

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE

PHOTOVOLTAIC, AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ELECTRICITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA FLOKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ POSPÍŠIL, PH.D.

BRNO 2009

Zadání

Náplní práce je zpracovat problematiku využití fotovoltaických článků pro produkci elektrické energie.

1. Představte základní princip fotovoltaických článků.
2. Uveďte základní typy fotovoltaických článků a jejich účinnosti.
3. Uveďte přehled možností pro zvyšování produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů.
4. Popište základní zapojení fotovoltaického systému v systému zásobování el. energií.
5. Proveďte návrh konkrétního fotovoltaického systému.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá procesem získávání elektrické energie ze slunečního záření. V úvodu je poukázáno na význam výroby energie z obnovitelných zdrojů a na tendence ve vývoji fotovoltaických systémů.

Vlastní práce sestává ze sedmi částí. Nejdřívě je popsán princip přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Následuje popis jednotlivých typů fotovoltaických článků. Tyto jsou rozděleny podle struktury a podle materiálu, který byl použit při jejich výrobě. Ve třetí části je zahrnuta výroba solárních článků a konstrukce solárních panelů. Čtvrtá část se zaměřuje na způsoby, kterými lze zvýšit výrobu elektrické energie. Jsou zde zmíněny výhody a nevýhody koncentrátorů slunečního záření. Popis základních prvků, ze kterých se skládá fotovoltaický systém, je v páté části. Především jsou zde uvedeny dva základní druhy zapojení fotovoltaického systému a s tím související způsoby zapojení pro různé možnosti odběru vyrobené elektrické energie. Stěžejní část bakalářské práce představuje poslední kapitola, ve které je proveden návrh konkrétního fotovoltaického systému. Pro systém sestavený z konkrétních zvolených prvků je proveden výpočet výroby elektrické energie. Důležitou součástí je také kalkulace návratnosti investice, provedená pro předpokládaný vývoj cen elektrické energie.

V závěru jsou zhodnoceny cíle, kterých mělo být v bakalářské práci dosaženo a je diskutován výsledek výpočtu návrhu fotovoltaického systému.

Abstract

The aim of this work is to provide a description and an explanation of the process of obtaining electrical energy from solar radiation. There is preliminary mentioned an importance of producing electrical energy from renewable sources and development of photovoltaic systems.

The body of the thesis is divided into seven chapters. At first, there is described the principle of transformation solar radiation into electrical energy. Then, the description of types of barrier-layer photocells follows. The types are divided according to their structure and material, which are they produced from. The third chapture is focused on production and construction of photovoltaic modules. Ways, how can be production of electricity increased, are mentioned in the fourth chapture. Advantages and disadvantages of solar concentrators are given there. In the fifth chapture there are described two basic kinds of connection of photovoltaic system. Different ways of taking-off produced electricity are related with those kinds of connection. The last chapture is the fundamental chapture of the thesis. There is given a project of concrete photovoltaic system. For this system is calculated economic return of investment included supposed increase of prices of electricity.

In conclusion the author noticed events that would be given and emphasized the outcome of concrete project of photovoltaic system.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, fotovoltaický jev, fotovoltaický článek, koncentrátor, autonomní systém, systém připojený k síti, návratnost investic.

Key words

Photovoltaic system, photovoltaic effect, barrier-layer photocell, concentrator, grid-off, grid-on, investment return.

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

FLOKOVÁ, K. *Fotovoltaické systémy, jako alternativní zdroj elektrické energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojnřho inženýrství, 2009. 37 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce byla zhotovena pouze mojí osobu bez cizí pomoci. Potřebné informace jsem zpracovala z osobních znalostí, z literatury uvedené v seznamu a z odborných konzultací.

V Brně dne:

Podpis:.....

