do FV elektrárny. Návratnost FV elektrárny je v takovém roce provozu, kdy NPV ≥ 0. Aby se návratnost FV elektrárny co nejblíže přiblížila skutečnosti, aktualizujeme peněžní tok z FV elektrárny v každém roce na cenový pohled v současné době pomocí diskontní míry. Diskontní míra představuje výnos z alternativní investice, např. uložení na bankovním účtu. Ve výpočtu je uvažována 2 % diskontní míra. Výpočet hodnoty NPV v jednotlivých rocích provozu je vypočítán podle vztahu *(viz 6.7)*

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} \textit{Aktualizovaný peněžní tok}_i - \textit{počáteční investice} \quad (6.7)$$

kde: *i* – je rok, pro který se NPV počítá

Vnitřní výnosové procento projektu je taková úroková míra, při které se aktualizované peněžní toky rovnají počáteční investici do projektu. Vnitřní výnosové procento je maximální úroková míra, při niž projekt ještě není ztrátový. Při výpočtu vnitřního výnosového procenta se postupuje metodou postupné aproximace, početně nebo graficky. Úkolem početní aproximace je nalézt dvě úrokové sazby, při jedné i_n je hodnota NPV kladná, při druhé i_v je hodnota NPV záporná. Obě hodnoty NPV musí mít co nejmenší rozdíl od nuly. Potom pomocí následujícího vztahu *(viz 6.8)* vypočítáme přibližnou hodnotu vnitřního výnosového procenta.

$$IRR = i_n + \left(\frac{NPV_n}{NPV_n - NPV_v} \right) \cdot \left(i_v - i_n \right) \tag{6.8}$$

V následujících odstavcích bude postupně spočítána ekonomika provozu a návratnost FV elektrárny, pro výkupní cenu v roce 2010 a pro výkupní cenu v roce 2011 po předpokládaném snížení. V obou variantách bude vypočítána ekonomika provozu a návratnost FV elektrárny bez bankovního úvěru a s bankovním úvěrem.

A) Pro výkupní cenu vyrobené elektrické energie v roce 2010 bez bankovního úvěru

Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu a návratnosti jsou uvedeny v následující tabulce *(viz Tab. 6-3)*.

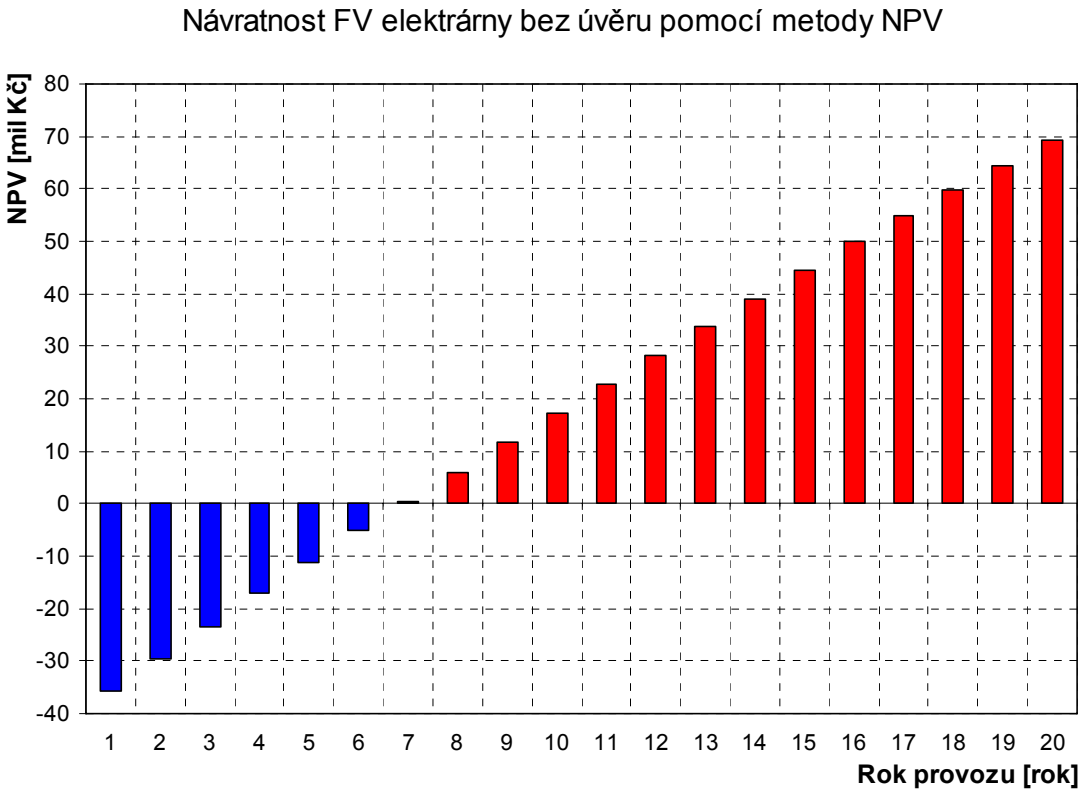
Tab. 6-3 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny bez bankov. úvěru

Doba provozu	20 let	**Opisování 4. skupiny**	20 let
Investiční náklady	41 896 720 Kč	**Částka pro odpisování**	4 147 440 Kč
Roční vyrobená energie	524 000 kWh	**ROS v 1. roce**	2,15 %
Náklady na údržbu	20 000 Kč	**ROS v dalších letech**	5,5 %
Index prům. výroby	2 %	**Opisování 3. skupiny**	10 let
Pokles výkonu FV panelů	0,5 %	**Částka pro odpisování**	37 249 280 Kč
Částka poskytnutého úvěru	0 Kč	**ROS v 1. roce**	5,5 %
Pevná výkupní cena	12,15 Kč/kWh	**ROS v dalších letech**	10,5 %
Daň z příjmu	15 %		
Diskontní míra	2 %		

V následující tabulce *(viz Tab. 6-4)* je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 bez bankovního úvěru. Výpočet vychází z teoretického výpočtu uvedeného v odstavci *(viz Odst. 6.2.3.)*.

Tab. 6-4 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny bez bankovního úvěru

Rok	Tržba	Náklady na odpis	Náklady na úrok	Náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněž. tok	NPV
1	6366600	0	0	20000	6346600	6346600	6346600	6222157	-35674563
2	6461462	0	0	20000	6441462	6441462	6441462	6191333	-29483231
3	6557738	0	0	20000	6537738	6537738	6537738	6160657	-23322574
4	6655448	0	0	20000	6635448	6635448	6635448	6130129	-17192445
5	6754615	0	0	20000	6734615	6734615	6734615	6099748	-11092697
6	6855258	0	0	20000	6835258	6835258	6835258	6069514	-5023184
7	6957402	2137880	0	2157880	4799521	4079593	6217474	5412685	389501
8	7061067	4124768	0	4144768	2916299	2478855	6603622	5636128	6025629
9	7166277	4124768	0	4144768	3021509	2568283	6693050	5600445	11626074
10	7273054	4124768	0	4144768	3128287	2659044	6783811	5565088	17191163
11	7381423	4124768	0	4144768	3236655	2751157	6875925	5530052	22721215
12	7491406	4124768	0	4144768	3346639	2844643	6969410	5495333	28216547
13	7603028	4124768	0	4144768	3458261	2939521	7064289	5460925	33677472
14	7716313	4124768	0	4144768	3571546	3035814	7160581	5426826	39104298
15	7831286	4124768	0	4144768	3686519	3133541	7258308	5393030	44497328
16	7947972	4124768	0	4144768	3803205	3232724	7357492	5359534	49856862
17	8066397	213593	0	233593	7832804	6657883	6871477	4907351	54764214
18	8186587	213593	0	233593	7952993	6760044	6973638	4882658	59646871
19	8308567	213593	0	233593	8074974	6863727	7077321	4858091	64504962
20	8432364	213593	0	233593	8198771	6968955	7182549	4833649	69338611



Obr. 6-1 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 bez bankovního úvěru

Z tabulky *(viz Tab. 6-4)* a grafu *(viz Obr. 6-1)* je patrné, že návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV je 7 let. Vnitřní výnosové procento z této investice do FV elektrárny je 15,25 %.

B) Pro výkupní cenu vyrobené elektrické energie v roce 2010 s bankovním úvěrem

Pro výpočet ekonomiky provozu a návratnosti je v tomto případě uvažováno, že na investici do FV elektrárny bude poskytnut bankovní úvěr 80 % z investice. Bankovní úvěr bude splácen po celou dobu provozu FV elektrárny 20 let s roční úrokovou mírou 5 %.

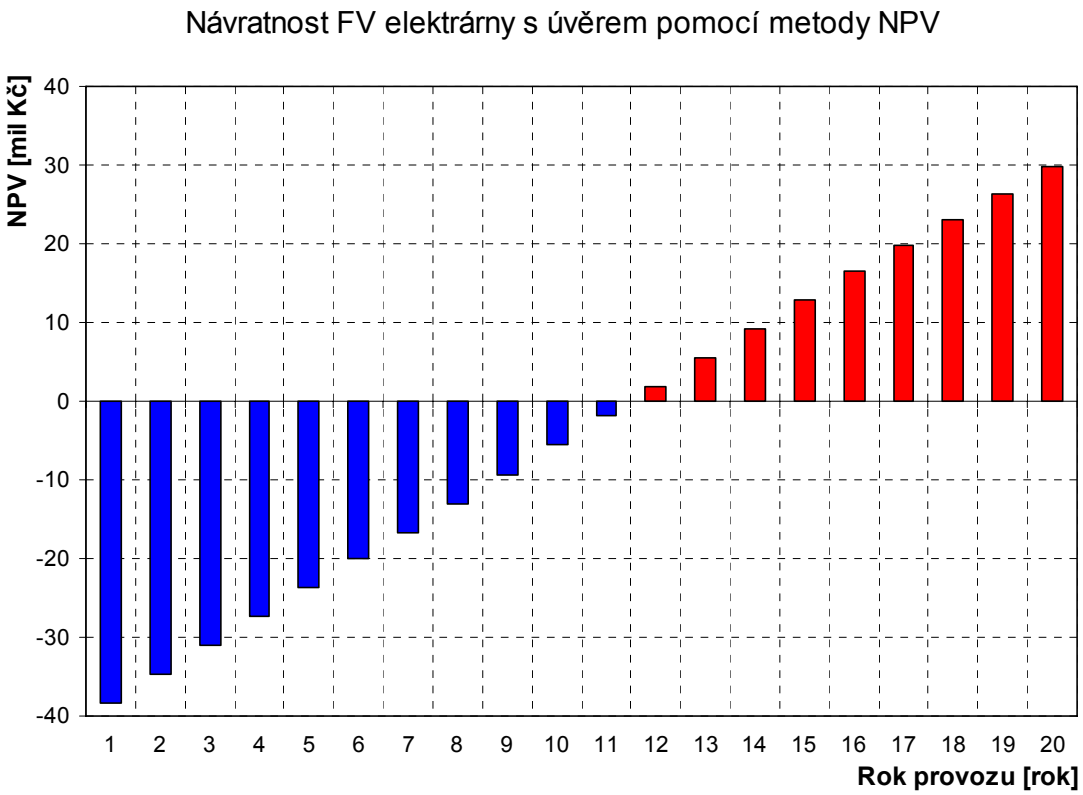
Tab. 6-5 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny s bankov. úvěrem