Poděkování

Třmto děkuji doc. Ing. Jiřimu Pospřilovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení a připomřnky k mé práci a Ing. Frantiřku řtěpánovi za cenné rady z technické oblasti.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Základní princip fotovoltaických článků.....	8
2.1	Fotoemise.....	8
2.2	Fotovodivost.....	9
2.3	Fotovoltaický jev.....	9
3	Základní typy fotovoltaických článků a jejich účinnosti.....	10
3.1	Monokrystalické články.....	11
3.2	Amorfní články.....	11
3.4	Tenkovrstvé články.....	12
3.5	Fotovoltaické články z PN sloučenin.....	12
3.5.1	Galiumarsenid (GaAs).....	12
3.5.2	Diselenid mědi a india (CIS).....	13
3.6	Fotoelektrochemické (fotogalvanické) články.....	13
3.7	Vícevrstvé články.....	14
4	Výroba fotovoltaických článků a konstrukce fotovoltaických modulů.....	14
4.1	Výroba fotovoltaických článků.....	14
4.2	Konstrukce fotovoltaických modulů.....	15
5	Zvyšování produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů.....	16
5.1	Použití oboustranných fotovoltaických modulů.....	17
5.2	Koncentrátory.....	17
5.2.1	Zrcadlové koncentrátory s rovinnými zrcadly.....	18
5.2.2	Zrcadlové koncentrátory s parabolickými zrcadly.....	18
5.2.3	Fresnelovy čočky.....	19
5.3	Sledovače Slunce.....	19
6	Zapojení fotovoltaického systému.....	20
6.1	Základní komponenty fotovoltaického systému.....	20
6.1.1	Akumulátor.....	20
6.1.2	Regulátor.....	20
6.1.3	Měnič napětí.....	20
6.2	Autonomní systém(grid off).....	21
6.3	Systém spojený se sítí (grid on).....	22
6.3.1	Způsob výkupu elektrické energie.....	22
6.3.1.1	Vlastní spotřeba elektrické energie a prodej přebytků.....	23
6.3.1.2	Prodej elektrické energie do rozvodné sítě.....	24
7	Návrh fotovoltaického systému.....	24
7.1	Zhodnocení odběru elektrické energie.....	25
7.2	Technické parametry použitých zařízení.....	25
7.3	Výpočet roční výroby elektrické energie fotovoltaického systému.....	26
7.4	Dodávka vyrobené elektrické energie do rozvodné sítě.....	26
7.5	Celková roční spotřeba elektrické energie v objektu.....	29
7.6	Cenový rozpočet.....	29
7.7	Výpočet návratnosti investic.....	30
8	Závěr.....	35
9	Seznam použitých zdrojů.....	36
10	Seznam příloh.....	38

1 Úvod

Sluneční záření dopadající na vhodné materiály je schopno vyvolat pohyb elektronů. Těto skutečnosti je využíváno ve fotovoltaických systémech. Splňují požadavky, které jsou nyní stále výrazněji prosazovány. Díky využití fotovoltaického jevu je energie získávána způsobem, který přímo nezatěžuje životní prostředí a nečerpá z ubývajících přírodních zdrojů, což jsou jedny z hlavních cílů, kterých má být při výrobě energie dosaženo.

Fotovoltaická elektrárna v mnohém předčí jiné způsoby výroby energie. Mezi její klady patří, že je ekologicky čistá, nehlukná, v případě poruchy je bezpečná a plně automatická. Dalším charakteristickým rysem solárních systémů je poměrně nekomplikované pořízení. Spojením těchto předností je výsledná dobrá dostupnost pro jednotlivce formou instalace těchto systémů na střechy objektů i rodinných domů. Nevýhodou je neovlivnitelný časový průběh výroby energie daný závislostí na slunečním cyklu a na počasí.

Je ověřeno, že fotovoltaický systém s výkonem do 5 kWp, což je donedávna státem dotovaný a běžně instalovaný výkon solárních systémů umístěných na rodinných domech, ušetří ročně přibližně 1,5 tuny černého uhlí. Tímto se výrazně sníží vypouštění škodlivých emisí do ovzduší.

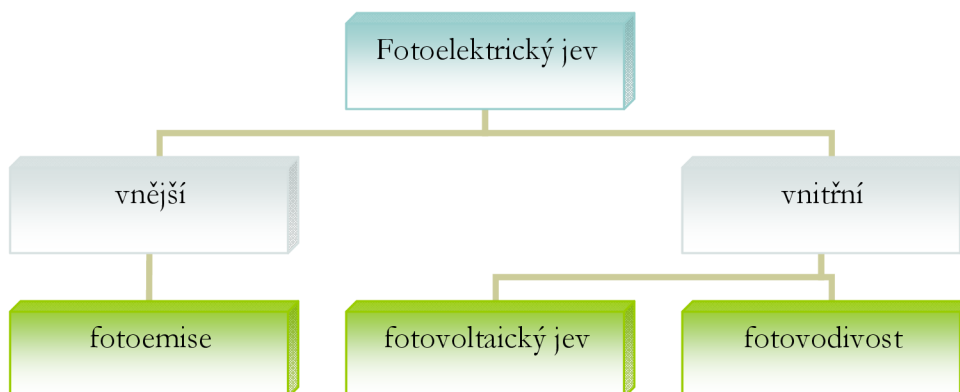
Solární moduly, ze kterých se každý fotovoltaický systém skládá, zaznamenávají velmi rychlý vývoj. Pro výrobu fotovoltaických článků jsou testovány nové sloučeniny, které by se svými vlastnostmi vyrovnaly osvědčenému křemíku.

Při současné technologické úrovni výroby s ohledem na stávající ceny elektrické energie není možná výroba a provozování fotovoltaických zařízení bez finanční podpory státu. Lze předpokládat, že s postupem vývoje a technologickým zlepšováním výroby fotovoltaických systémů bude docházet k tomu, že v budoucnu nebude nutné výrobu elektřiny dotovat.

Cílem práce bude obsáhnout teoretickou stránku procesu získávání energie pomocí fotovoltaických systémů od základních komponent tvořících fotovoltaické zařízení po celkové zapojení systému a získané poznatky ověřit na praktickém návrhu konkrétního systému.

2 Základní princip fotovoltaických článků

Fotovoltaick články fungují na principu fotoelektrického jevu, který je formou jevu fotoelektrického. Fotoelektrick jev objevil v roce 1839 Alexander Becquerel. Popsn vnějšího fotoelektrického jevu Albertem Einsteinem bylo oceněno roku 1922 Nobelovou cenou za fyziku. V roce 1954 byl vyroben prvn fotovoltaick článek v Bellových laboratořích. Nyní rozliřujeme fotoelektrick jev vnější – fotoemisi a fotoelektrick jev vnitřn – fotovodivost a jíž zmneny fotovoltaick jev. Pro lepř názornost je rozdělen provedeno schematicky:



Obr.1: Schéma rozdělen fotoelektrického jevu

2.1 Fotoemise

Při fotoemisi dochází k uvolnn emitovaných valenčních elektronů pohlcenm elektromagnetického záření. Každ záření má duln charakter – charakter vlnn a charakter časticové. Častice – fotony se v určitých podmínkách chovj jako vlny. Energií, kterou fotony nesou, popisuje vztah [2]:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

E [J]	energie
h	Planckova konstanta ($6,625 \cdot 10^{-34}$)
ν	rychlost světla ve vakuu ($3 \cdot 10^8$)
λ [m]	vlnov délka

Pokud je na povrch materiálu dodána víře popsn energie, mohou se valenční elektrony v krystalick mřížce odtrhnout. Mnořstv energie, kter je k tomuto jevu potřebn, závisí na vlnov dlce záření a na materiálu, na kter záření dopad. Ze vztahu je patrn, že s vřř frekvencí – neboli s kratř vlnovou délkou záření energie častic roste. Nejmenř energii, kterou je nutn dodat, aby mohl elektron vystoupit z povrchu materiálu, označujeme jako výstupní práci látky E_a . Tato výstupní práce závisí na hranin vlnov dlce záření λ_g : pokud je vlnov délka záření λ menř neř hranin, fotoemise se uskuteční. V ppad, že podmínka $\lambda < \lambda_g$ splněna není, fotoemise nenastává.