Doba provozu	20 let	**Daň z příjmu**	15 %
Investiční náklady	41 896 720 Kč	**Diskontní míra**	2 %
Roční vyrobená energie	524 000 kWh	**Opisování 4. skupiny**	20 let
Náklady na údržbu	20 000 Kč	**Částka pro odpisování**	4 147 440 Kč
Index prům. výroby	2 %	**ROS v 1. roce**	2,15 %
Pokles výkonu FV panelů	0,5 %	**ROS v dalších letech**	5,5 %
Částka poskytnutého úvěru	33 517 400 Kč	**Opisování 3. skupiny**	10 let
Délka splácení úvěru	20 let	**Částka pro odpisování**	37 249 280 Kč
Roč. úroková míra z úvěru	5 %	**ROS v 1. roce**	5,5 %
Pevná výkupní cena	12,15 Kč/kWh	**ROS v dalších letech**	10,5 %

V následující tabulce *(viz Tab. 6-6)* je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 a s bankovním úvěrem. Výpočet vychází z teoretického výpočtu uvedeného v odstavci *(viz Odst. 6.2.3.)*.

Tab. 6-6 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny s bankovním úvěrem

Rok	Tržba	Náklady na odpis	Náklady na úrok	Náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněž. tok	NPV
1	6366600	0	2689523	2709523	3657077	3657077	3657077	3585370	-38311350
2	6461462	0	2689523	2709523	3751939	3751939	3751939	3606247	-34705103
3	6557738	0	2689523	2709523	3848215	3848215	3848215	3626259	-31078844
4	6655448	0	2689523	2709523	3945926	3945926	3945926	3645425	-27433419
5	6754615	0	2689523	2709523	4045092	4045092	4045092	3663764	-23769655
6	6855258	0	2689523	2709523	4145735	4145735	4145735	3681294	-20088360
7	6957402	2137880	2689523	4847403	2109998	1793499	3931379	3422502	-16665858
8	7061067	4124768	2689523	6834290	226777	192760	4317528	3684968	-12980890
9	7166277	4124768	2689523	6834290	331986	282188	4406956	3687544	-9293346
10	7273054	4124768	2689523	6834290	438764	372949	4497717	3689694	-5603652
11	7381423	4124768	2689523	6834290	547132	465063	4589830	3691431	-1912221
12	7491406	4124768	2689523	6834290	657116	558548	4683316	3692763	1780542
13	7603028	4124768	2689523	6834290	768738	653427	4778195	3693700	5474241
14	7716313	4124768	2689523	6834290	882023	749719	4874487	3694252	9168493
15	7831286	4124768	2689523	6834290	996996	847446	4972214	3694428	12862922
16	7947972	4124768	2689523	6834290	1113682	946630	5071397	3694238	16557160
17	8066397	213593	2689523	2923116	5143281	4371789	4585382	3274708	19831868
18	8186587	213593	2689523	2923116	5263470	4473950	4687543	3282027	23113895
19	8308567	213593	2689523	2923116	5385451	4577633	4791226	3288845	26402740
20	8432364	213593	2689523	2923116	5509248	4682861	4896454	3295173	29697914



Obr. 6-2 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu v roce 2010 s bankovním úvěrem

Z tabulky *(viz Tab. 6-6)* a grafu *(viz Obr. 6-2)* je patrné, že návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV je 12 let. Vnitřní výnosové procento z této investice do FV elektrárny je 8,04 %.

Vlivem velkého nárůstu instalací FV elektráren, z důvodu vysoké efektivnosti investice a rychlé návratnosti, ale také především pozastavením nárůstu instalovaného výkonu ve FV elektrárnách bylo 17. 3. 2010 Poslaneckou sněmovnou ČR odsouhlaseno, že výkupní ceny vyrobené elektrické energie z FV elektráren mohou klesat o více než 5 % ročně, jak tomu bylo do tohoto roku Konečné snížení výkupních cen pro rok 2011 není v současné chvíli ještě známo, ERÚ vydá cenovým rozhodnutím nejspíše v listopadu v roce 2010. V současné chvíli se mluví o snížení výkupních cen až o 30 % ze současné výkupní ceny. Kdyby tato navržená FV elektrárna byla připojena k distribuční síti až v roce 2011, ekonomika provozu by se vlivem snížení výkupní ceny razantně změnila. V následujících dvou variantách je vypočítána ekonomika provozu a návratnost FV elektrárny po snížení výkupních cen od roku 2011 a opět bez bankovního úvěru a s bankovním úvěrem.

C) Pro výkupní cenu vyrobené elektrické energie od roku 2011 bez bankovního úvěru

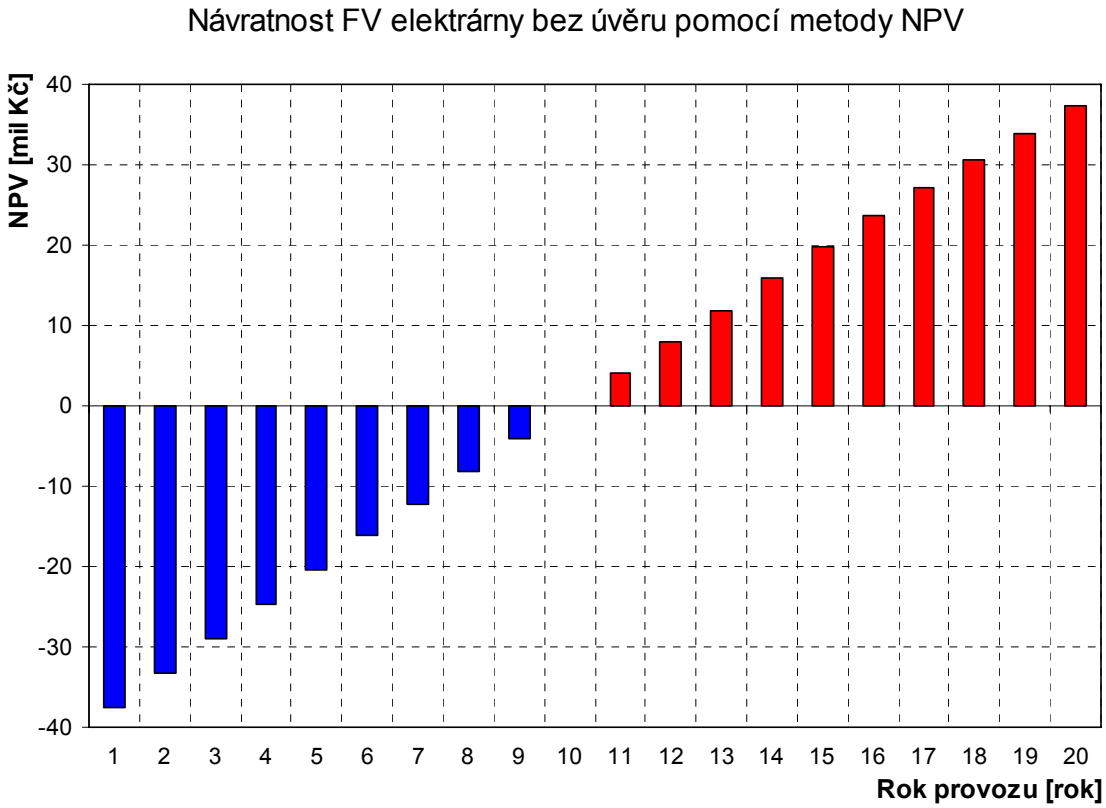
Tab. 6-7 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po předpokládaném snížení výkupních cen bez bankovního úvěru

Doba provozu	20 let	**Opisování 4. skupiny**	20 let
Investiční náklady	41896720 Kč	**Částka pro odpisování**	4 147 440 Kč
Roční vyrobená energie	524000 kWh	**ROS v 1. roce**	2,15 %
Náklady na údržbu	20000 Kč	**ROS v dalších letech**	5,5 %
Index prům. výroby	2 %	**Opisování 3. skupiny**	10 let
Pokles výkonu FV panelů	0,5 %	**Částka pro odpisování**	37 249 280 Kč
Částka poskytnutého úvěru	0 Kč	**ROS v 1. roce**	5,5 %
Pevná výkupní cena	8,505 Kč/kWh	**ROS v dalších letech**	10,5 %
Daň z příjmu	15 %		
Diskontní míra	2 %		

V následující tabulce *(viz Tab. 6-8)* je proveden výpočet ekonomiky provozu a návratnosti FV elektrárny pro předpokládanou výkupní cenu v roce 2011 a bez bankovního úvěru. Výpočet vychází z teoretického výpočtu uvedeného v odstavci *(viz Odst. 6.2.3.)*.