Mezi materiály, které mají nejmenší výstupní práci, patří alkalické kovy (cesium, draslík, sodík, lithium). Hodnota jejich výstupní práce se pohybuje okolo 2 eV. Pro ostatn materiály platí hodnota výstupní práce dvojnsobn až trojnsobn výšší, ale jejich dlouhovlnn mez se nachází v oblasti ultrafialového záření. To znamen, že při ozáření viditelnm světlem u nich k fotoemisi nedochází, a proto je nelze k vnějšímu fotoefektu využít.

činnost přeměny energie záření na energii elektronů je pouze v setinách procenta. Vnější fotoelektrick jev tedy není vhodn k veden elektrického proudu, protože elektrony emitovan z látky nemohou být k výrobě proudu využty.

2.2 Fotovodivost

Elektrony vzan v krystalick mřzce pevn látky mohou být vybuzeny do vššího energetického stavu absorbováním určitého kvanta záření. Takov elektrony se pak stanou volnými elektrony a jsou schopny zprostředkovat vodivost. Vodivost materiálu závisí na velikosti absorbovaného elektromagnetického záření. Tato podstata se využívá u solárních článků. Jde o polovodiče převžn vyroben z křemíku, proto bude v následujícím vysvtlen využít jako příklad polovodičového materiálu.

ist křemík za předpokladu, že m mlo příměsí, obsahuje mlo volných elektronů a je tedy při nízkých teplotách dobr izolant. Při výšší teplotě se křemík stává elektricky vodivm. Rostoucí teplota zpsob, že odevzdan tepeln energie zvyšuje kmitání atomů v krystalických mřzkch. V důsledku toho se uvolnj vazby v krystalu a současn s volnými elektrony po jejich odtrzení vznikj i kladn díry. Vznikl kladn díry představují kladn nosiče náboje. Energie záření se přemn na energii volných nábojů pouze v tom případě, že je její hodnota dostatečn k překonání energetického rozdílu, který představuje zakzan ps mezi valenčním a vodivostním pásem polovodiče. K usměrněnému pohybu elektronů by došlo pouze v tom případě, kdy by k materiálu z čistého křemíku byla připojena baterie – obvodem by protékal proud. Přm přeměna energie záření na elektrickou energii nenastane, protože elektron je po svém odtrzení opět přtahovn ke kladn díře a uvolnn energie se přemn na teplo. Tyto polovodiče se označují jako vlastní.

Polovodiče obohacen jinými prvky pro zlepšení fotovodivosti se nazývají přmsov a budou podrobn popsány v následující kapitole.

2.3 Fotovoltaick jev

Elektrické vlastnosti polovodiče se dějí upravit znečištnm atomy jiných prvků. Polovodiče obsahující příměsí se nazývají přmsov. Pokud je polovodič dotování cizími atomy, zmn se velice siln vsledn vodivost látky. K dotování se pouřzvaj většinou trojmocn nebo ptimocn prvky. Vodivost se u příměsových polovodičů vrazn mn pouze při nízkých teplotách, při pokojov teplotě je na teplotě nezávisl.

Nejpouřzvanjmi fotovoltaickými články jsou články na bázi křemíku. Je-li tedy pouřt jako příklad křemík Si, pak množství 10^6 jeho atomů je mořn dotovat jedním atomem příměsí. Při jíž zmnn pokojov teplotě m 1 mm^3 křemíku 10^{16} nosičů náboje. Pokud ho dotujeme příměsí, zvlší se množství nosičů náboje na 10^{18} až $10^{22} / \text{mm}^3$. Atom Si obsahuje 14 elektronů a m krystalovou strukturu plošn středn (fcc) mřzce. Všechny atomy v mřzce tvoří tetraedry (obr.1), to znamen, že kařd atom v mřzce je obklopen čtyřmi dalšími nejbliřjmi atomy.

Křemík má tedy čtyř valenční elektrony. Pokud je dotování pětimocným prvkem, např. antimonem (Sb), arzenem (As), fosforem (P), pak je v krystalick mřzce čtyřmocn prvke

nahrazen pětimocným. Počet potřebných elektronů pro vazbu v mřzce je vřak jen 4 a tyto elektrony jsou vázány kovalentn vazbou k nejbliřřm atomům Si. Pt voln elektron krouř kolem atomu antimonu (Sb), ke kterému je slab ptahovn. Protože je pt elektron vázán k atomu Sb jen malou silou, sta poměrně mal energie, aby byl od tohoto atomu odtrřen a vytvořl tak voln zporn nosič náboje tím, že přejde do vodivostního pásu. Jak jř bylo uvedeno, v prmšovm vodiči je koncentrace nosičů náboje pbliřn 10^{18} ař 10^{22} /mm³ a dále se jeřř ppotta koncentrace 10^{16} /mm³ nosičů vlastní vodivosti. Takov množství elektronů tvoří majoritn nosiče náboje. Mnořtv kladných dr vytvořených ve valenčním pásu je 1016 /mm³ a vytváří minoritn nosiče náboje. Křmk s prmř atomů pětimocného prvku dodva voln nosiče náboje do vodivostního pásu a nazva se proto donor. Obecn se takov polovodič označuje jako polovodič typu n (negativn).

Křmk s prmř trojmocného prvku se na vazbě v krystalick mřzce podl pouze tremi elektrony a potěbuje chybějící ttvrt elektron, kter může pjmout ze sousední vazby v mřzce v důsledku tepeln energie. Mezi trojmocn prvky se řídí např. indium (In), bor (B), hliník (Al) nebo galium (Ga). Dodáním chybějícího elektronu do vazby z valenčního pásu se vytvoří díra, kter se může volně pohybovat krystalem a materiál se stane vodivm. Stejn jako u polovodiče typu n se sečtou ob koncentrace (z prmř 10^{18} ař 10^{22} /mm³ nosičů a 10^{16} /mm³ dr jako nosičů s vlastní vodivit). Majoritními nosiči náboje jsou kladn díry a minoritn nosiče náboje tvoří elektrony, proto se takov vodivost označuje jako drov. Polovodiče s děrovou vodivit se označují jako polovodiče typu p (pozitivn).

Mezi polovodiči typu p a typu n nacházejícími se v tsnm kontaktu vznika hranin vrstva. Nastane stav, kdy je nktera oblast dopovana uritm typem prmř více než jina oblast a voln nosiče náboje se pemřtuj z mst s vřř koncentrací do mst s nřř koncentrací ve snaze dosáhnout rovnováhy. Díry se pemřtuj z polovodiče typu p do polovodiče typu n, zatímco pohyb elektronů probha opanm směrem. Protože se voln nosiče náboje z důvodu koncentračního rozdílu pesouvj, zstvj na původních náboje, kter jsou pevn vzane a mají opan znaménko (v polovodiči typu n vznikne kladn náboj, v polovodiči typu p zporn náboj). Vytvoří se lokln elektrick pole, kter působí proti dalřřmu unikání volných nosičů. V hranin vrstvě se elektrony z polovodiče typu p přeskupuj s drami a v hraničním psmu tedy voln nosiče náboje chyb. Proto bude mít hranin vrstva vřř hodnotu mrnho odporu. Pechodova vrstva mající velk mrn odpor se označuje jako hradlova vrstva. Dochází ke změně potenciálu a jeho spád zabránuje dalřřmu uskutenn difuze. Mezi polovodičem a kontakty (kter představují elektrody) vznikj zmnne hradlove vrstvy s rozdílnými potenciály. Pokud se ale nachází v uzavřenm elektrickm obvodu, rozdíly potenciálů dosáhnou vyrovnnch hodnot a nelze je využít jako zdroje proudu. V prpad, že na p-n přechod začne dopadat zřn, dojde k popsánému hradlovemu efektu a vznikne fotoelektrick napětí a fotoelektrick proud. Tato skutečnost se souhrn nazva fotovoltaick jev.