Tab. 6-8 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po snížení výkupních cen bez bankov. úvěru

Rok	Tržba	Náklady na odpis	Náklady na úrok	Náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněž. tok	NPV
1	4456620	0	0	20000	4436620	4436620	4436620	4349627	-37547093
2	4523024	0	0	20000	4503024	4503024	4503024	4328166	-33218927
3	4590417	0	0	20000	4570417	4570417	4570417	4306806	-28912121
4	4658814	0	0	20000	4638814	4638814	4638814	4285547	-24626574
5	4728230	0	0	20000	4708230	4708230	4708230	4264389	-20362185
6	4798681	0	0	20000	4778681	4778681	4778681	4243332	-16118853
7	4870181	2137880	0	2157880	2712301	2305456	4443336	3868191	-12250662
8	4942747	4124768	0	4144768	797979	678282	4803050	4099357	-8151305
9	5016394	4124768	0	4144768	871626	740882	4865650	4071358	-4079947
10	5091138	4124768	0	4144768	946371	804415	4929183	4043646	-36300
11	5166996	4124768	0	4144768	1022228	868894	4993662	4016218	3979918
12	5243984	4124768	0	4144768	1099217	934334	5059102	3989067	7968985
13	5322120	4124768	0	4144768	1177352	1000749	5125517	3962191	11931176
14	5401419	4124768	0	4144768	1256652	1068154	5192921	3935586	15866762
15	5481900	4124768	0	4144768	1337133	1136563	5261330	3909246	19776008
16	5563581	4124768	0	4144768	1418813	1205991	5330759	3883169	23659176
17	5646478	213593	0	233593	5412885	4600952	4814545	3438368	27097544
18	5730611	213593	0	233593	5497017	4672465	4886058	3421019	30518564
19	5815997	213593	0	233593	5582404	4745043	4958636	3403760	33922324
20	5902655	213593	0	233593	5669062	4818703	5032296	3386591	37308915



Obr. 6-3 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu od roku 2011 bez bankovního úvěru

Z tabulky *(viz Tab. 6-8)* a grafu *(viz Obr. 6-3)* je patrné, že návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV je 11 let. Vnitřní výnosové procento z této investice do FV elektrárny je 9,68 %.

D) Pro výkupní cenu vyrobené elektrické energie od roku 2011 s bankovním úvěrem

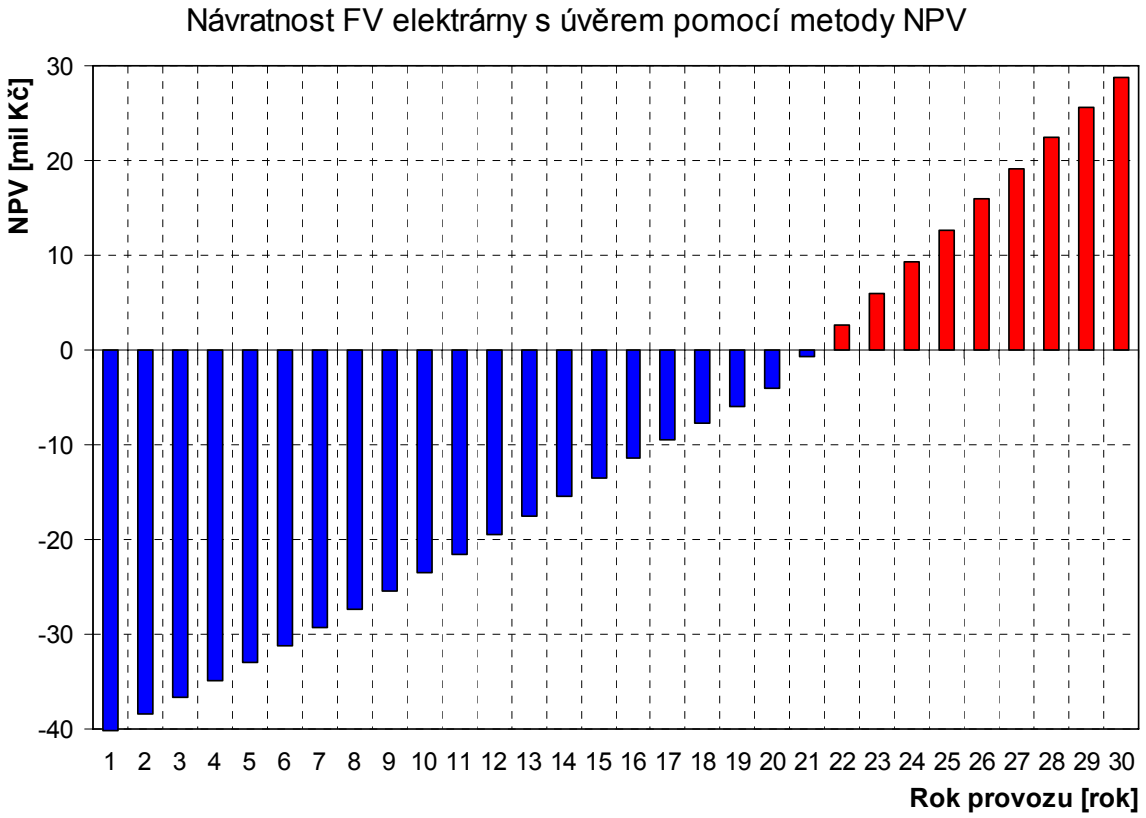
Tab. 6-9 Vstupní údaje pro výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po předpokládaném snížení výkupních cen s bankovním úvěrem

Doba provozu	20 let	**Daň z příjmu**	15 %
Investiční náklady	41 896 720 Kč	**Diskontní míra**	2 %
Roční vyrobená energie	524 000 kWh	**Opisování 4. skupiny**	20 let
Náklady na údržbu	20 000 Kč	**Částka pro odpisování**	4 147 440 Kč
Index prům. výroby	0 %	**ROS v 1. roce**	2,15 %
Pokles výkonu FV panelů	0,5 %	**ROS v dalších letech**	5,5 %
Částka poskytnutého úvěru	33 517 400 Kč	**Opisování 3. skupiny**	10 let
Délka splácení úvěru	20 let	**Částka pro odpisování**	37 249 280 Kč
Roč. úroková míra z úvěru	5 %	**ROS v 1. roce**	5,5 %
Pevná výkupní cena	8,505 Kč/kWh	**ROS v dalších letech**	10,5 %

Tab. 6-10 Výpočet ekonomiky provozu FV elektrárny po snížení výkupních cen s bankov. úvěrem

Rok	Tržba	Náklady na odpis	Náklady na úrok	Náklady	Zisk	Čistý zisk	Peněžní tok	Aktual. peněž. tok	NPV
1	4456620	0	2689523	2709523	1747097	1747097	1747097	1712840	-40183880
2	4523024	0	2689523	2709523	1813501	1813501	1813501	1743080	-38440799
3	4590417	0	2689523	2709523	1880894	1880894	1880894	1772408	-36668391
4	4658814	0	2689523	2709523	1949291	1949291	1949291	1800844	-34867548
5	4728230	0	2689523	2709523	2018707	2018707	2018707	1828405	-33039142
6	4798681	0	2689523	2709523	2089158	2089158	2089158	1855112	-31184030
7	4870181	2137880	2689523	4847403	22778	19361	2157242	1878009	-29306021
8	4942747	4124768	2689523	6834290	-1891544	-1891544	2233224	1906035	-27399986
9	5016394	4124768	2689523	6834290	-1817897	-1817897	2306871	1930286	-25469699
10	5091138	4124768	2689523	6834290	-1743152	-1743152	2381615	1953754	-23515945
11	5166996	4124768	2689523	6834290	-1667294	-1667294	2457473	1976455	-21539491
12	5243984	4124768	2689523	6834290	-1590306	-1590306	2534461	1998406	-19541085
13	5322120	4124768	2689523	6834290	-1512171	-1512171	2612597	2019622	-17521463
14	5401419	4124768	2689523	6834290	-1432871	-1432871	2691896	2040121	-15481342
15	5481900	4124768	2689523	6834290	-1352390	-1352390	2772378	2059917	-13421424
16	5563581	4124768	2689523	6834290	-1270710	-1270710	2854058	2079026	-11342398
17	5646478	213593	2689523	2923116	2723362	2314858	2528451	1805725	-9536673
18	5730611	213593	2689523	2923116	2807495	2386370	2599964	1820389	-7716284
19	5815997	213593	2689523	2923116	2892881	2458949	2672542	1834515	-5881769
20	5902655	213593	2689523	2923116	2979539	2532608	2746201	1848115	-4033655
21	5990605	213593	0	233593	5757011	4893460	5107053	3369510	-664145
22	6079865	213593	0	233593	5846271	4969331	5182924	3352517	2688373
23	6170455	213593	0	233593	5936861	5046332	5259925	3335613	6023986
24	6262394	213593	0	233593	6028801	5124481	5338074	3318795	9342781
25	6355704	213593	0	233593	6122111	5203794	5417387	3302065	12644846
26	6450404	213593	0	233593	6216811	5284289	5497882	3285421	15930267
27	6546515		0	20000	6526515	5547538	5547538	3250092	19180358
28	6644058		0	20000	6624058	5630449	5630449	3233987	22414345
29	6743055		0	20000	6723055	5714596	5714596	3217960	25632305
30	6843526		0	20000	6823526	5799997	5799997	3202010	28834314

Z tabulky *(viz Tab. 6-10)* a grafu *(viz Obr. 6-4)* je patrné, že návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV vychází více než 20 let. Tedy nad dobu, kdy je garantovaná výkupní cena. Ve výpočtu je uvažováno, že výkupní cena v letech provozu 21 až 30 bude stejná jako v předchozím období. Při těchto předpokladech je potom návratnost FV elektrárny pomocí metody NPV 22 let. Vnitřní výnosové procento z této investice do FV elektrárny za dobu provozu 30 let je 5,33 %.



Obr. 6-4 Návratnost FV elektrárny pro výkupní cenu od roku 2011 s bankovním úvěrem

Výkupní cena elektrické energie z FV elektrárny připojené v roce 2011 klesne o více jak 5 % pokud návratnost investice je kratší jak 11 let. Návratnost investice do navržené FV elektrárny bez bankovního úvěru, která by byla připojena v roce 2011, je kratší jak 11 let. Plánované snížení pevné výkupní ceny by potom mohlo být o 30 %. U FV elektrárny, u které by byl požadován bankovní úvěr v maximální výši 80 % investice, by k plánovanému snížení výkupní ceny o 30 % nemuselo dojít, protože návratnost v tomto případě je 22 let.

Tab. 6-11 Výstupní tabulka ekonomiky provozu FV elektrárny

Instalovaný výkon FV elektrárny	**516,24 kWp**
Investiční náklady FV elektrárny	41 896 720 Kč
Roční vyrobená elektrická energie	524000 kWh
Pevná výkupní cena v roce 2010	**12,15 Kč/kWh**
Návratnost FVE bez bankovního úvěru, IRR	7 let, 15,25 %
Návratnost FVE s bankovním úvěrem 80 %, IRR	12 let, 8,04 %
Předpokládaná pevná výkupní cena od roku 2011	**8,505 Kč/kWh**
Návratnost FVE bez bankovního úvěru, IRR	11 let, 9,68 %
Návratnost FVE s bankovním úvěrem 80 %, IRR	22 let, 5,33 %

7 ZÁVĚR

Využívání energie z obnovitelných zdrojů energie je v dnešní době častým tématem. Česká republika má v současné době podíl, přibližně 6 %, vyráběné energie z obnovitelných zdrojů. Cílem České republiky je mít v roce 2010 8 % podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie. Fotovoltaické elektrárny jsou v současné době nejvíce se rozvíjeným obnovitelným zdrojem elektrické energie. Děje se to především z důvodu poklesu investičních nákladů a také vysokých výkupních cen za vyrobenou elektrickou energii FV elektrárnami, tím je tento obnovitelný zdroj energie podporován a finančně zvýhodňován před ostatními obnovitelnými zdroji energie. Stále snižující se investiční náklady, v roce 2009 klesly o 20 %, zlepšují tak návratnost investice do fotovoltaické elektrárny. Proto je nárůst připojených fotovoltaických elektráren do elektrizační soustavy tak vysoký. Vlivem velkého nárůstu kladně vyřízených stanovisek o připojení fotovoltaických elektráren do elektrizační sítě, byl 13. 2. 2010 vydán stop stav dalšího povolování a připojení fotovoltaických a větrných elektráren. Provozovatel přenosové soustavy se oprávněně obává o stabilitu naší elektrizační soustavy. K 1. 5. 2010 je instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v České republice 512,21 MW. Předpokládá se, že instalovaný výkon se zvýší, do konce roku 2010 až na 1000 MW.

Praktickým cílem této diplomové práce bylo navrhnout fotovoltaickou elektrárnu o výkonu větším jak 500 kWp. Fotovoltaická elektrárna o výkonu 516,24 kWp je navržena na pozemku nacházející se v Jižních Čechách, jižně od města Třebíč, mezi obcemi Mikulovice a Kojetice. Pozemek se nachází na zeměpisných souřadnicích 49° 9´ zeměpisné šířky a 15° 50´ zeměpisné délky a je orientován na jih. Při volbě pozemku nebylo uvažováno, jestli je tam opravdu možné tuto teoreticky navrženou fotovoltaickou elektrárnu postavit. Celková rozloha pozemku pro stavbu fotovoltaické elektrárny je 11564 m^2. Na této ploše bude celkem instalováno 2151 fotovoltaických panelů SANYO HIT-240HDE4 o výkonu 240 Wp. Tyto navržené fotovoltaické panely jsou vyrobeny z monokrystalického křemíku, který je obklopen ultratenkými vrstvami amorfního křemíku. S touto použitou technologii je dosaženo vyššího využití difuzního záření, ale také vyšší účinnosti při vysokých teplotách, až o 10 % oproti panelům z monokrystalického křemíku. Výrobce udává maximální účinnost celého panelu 17,3 %. Celkově zastavěná plocha fotovoltaickými panely je 2448 m^2. V návrhu je uvažováno, že uvedený pozemek nemá žádný sklon. Fotovoltaické panely jsou instalovány se sklonem 35°. Rozestupy mezi řadami fotovoltaických panelů jsou 6,72 m. Vypočítaný bezpečný rozestup zaručí, že řady fotovoltaických panelů si nebudou vzájemně stínit při minimálním úhlu slunečních paprsků, 17, 3°, a ani nebudou způsobovat stín na panelech oddálené jímače ochrany proti blesku. Ochrana proti blesku zaručí bezpečný provoz fotovoltaické elektrárny. V navržené fotovoltaické elektrárně jsou použity střídače firmy Fronius Česká republika s.r.o. Pomocí výpočetního softwaru budou použity střídače Fronius IG 500, které budou zapojeny s fotovoltaickými panely v řetězcovém zapojení. Celkem bude použito 12 těchto střídačů, z nichž na 1. střídač bude připojeno 171 panelů a na střídač 2. až 12. 180 panelů. Distribuční transformátorová stanice PET® STANDARD 450 od firmy Eeika Brno, s.r.o., bude transformovat střídavé 3 fázové napětí 400 V ze střídačů na vysoké napětí 22 kV. V této transformátorové stanici bude instalován olejový hermetizovaný transformátor od firmy BEZ transformátory, a.s. o výkonu 630 kVA. Kabelová přípojka z nejbližšího sloupu u fotovoltaické elektrárny bude mít délku 40 m a navržený vysokonapěťový kabel bude mít označení 22-AXEKVCEY 185. Tato navržená fotovoltaická elektrárna o výkonu 516,24 kWp bude připojena do distribuční soustavy 22 kV. Výkon bude vyveden do

transformovny 110/22 kV Řípov. V softwaru E-vlivy byla tato lokální distribuční síť namodelována, s uvažováním zkratového výkonu a parametry instalovaného transformátoru v rozvodně Řípov, s délkami a typy distribučního vedení 132 a 184 vedoucí k fotovoltaické elektrárně a parametry připojené fotovoltaické elektrárny. Vypracováním studie připojitelnosti se potvrdilo, že tato fotovoltaická elektrárna může být do distribuční sítě připojena. Maximální zvýšené napětí, ke kterému by mohlo dojít vlivem připojení elektrárny je 0,343 %. Fotovoltaická elektrárna nepřekračuje povolené hodnoty u žádného zpětného vlivu. V poslední části bylo provedeno ekonomické zhodnocení provozu této navržené elektrárny. Roční množství vyrobené elektrické energie by bylo při použití panelů z monokrystalického křemíku 480000 kWh. Použitím panelu SANYO HIT-240HDE4 bude roční množství vyrobené elektrické energie 524000 kWh. Investice do této navržené fotovoltaické elektrárny bude přibližně 44 216 720 Kč i s pozemkem a 41 896 720 Kč bez pozemku, s touto poslední hodnotou bude dále počítáno. Uvedené ceny investice jsou bez DPH. V dalším výpočtu ekonomiky provozu bude uvažováno s tím, že pevná výkupní cena 12,15 Kč bude garantována po následujících 20 let a bude se zvyšovat vlivem indexu průmyslových cen výrobců o 2 % ročně. Současně bude klesat výkon fotovoltaických panelů o 0,5 % ročně. Stále provozní roční náklady jsou uvažovány 20000 Kč. Další položkou, která se podstatně projeví na ekonomice provozu je, jestli bude na investici požadován bankovní úvěr nebo nebude. Bude-li poskytnut bankovní úvěr, tak je uvažováno s maximální hodnotou ve výši 80 % investice. Další položkou, která se promítne do zisku jsou daňové odpisy instalovaného zařízení. V elektrárně jsou instalována zařízení patřící do 3. odpisové skupiny s dobou odepisování 10 let a zařízení patřící do 4. odpisové skupiny s dobou odepisování 20 let. Výrobce elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie je v prvních 6 letech provozu osvobozen od daně z příjmu. V následujících letech je počítáno s daní 15 %. Výnosnost paralelní investice, se kterou se počítá v metodě NPV, je s diskontní mírou 2 % ročně. Pomocí metody NPV byla vypočtena návratnost fotovoltaické elektrárny bez uvažování bankovního úvěru 7 let. S uvažováním bankovního úvěru je návratnost 12 let.

Dne 17. 3. 2010 bylo Poslaneckou sněmovnou ČR odsouhlaseno, že výkupní ceny z fotovoltaických elektráren budou klesat o více než 5 % ročně, než tomu bylo doposud. Jaká bude konečná výkupní cena se v této době ještě přesně neví, Energetický úřad ji stanoví na podzim roku 2010. V této době se uvažuje o snížení 30 % výkupních cen. S tímto snížením byla spočítána návratnost fotovoltaické elektrárny, kdyby byla připojena do elektrizační sítě až v roce 2011. Návratnost by potom byla bez uvažování bankovního úvěru 11 let. Návratnost s uvažováním bankovního úvěru by už převyšovala období garantované výkupní ceny. Byla by výkupní cena, i po této době, dále stejná, návratnost by byla 22 let.

Z těchto návratností, kterých bylo výpočtem dosaženo, lze říci, že investice při výkupní ceně v roce 2010 je ekonomicky výhodná. Výhodná především pro firmy s vysokým majetkem, které nebudou potřebovat na investici bankovní úvěr. Cílem snížení výkupních cen od následujícího roku 2011 je snížit výhodnost investice do fotovoltaické elektrárny.

Fotovoltaické elektrárny patří mezi problematické elektrické zdroje, které nedodávají elektrickou energii do elektrizační sítě stále. Dodávání je silně závislé na aktuálních slunečních podmínkách. Jsou to tedy zdroje elektrické energie, které vnáší do výrobní sféry elektrické energie nenadálé výchylky výroby. Tyto nevýhody fotovoltaických elektráren by vyřešila účinná akumulace elektrické energie. Tím by se zrovnoměrnila dodávka elektrické energie a fotovoltaické elektrárny by se mohly zařadit mezi klasické zdroje elektrické energie. Akumulace je ovšem finančně nákladné řešení, a proto není v současné době používána ve větší míře, pro svou ekonomickou nevýhodnost a také pro její technické vyřešení a nasazení tak v praxi.

POUŽITÁ LITERATURA

Knižní zdroje

[1] Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M., Fotovoltaika elektřina ze slunce. Vydavatelství ERA group spol. s r.o., 2. vydání, Brno 2008, 81 stran, ISBN 978-80-7366-133-5.

Elektronické zdroje – www stránky

[2] Provozovatelé distribučních soustav ČEZ Distribuce a.s. E.ON Distribuce a.s. PREdistribuce a.s., Pravidla provozu distribučních soustav [on line]. Energetický regulační úřad, 17.3. 2009, 86 stran, http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_2009.pdf.

[3] Předseda vlády ČR, Zákon č. 91/2005 Sb. O podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích [on line]. 28.02.2005, http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?cd=76&typ=r&zdroj=sb05091.

[4] Energetický regulační úřad, Vyhláška č. 51/2006 Sb. O podmínkách připojení k elektrizační soustavě[on line]. 17.02.2006, http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=481.