3 Základní typy fotovoltaických článků a jejich uinnosti

Jak jř bylo uvedeno, nejběžnřřm polovodiovm materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křmk. Tento prvek se vyskytuje v zemsk kře jako druh nejrozřřřenřř, není jedovat, jeho vlastnosti jsou vhodne pro výrobu (ma vyhovující pevnost, je snadno taviteln) a ma relativn prznivou cenu.

Navzdory dobrm vlastnostem křmku, kter ho předurčují pro hromadnou výrobu polovodičových článků, se objevují také protichdne názory. V negativních názorech je uváděno, že získávání křmku je neekologick, neboť spada do oboru třk chemie.

Uinnost fotovoltaického článku závisí na tom, jakou část spektra slunečního zřn je schopen využít, jak množství energie fotonu je přeměněno na elektrick proud a jak množství

se zmaří ve formě tepla. Šířka využitelného spektra záření je určena šířkou zakázaného pásu. V případě, že je šířka zakázaného pásu velká, existuje méně fotonů schopných přenosu elektrické energie a proto je možné využít sice menší šířku spektra záření, ale dojde ke vzniku vyššího napětí a větší hodnoty účinnosti. Pro každý typ fotovoltaických článků je známa taková šířka zakázaného pásu, kterému odpovídá maximální účinnost.

Klasické krystalické články pohlcují viditelnou část spektra a začátek intervalu vlnových délek infračerveného záření.

3.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články se vyrábí z destiček vysoce čistého monokrystalického křemíku, který má pravidelnou krystalickou mřížku. Pro tento materiál je charakteristická dobrá účinnost a vysoce stabilní výkon. Značnou nevýhodou je, že pro výrobu těchto článků je potřeba velmi čistý křemík, což se projeví náročnou výrobou a vysokou cenou. Hodnoty účinností jsou 14 – 17 %.

3.2 Polykrystalické články

Pro výrobu tohoto typu článků se používá polykrystalický křemík, který má na rozdíl od monokrystalu různě orientovaná krystalová zrna. Ačkoliv použitý materiál pro výrobu ve srovnání s monokrystalickými články pozitivně ovlivňuje cenu, účinnost polykrystalických článků je nižší, dosahuje 13 – 16 %.

3.3 Amorfni články

Křemíková vrstva má amorfni strukturu, která se vyznačuje nepravidelností a poruchami. U amorfni článků se negativně projevuje stárnutí a důsledkem je nízká účinnost pohybující se okolo 5 - 7 %. Pokud je ovšem vytvořena vícevrstvá struktura, účinnost může vzrůst až na 13 %. Nižší účinnost vyvažuje skutečnost, že spotřeba materiálu pro výrobu amorfni článků je ve srovnání v dosud uvedenými typy článků nejnižší, a tedy i jejich cena nízká.

3.4 Tenkovrstvé lánky

Tenkovrstvé články tvoří nejčastěji amorfní křemík, ale také dosud nezměněné fotovoltaické články z PN sloučenin. Materiál je nanášen ve velmi tenké vrstvě – snižuje se tedy množství spotřebovaného materiálu a zlevňuje se výroba. Z tenkovrstvých článek je vyráběn ohebn a pružn materiál, například fotovoltaické fólie.

Tenkovrstvé články představují jeden z hlavních směrů, na které vývoj fotovoltaiky zaměřuje.