[5] ČSN EN 50160 (330122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě

[6] Provozovatelé distribučních soustav ČEZ Distribuce a.s. E.ON Distribuce a.s. PREdistribuce a.s., Pravidla provozu distribučních soustav Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy [on line]. Energetický regulační úřad, 17.3. 2009, 52 stran, http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2009/ppds_priloha_4_2009.pdf.

[7] Jiříček, I., Rábl, V., 2. Sluneční energie (Solární energie) [on line]. 2004, http://www.vscht.cz/ktt/zdrene/2.0_Slune%e8n%ed_energie.pdf.

[8] European Communities, Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe [on line]. 2008, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm#CZ.

[9] Slepánek, J. Solární panely, solární technika [on line]. 2003 – 2009, http://www.eles-solar.cz/teorie.

[10] Czech RE Agency, o.p.s., Fotovoltaický střídač - účinnost není vše, důležitější je maximální výnos energie [on line]. 20.4.2009, http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5571.

[11] SANYO Electric Co., Ltd., Fotovoltaický modul SANYO HIT-240HDE4 [on line]. 2009, www.mojeslunce.cz/pdf/sanyo_hde4.pdf.

[12] BEZ TRANSFORMÁTORY,a.s., Trojfázové olejové hermetizované transformátory s medeným vinutím vo vlnových nádobách 100 - 2 500 kVA / 22 kV, BA'BC [on line]. 2010, http://www.bez.sk/sk/produkty.htm.

[13] Nkt cables s.r.o., Kabely na jmenovité napětí 6/10; 12,7/22 a 20/35 kV [on line]. 2010 http://www.nktcables.cz/sitecore/content/nktcables,-d-,cz/Products/1%20MV%20cables/MV%20cables%20acc,-d-,%20PN.aspx.

[14] FRONIUS Česká republika s.r.o., Fronius IG Centrální fotovoltaický střídač [on line]. 2010, http://www.fronius.cz/cps/rde/xchg/SID-B1A43DA1-9DCFBFF8/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_5177.htm.

[15] FRONIUS Česká republika s.r.o., Mains harmonics Fronius IG 500 [on line]. 2008, poskytl Žižka, P., Technický poradce, FRONIUS Česká Republika s.r.o.

[16] Energetický regulační úřad, Vyhláška č. 140/2009 sb. [online]. 2009, http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=554.

[17] Parametry rozvodny 110/22 kV Řípov a parametry distribuční sítě do místa připojení FV elektrárny poskytnula firma E.ON Česká republika, s.r.o.

Elektronické programy

[18] European Communities, Performance of Grid-connected PV [on line]. 2007, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#.

[19] Schletter GmbH, Schletter Verschattungsrechner Vers 4.1[on line]. 2008, http://www.schletter.de/de/downloads/cat_view/31-solar-montagesysteme/36-deutsch/2002-software-und-kalkulation.html.

[20] Kaucký, M., Milanův výpočet ochranného úhlu v závislosti na výšce a třídě LPS [on line]. 2010, http://www.kniska.eu/software/swdownload.

[21] Kaucký, M., Milanův výpočet průvěsu valivé koule v rovině procházející středem valivé koule [on line]. 2110, http://www.kniska.eu/software/swdownload.

[22] FRONIUS Česká republika s.r.o., Fronius Solar.configurator 2.5.0 [on line]. 2010 http://www.fronius.cz/cps/rde/xchg/SID-38C7CC68-DD1DCC2C/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_5178.htm.

[23] EGC - EnerGoConsult ČB s.r.o., software E-vlivy verze 2.0.8, poskytnula firma E.ON Česká republika, s.r.o.

Příloha A Informace o výrobně elektrické energie

a) Údaje o výrobně (pro jednotlivé generátory)

1) jmenovité výstupní napětí,
2) jmenovitý zdánlivý výkon [kVA],
3) jmenovitý činný výkon [kW],
4) maximální dodávaný činný výkon, případně požadavky na jalový výkon [kVAr],
5) druh generátoru (synchronní, asynchronní, apod.),
6) pohon,
7) očekávaný provozní režim výroby, např. trvalý, přerušovaný, pouze ve špičce apod.,
8) příspěvek ke zkratovému proudu,
9) řízení napětí (typ regulátoru a případná možnost připojení do automatické sekundární regulace napětí),
10) údaje o transformátoru, do kterého je generátor vyveden,
11) požadavky pro krytí vlastní spotřeby a nebo pohotovostní dodávky,
12) schopnost ostrovního provozu a startu ze tmy,
13) výsledky měření na zdroji potřebné pro posuzování připojitelnosti,
14) způsob vyvedení výkonu od generátoru po předávací místo. [2]

b) Řešení místa připojení:

1) způsob synchronizace mezi PDS a uživatelem,
2) podrobné údaje o řešení způsobu provozu uzlu té části soustavy výrobce, která je přímo připojena k distribuční soustavě,
3) způsob připojení a odpojení od distribuční soustavy,
4) údaje o síťových ochranách,
5) situační plán, na kterém jsou vyznačeny hranice pozemku a místo výstavby,
6) přehledové schéma (postačí jednopólové) celého elektrického zařízení s jmenovitými hodnotami použitých zařízení včetně údajů o vlastních přípojných vedeních a rozvodném zařízení výrobce elektrické energie,
7) údaje o zkratové odolnosti předávací stanice,
8) parametry napájecích transformátorů: výkon, převod, napětí nakrátko, spojení vinutí, ztráty naprázdno a nakrátko atd.,
9) popis ochran s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci,
10) příspěvek výrobny k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení k distribuční síti,
11) popis druhu a způsobu provozu pohonu, generátoru a případně střídače stejně jako způsob připojení k síti včetně technických dat a zkušebních protokolů,
12) u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátorů s buzením napájeným usměrňovači: zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a meziharmonických. [2]

Příloha B Výpočet maximální hodnoty zvýšeného napětí

Pokud je v síti nn a vn jen jedno přípojné místo, je možné podmínku na maximální hodnotu zvýšeného napětí posoudit jednoduše pomocí zkratového poměru výkonů.

$$k_{k1} = \frac{S_{kv}}{\sum S_{A\max}} \tag{B1}$$

kde: S_{kv} je zkratový výkon sítě v přípojném bodu
ΣS_{Amax} je součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených nebo plánovaných výroben

V případě jediného předávacího místa v síti bude podmínka pro zvýšení napětí dodržena vždy, když zkratový poměr výkonů k_{k1} bude pro výrobny s předávacím místem v síti vn

$$k_{k1,vn} \geq 50 \tag{B2}$$

pro výrobny s předávacím místem v síti nn

$$k_{k1,vn} \geq 33 \tag{B3}$$

Pokud je síť vn silně induktivní, pak je posouzení pomocí činitele k_{k1} příliš zjednodušené, dodávaný výkon bude silněji omezen, než je zapotřebí k dodržení zvýšení napětí. V takovém případě je zapotřebí provést výpočet s komplexní hodnotou impedance sítě a jejím úhlem φ_{kv}, který poskytne mnohem přesnější výsledek.

Podmínka pro maximální výkon pak je pro výrobny s předávacím místem v síti vn:

$$\sum S_{A\max} = \frac{2\ \% \cdot S_{kv}}{\left|\cos(\varphi_{kv} - \varphi)\right|} = \frac{S_{kv}}{50 \cdot \left|\cos(\varphi_{kv} - \varphi)\right|} \tag{B4}$$

Pro výrobny s předávacím místem v síti nn:

$$\sum S_{A\max} = \frac{3\ \% \cdot S_{kv}}{\left|\cos(\varphi_{kv} - \varphi)\right|} = \frac{S_{kv}}{33 \cdot \left|\cos(\varphi_{kv} - \varphi)\right|} \tag{B5}$$

kde: φ je úhel mezi proudem a napětím výrobny při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax}
φ_{kv} je úhel impedance sítě

V praxi je v mnoha případech udáván maximální připojitelný výkon S_{Amax}, pro který je pak zapotřebí určit zvýšení napětí v přípojném bodu podle následujícího vztahu:

$$\Delta u_{AV} = \frac{S_{A\max} \cdot \cos(\varphi_{kv} - \varphi)}{S_{kv}} \tag{B6}$$

V propojených sítích a nebo při provozu více rozptýlených výroben v síti je zapotřebí určovat zvýšení napětí s pomocí komplexního chodu sítě. Přitom musí být dodržena podmínka pro úbytek napětí Δu v nejnepříznivějším přípojném bodě.

Při posuzování připojitelnosti výroben se vychází z neutrálního účiníku v předávacím místě do distribuční soustavy, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám, bilance jalové energie, napětí v síti, nestanoví jinak. [6]

Příloha C Maximální změna napětí při spínání

Změnu napětí při spínání lze odhadnout pro jednotlivé výrobny v závislosti na zkratovém výkonu S_{kv} v síti PDS a jmenovitém zdánlivém výkonu S_{nE}:

$$\Delta u_{\max} = k_{i\max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kv}} \qquad \text{(C1)}$$

kde. k_{imax} je činitel, který se označuje jako "největší spínací ráz" a udává poměr největšího proudu, který se vyskytuje v průběhu spínacího pochodu (například zapínací ráz I_a) ke jmenovitému proudu zdroje I_{nG}.

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \qquad \text{(C2)}$$

kde: I_a je maximální proud při zapínání
I_{nG} je jmenovitý proud výrobny

Pro činitel zapínacího rázu platí následující hodnoty:

$k_{imax} = 1$ synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače,

$k_{imax} = 4$ asynchronní generátory, připojované s 95 až 105 % synchronních otáček, pokud nejsou k dispozici přesnější údaje o způsobu omezení proudu. S ohledem na krátkodobost přechodového jevu musí přitom být dodržena dále uvedená podmínka pro velmi krátké poklesy napětí,

$k_{imax} = I_a / I_{nG}$ asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě,

$k_{imax} = 8$ pokud neznáme I_a. [6]

Příloha D Výpočet flikru

Dlouhodobá míra flikru P_{It} jednoho zdroje může být určena pomocí činitele flikru c jako

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kv}} \tag{D1}$$

kde: S_{nE} je jmenovitý výkon zařízení

S_{kv} je zkratový výkon sítě v přípojném bodu

c je činitel flikru, kterou udává výrobce zařízení

Pokud je hodnota vypočtená podle předchozí rovnice *(viz D1)* větší než 0,46, je možné do výpočtu zahrnout fázové úhly a počítat podle následujícího vztahu

$$P_{It} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kv}} \cdot \left|\cos(\varphi_{kv} + \varphi_i)\right|. \tag{D2}$$

U výrobny s více jednotlivými zařízeními je zapotřebí vypočítat P_{It} pro každé zařízení zvlášť a výslednou hodnotu flikru ve společném napájecím bodě určit podle následujícího vztahu

$$P_{Itres} = \sqrt{\sum_i P_{Iti}^2}\ . \tag{D3}$$

Pro zařízení s n stejnými jednotkami je výsledný flikr

$$P_{Itres} = \sqrt{n} \cdot P_{It} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kv}}. \qquad [6] \tag{D4}$$

Příloha E Výpočet proudů jednotlivých harmonických

Výrobny v síti nn

Výpočet jednotlivých proudů harmonických v sítích nn je podle vztahu

$$I_{v,nn} = i_v \cdot \frac{S_{kv}}{\sin \varphi_{kv}} \qquad \text{(E1)}$$

kde: $I_{v,nn}$ je přípustný proud jednotlivých harmonických v sítích nn

i_v je vztažný proud jednotlivých harmonických uvedený v tabulce *(viz Tab. E-1)*

S_{kv} je zkratový výkon sítě v přípojném bodu

$\sin \varphi_{kV} = \frac{X_k}{Z_k}$ je úhel impedance sítě (dosahuje hodnoty 1, když je předávací místo blízko transformátoru vn/nn)

Tab. E-1 Přípustné vztažné proudy jednotlivých harmonických v sítích nn [6]

řád harmonické υ	vztažný proud i_υ [A/MVA]
5	3
7	2,5
11	1,5
13	1

Výrobny v síti vn

Pro pouze jediné předávací místo v síti vn lze určit celkové, v tomto bodě přípustné, harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{\upsilon př}$ *(viz Tab. E-2)* násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodě.

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \qquad \text{(E2)}$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení násobením poměru zdánlivému výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} ve společném napájecím bodu

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \qquad \text{(E3)}$$

Celkově přípustné harmonické proudy pro síť vn, vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v tabulce *(viz Tab. E-2)*. Pro harmonické s řády násobků tří platí hodnoty v tabulce *(viz Tab. E-2)* pro nejbližší řád, a to pouze, pokud se nulová složka proudů z výrobny neuzavírá do sítě. [6]

Tab. E-2 Přípustné vztažné proudy jednotlivých harmonických v sítích vn [6]

	Přípustný vztažný proud harmonických		
Řád harmonické	**$i_{\mu\upsilon př}$ [A/MVA]**		
μ,υ	**síť 10 kV**	**síť 22 kV**	**síť 35 kV**
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06	0,03	0,017
$\mu < 40$	0,06	0,03	0,017
$\mu > 40$	0,16	0,09	0,046

Příloha F Vliv výrobny na zatížení vysílače HDO

V případech je-li nutné posoudit vliv výrobny elektrické energie na zatížení vysílače HDO, vychází se z informace PDS, zatížení vysílače HDO a jeho jmenovitého proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5 % jmenovitého proudu. Výrobny připojované k síti mimo přípojnici do níž se vysílá signál HDO smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená měřením. [6]

Pro frekvence 194 - 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

- pro síť nn 150 % U_f
- pro síť vn 190 % U_f
- pro síť vvn 110 kV 200 % U_f.

kde: U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 Un.

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO výrobnami je zapotřebí uvažovat následující hlediska:

- Zdroje připojené statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondenzátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výrobny,
- Zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě. [6]

Příloha G Příklady nastavení ochran

Použité ochrany v sítích vn

Tab. G-1 Použité ochrany vn a příklady jejich nastavení [6]

Funkce	Rozsah nastavení	Příklad nastavení	Časové zpoždění	Příklad nastavení
Podpětí 1.stupeň U<	0,7 U_n až 1 U_n	90 % U_n	$t_{U<}$	0,5 s
Podpětí 2.stupeň U<<	0,7 U_n až 1 U_n	80 % U_n	$t_{U<<}$	0,1 s
Přepětí 1.stupeň U>	1 U_n až 1,2 U_n	110 % U_n	$t_{U>}$	0,5 s
Přepětí 2.stupeň U>>	1 U_n až 1,2 U_n	120 % U_n	$t_{U>>}$	0,1 s
Podfrekvence 1.stupeň f<	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	$t_{f<}$	0,5 s
Podfrekvence 2.stupeň f<<	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	$t_{f<<}$	0,1 s
Nadfrekvence f>	50 Hz až 52 Hz	50,2 Hz	$t_{f>}$	0,5 s

Po dohodě s PDS lze upustit od 2. stupně uvedených ochran.

Ochrany použité v sítích nn

Tab. G-2 Použité ochrany nn a příklady jejich nastavení [6]

Parametr	Maximální vypínací čas [s]	Maximální nastavení pro vypnutí
nadpětí	0,2	230 V +15 %
podpětí	0,2	230 V -15 %
nadfrekvence	0,2	50,5 Hz
podfrekvence	0,2	49,5 Hz

Příloha H Podmínky řízení jalového výkonu pro výrobny nad 400 kW

Výrobny s vyšším výkonem než 400 kW musí být schopny dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účiníku cos φ = 0,85 až 1 při dodávce jalového výkonu. A účiníku cos φ = 1 až 0,95 při odběru jalového výkonu. Při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru ± 5 % U_n a kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz. Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu zjistí podle tzv. „Provozních diagramů“, které musí být součástí provozně - technické dokumentace zdroje. Pokud technologie vlastní spotřeby elektrárny a zajištění napájení vlastní spotřeby neumožňuje využití výše uvedeného dovoleného rozsahu, kdy napětí vlastní spotřeby by se dostalo mimo dovolené meze, lze zvýšit regulační rozsah generátoru například použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením. Uvedený základní požadovaný regulační rozsah jalového výkonu může být změněn, zúžen nebo rozšířen. Důvodem případné změny může být například odlišná nižší nebo vyšší potřeba regulačního jalového výkonu v dané lokalitě distribuční soustavy nebo zvláštní technologické důvody, výrobny s asynchronními generátory, fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny. Taková změna předpokládá uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem výrobny a PDS. [6]

Příloha CH Katalogový list FV modulu SANYO HIT-240HDE4

HIT HD
Fotovoltaický modul

SANYO

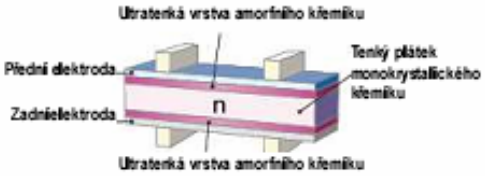
Fotovoltaický modul HIT®

HIP-240HDE4
HIP-235HDE4
NOVÝ

V prodeji od konce r. 2009!

Solární článek SANYO HIT® (Heterojunction with Intrinsic Thin layer)("Heterogenní spojení s vnitřní tenkou vrstvou") je vyroben z tenkého monokrystalického křemíkového plátku obklopeného ultratenkými vrstvami amorfního křemíku. V důsledku použití nejnovějších výrobních technologií je tento výrobek naprosto špičkový s nejvyššími vlastnostmi a parametry dosahovanými u výrobků v daném odvětví.

Konstrukce solárního článku HIT®



Na vývoji solárního článku HIT® se podílela organizace New Energy & Industrial Technology Development Organization (NEDO).

Přednosti při použití v technickém zařízení

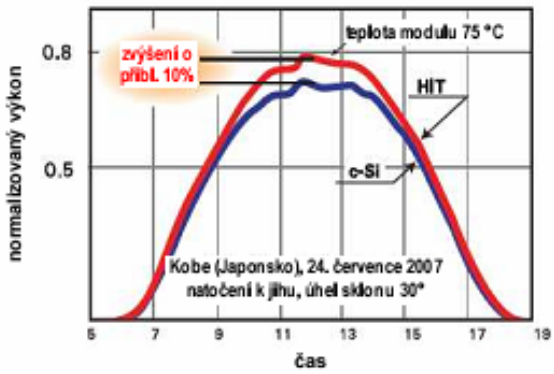
Články a moduly HIT® se při hromadném využití vyznačují vysokou účinností přeměny energie

Model	Účinnost článku	Účinnost modulu
HIP-240HDE4	20,0%	17.3%
HIP-235HDE4	19,6%	16,9%

Vysoká výkonnost při vysokých teplotách

Článek HIT® dokáže i při vysokých teplotách udržet vyšší účinnost než běžné solární články na bázi krystalického křemíku.

[Průběh výkonu během dne]



Solární článek šetrný k životnímu prostředí

Čistší energie

Článek HIT® dokáže generovat čistší energii než běžné solární články na bázi krystalického křemíku.

Modul, který využívá křemík efektivněji

Obr. CH-1 Katalogový údaj FV panelu SANYO HIT-240HDE4_1 [11]

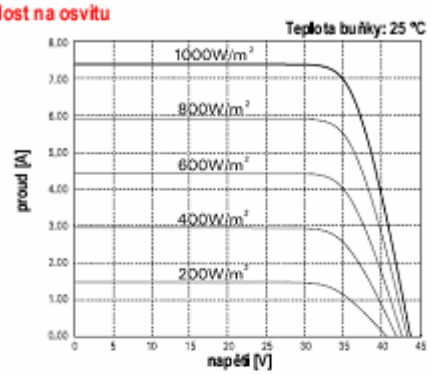
Elektrické a mechanické charakteristiky HIP-240HDE4, HIP-235HDE4

	Modely HIP-xxxHDE4	
Elektrické údaje	**240**	**235**
Maximální výkon (Pmax) [W]	240	235
Maximální provozní napětí (Vpm) [V]	35,5	35,1
Maximální provozní proud (Ipm) [A]	6,77	6,70
Napětí naprázdno (Voc) [V]	43,6	43,4
Zkratový proud (Isc) [A]	7,37	7,33
Minimální zaručený výkon (Pmin) [W]	228,0	223.3
Max. nastavení nadproud. ochr. [A]	15	
Tolerance výkonu [%]	+10 / -5	
Maximální napětí soustavy [Vss]	1000	
Teplotní koeficient pro Pmax [% / °C]	-0,30	
Teplotní koeficient pro Voc [V / °C]	-0,109	-0,109
Teplotní koeficient pro Isc [mA / °C]	2,21	2,20

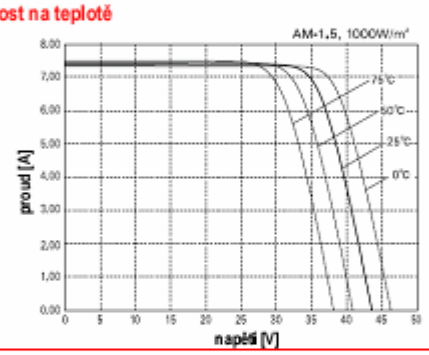
Pozn.1:standardní zkušební podmínky: hmotnost vzduchu 1,5; osvit = 1000 W/m²
eplota buňky = 25 °C
Pozn.2: uvedenéparametry jsou jmenovité hodnoty

Referenční hodnoty modelu HIP-240HDE4

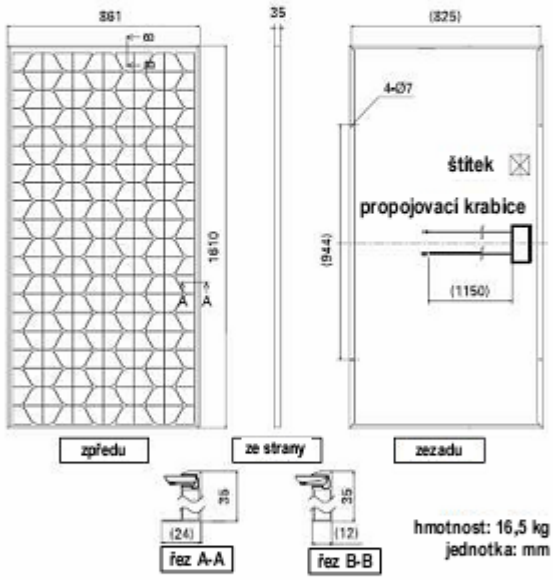
Závislost na osvitu



Závislost na teplotě



Rozměry a hmotnost



Certifikáty IEC 61730 IEC 61215

Electrical Protection Class II

O poskytnutí bližších informací požádejte obchodníka ve vašem místě.

Záruka
Za výrobek: 5 let
Za výkon: 10 let (při 90% Pmin), 20 let (při 80% Pmin)
Plné znění podmínek najdete na našich internetových stránkách

UPOZORNĚNÍ! Než začnete výrobek používat, dobře si pročtěte provozní pokyny

V důsledku naší politiky neustálého zlepšování a zdokonalování výrobků může být obsah tohoto letáku změněn bez předchozího upozornění.

SANYO Component Europe GmbH
Divize solárních aplikací

Stahlgruberring 4
81829 Mnichov, Německo
Tel.: +49-(0)89-460095-0
Fax: +49-(0)89-460095-170
http://www.sanyo-solar.eu
e-mail: info.solar@sanyo-component.com

SANYO Electric Co., Ltd.
Divize solárních aplikací
http://www.sanyo.com/solar
e-mail: homepage_solar@sanyo.com

05/09

Obr. CH-2 Katalogový údaj FV panelu SANYO HIT-240HDE4_2 [11]

Příloha I Katal. údaje Fronius IG 500 a Fronius Control String

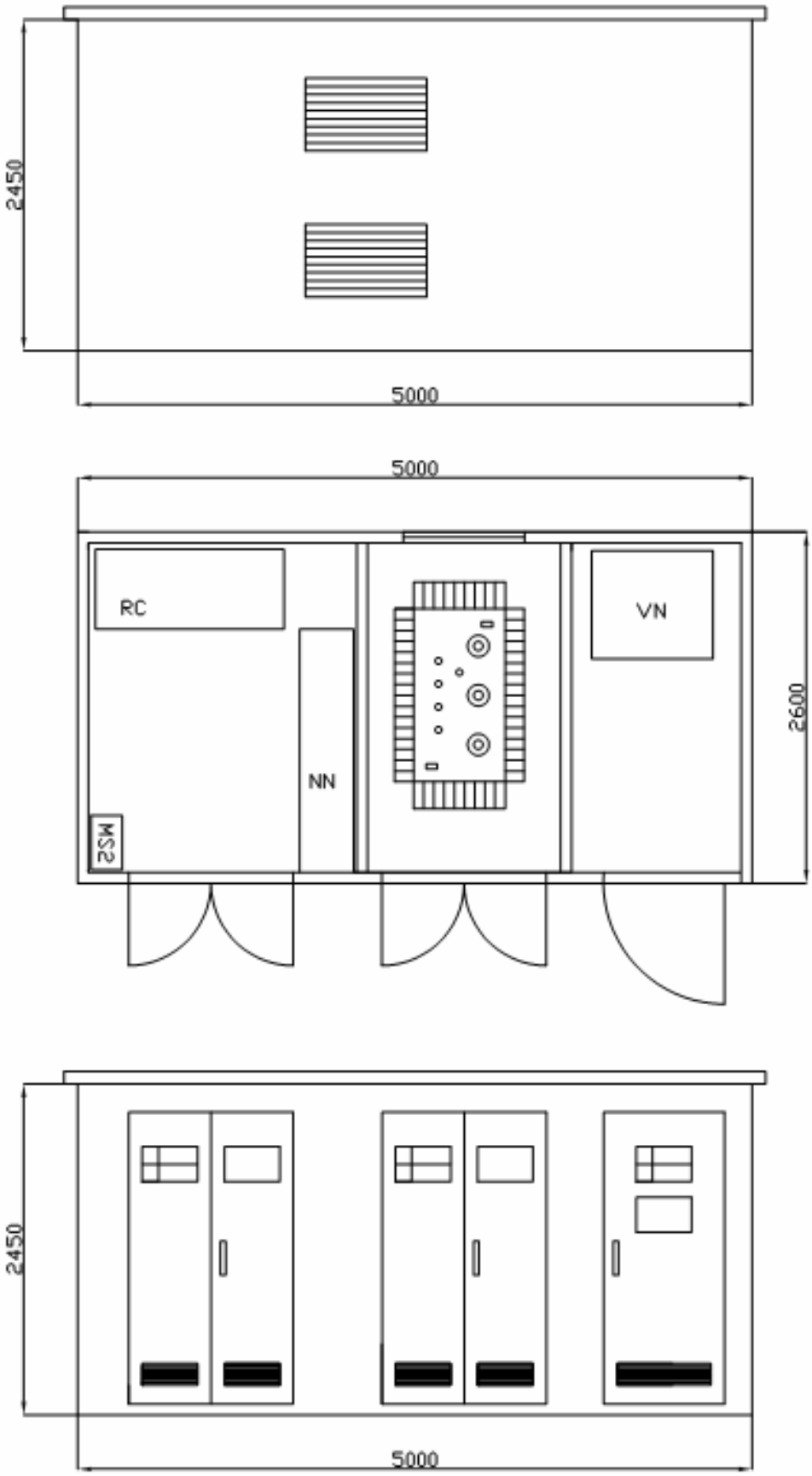
Tab. I-1 Katalogové údaje střídače Fronius IG 500 [14]

Vstupní údaje	**Fronius IG 500**
Rozsah napětí MPP	210 – 420 V
Max. vstupní napětí (při 1000 W/m^2, - 10° C)	530 V
Doporučený výkon fotovoltaického zařízení	40 – 52 kWp
Maximální vstupní proud	205A
Výstupní údaje	**Fronius IG 500**
Jmenovitý výkon	40 kW
Max. výstupní výkon	40 kW
Max. účinnost	94,3 %
Euro účinnost	93,5 %
Síťové napětí/frekvence	3NPE ~ 400 V/ 50 Hz
Činitel zkreslení	< 5%
Účiník	1
Vlastní spotřeba v noci	9W
Všeobecné údaje	**Fronius IG 500**
Rozměry (d x š x v) IP 20 s podstavcem (200 mm)	600 x 600 x 2557 mm
Rozměry (d x š x v) IP 43 s podstavcem (200 mm)	1112,5 x 600 x 2444,5 mm
Hmotnost	265 kg
Chlazení	řízeným nuceným větráním
Varianty pláště (vol.)	IP 20 (IP 43)
Rozsah okolních teplot	Od -20° C so 50° C
Přípustná vlhkost vzduchu	0 až 95 %
Bezpečnostní zařízení	**Fronius IG 500**
Měření izolace DC	varování při R_{ISO} < 500kΩ
Chování při stejnosměrném přetížení	popis pracovního bodu

Tab. I-2 Katalogové údaje kontrolního zařízení Fronius Control String [14]

Fronius Control String	
Max. počet řetězců	25
Max. vstupní proud	125 A
Max. vstupní proud/řetězec	20 A
Přípojky (DC in)	MC, Tyco
Přípojky (DC out)	kabelové oko M12
Přípojky DATCOM	2 x RJ 45
Okolní podmínky	-20° C až 40° C
Krytí	IP 45
Max. napětí	530 V
Napájení	12 V ss
Rozměry (d x š x v)	416 x 415 x 179 mm
Hmotnost	6 kg

Příloha J Kiosková trafostanice PET® STANDARD 450



Obr. L-1 Názorné osazení trafostanice PET® STANDARD 450

Příloha K FV elektrárna - výpočet proudů harmonických

Tab. K-1 Výpočet zpětných harmonických proudů

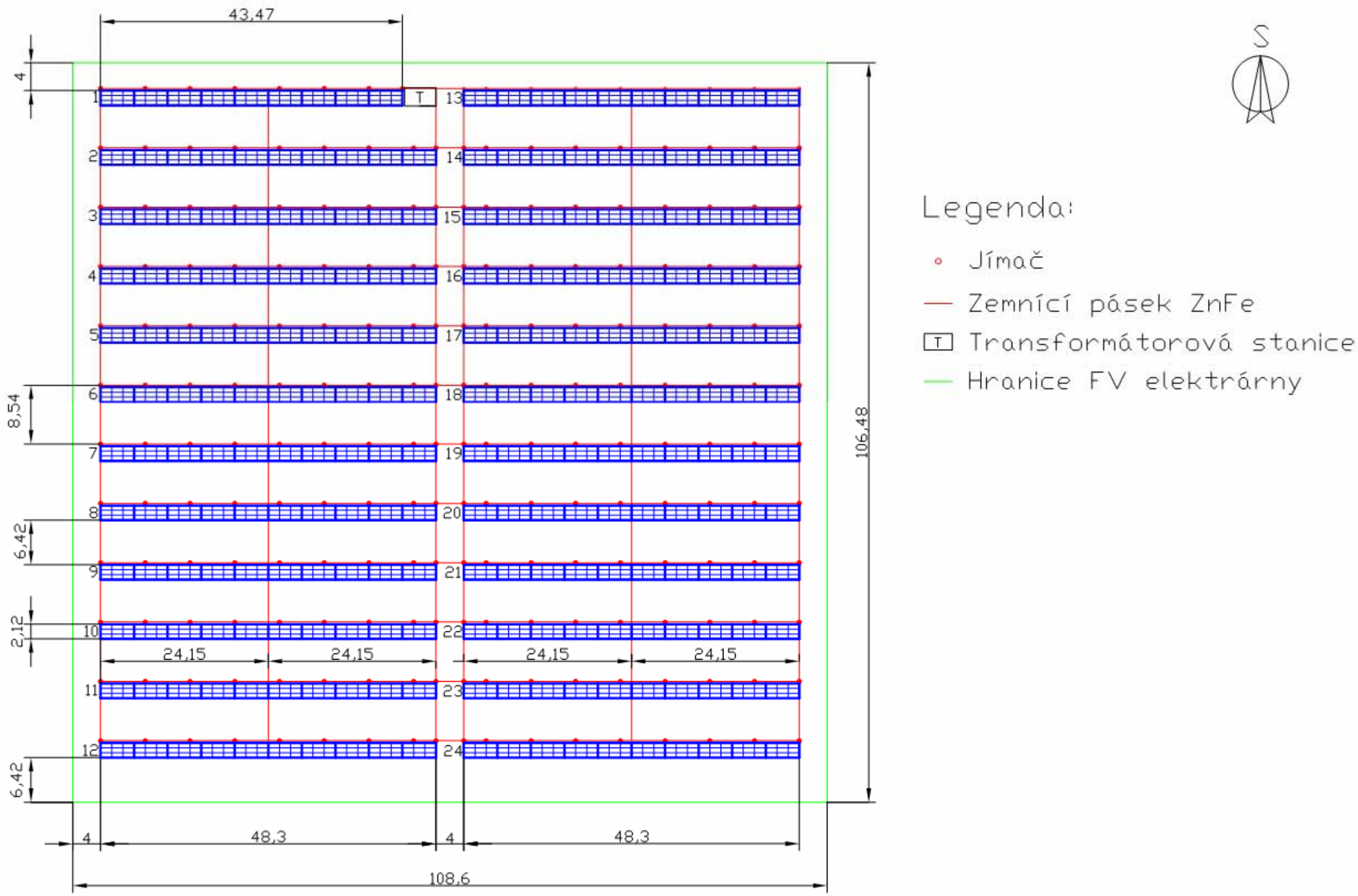
Řád harmonické	I_h/I_n [%] střídače	Příspěvek I_h od FVE [A]	$i_{\upsilon př,\ 22\ kV}$ [A/MVA]	$I_{\upsilon př}$ [A]	Poznámka
2	0,306	0,043	0,015	1,163	vyhovuje
3	2,639	0,369	0,015	1,163	vyhovuje
4	0,157	0,022	0,008	0,582	vyhovuje
5	0,476	0,067	0,058	4,499	vyhovuje
6	0,076	0,011	0,005	0,388	vyhovuje
7	0,222	0,031	0,041	3,180	vyhovuje
8	0,108	0,015	0,004	0,291	vyhovuje
9	0,11	0,015	0,004	0,291	vyhovuje
10	0,079	0,011	0,003	0,233	vyhovuje
11	0,038	0,005	0,026	2,017	vyhovuje
12	0,062	0,009	0,003	0,194	vyhovuje
13	0,024	0,003	0,019	1,474	vyhovuje
14	0,076	0,011	0,002	0,166	vyhovuje
15	0,04	0,006	0,002	0,166	vyhovuje
16	0,057	0,008	0,002	0,145	vyhovuje
17	0,046	0,006	0,011	0,853	vyhovuje
18	0,052	0,007	0,002	0,129	vyhovuje
19	0,052	0,007	0,009	0,698	vyhovuje
20	0,036	0,005	0,001	0,116	vyhovuje
21	0,05	0,007	0,001	0,116	vyhovuje
22	0,041	0,006	0,001	0,106	vyhovuje
23	0,058	0,008	0,006	0,465	vyhovuje
24	0,396	0,055	0,001	0,097	vyhovuje
25	0,062	0,009	0,005	0,388	vyhovuje
26	0,031	0,004	0,001	0,090	vyhovuje
27	0,053	0,007	0,001	0,086	vyhovuje
28	0,041	0,006	0,001	0,083	vyhovuje
29	0,062	0,009	0,001	0,080	vyhovuje
30	0,024	0,003	0,001	0,078	vyhovuje
31	0,071	0,010	0,001	0,075	vyhovuje
32	0,033	0,005	0,001	0,073	vyhovuje
33	0,06	0,008	0,001	0,070	vyhovuje
34	0,036	0,005	0,001	0,068	vyhovuje
35	0,074	0,010	0,001	0,067	vyhovuje
36	0,024	0,003	0,001	0,065	vyhovuje
37	0,079	0,011	0,001	0,063	vyhovuje
38	0,031	0,004	0,001	0,061	vyhovuje
39	0,079	0,011	0,001	0,060	vyhovuje
40	0,029	0,004	0,001	0,054	vyhovuje

Kde vypočtené hodnoty v prvním řádku tabulky *(viz (Tab. K-1)* jsou:

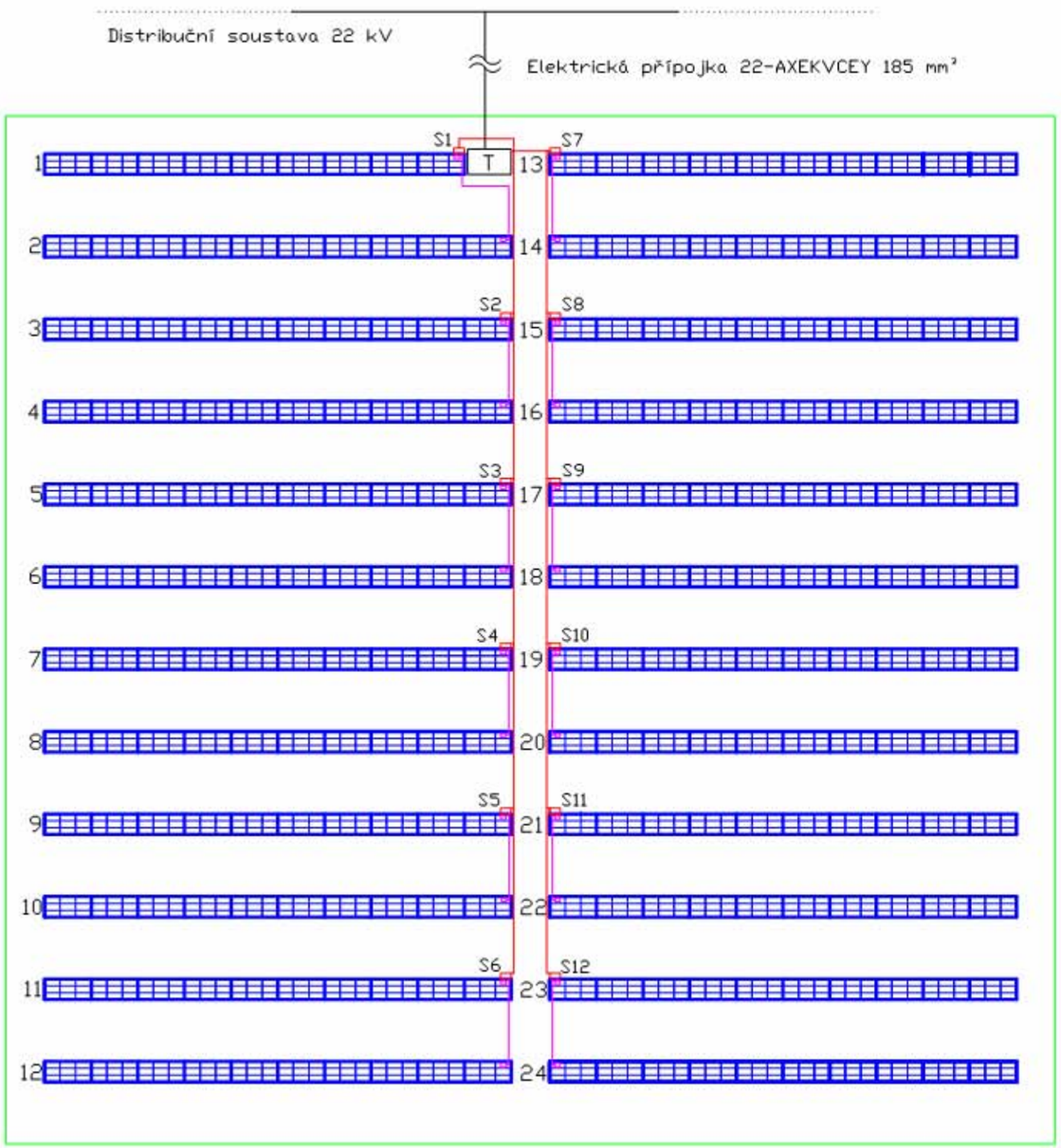
Proud 1. harmonické FV elektrárny na straně vn: $I_h = \frac{I_n}{100} \cdot \frac{I_h}{I_{n\ str.}} = \frac{14}{100} \cdot 0{,}306 = \underline{\underline{0{,}043\ \ A}}$ (K1)

Přípustný proud 1. harmonické: $I_{\upsilon př} = i_{\mu\upsilon př,22\ kV} \cdot S''_{k,U6} = 0{,}015 \cdot 77{,}565 = \underline{\underline{1{,}163\ \ A}}$ (K2)

Příloha L FV elektrárna - návrh ochrany proti blesku



Příloha M FV elektrárna - schématické rozmístění elektrických komponent



Legenda:

- Střídač Fronius IG 500
- String Control
- Střídavé vedení, 25 mm², 35 mm²
- Stejnosměrné vedení 70 mm²
- T Transformátorová stanice 630 kVA
- Hranice FV elektrárny