Obr. 2: Ultratenká fólie z krystalického křemíku [7]

3.5 Fotovoltaické články z PN sloučenin

3.5.1 Galiumarsenid (GaAs)

Galiumarsenid se řadí mezi monokrystalické tenkovrstvé typy. lánky z této sloučeniny se vyznačují vysokou absorpcí zářn, o tloušťce v řádech několika mikronů jsou schopny pohltit téměř všechno dopadající zářn. Při výrobě se dá měnit poměr galia a arsenu a také přidávat různ dopující prvky, čímž je možné u těchto článek získat odlišn vlastnosti. Galiumarsenid má menší citlivost na vysok teploty než křemík, a proto se uplatňuje v kombinaci s koncentrátory zářn. Pokud zmníme optimální využití šířky zakázaného pásu a maximln účinnosti článku, jsou tyto články z galiumarsenidu nejvhodnější pro vesmrn družice. Současn s vysokou účinností 20 – 30 % je nutn uvést i nevýhody této sloučeniny – arsen je jedovat prvek a galium je velmi vzcn kov, což se projevuje na jeho špatn dostupnosti a vysok ceně.

3.5.2 Diselenid mědi a india (CIS)

Označení CIS je zkratka chemického vzorce $CuInSe_2$ této sloučeniny. Podobn jako arsenid galia i CIS velmi vysokou schopnost absorbovat sluneční zářn. Jako tenkovrstv typ článek dosahuje účinnosti 18 %, neboť v prvním mikrometru sv tloušťky pohltí převážnou většinu zářn.

3.6 Fotoelektrochemick (fotogalvanick) články

3.6.1 Organick fotovoltaick články

Organick články jsou označovány jako Graetzelovy fotogalvanick články na bázi oxidu titanu TiO_2 a dosahují účinnosti 7 %. Struktura článku je tvořena vrstvou vysoce porznho TiO_2 a velmi jemného TiO_2 . V jemn vrstvě oxidu titaničitho se nachází roztok elektrolytu a barvivo. Nevýhodou těchto článků je koroze elektrolytu, kter vyžaduje dokonale uzavřn prostředí a nestabiln barvivo, kter se nesmí vlivem ozařování rozkládat.

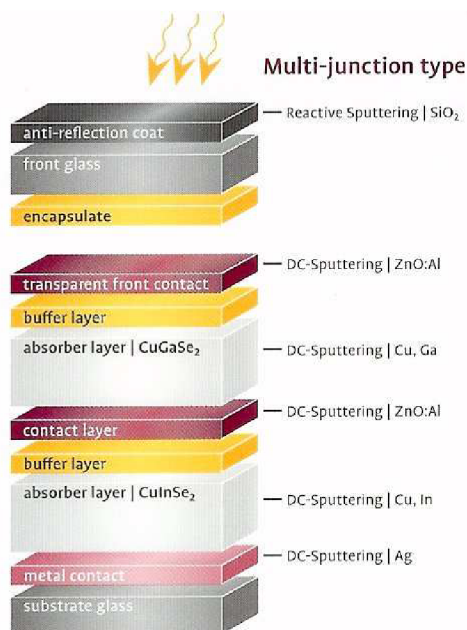
Zajímavostí je, že u tohoto typu článků je snaha využít nanostruktury, konkrtn galvanicky vytvořit msto jemného oxidu titaničitho, jehož krystaly mají rozměry řdov v desítkách nanometrů, vrstvu kovového titanu. Pomocí elektrolytick oxidace se vytvoří vrstva nanostruktury, kter se tepelnm procesem přmn na krystalickou. Zskan vrstva je pokryta elektrolytem a barvivem.

3.7 Vcevrstv články

Záměrem při vytvřn vcepřechodov struktury solárního článku je dosažen vší účinnosti, kter se u třpřechodovho článku pohybuje okolo 40 %. Struktura o více vrstvách snižuje protékající proud, ale tento negativn jev je vyvážen vysokými hodnotami napětí díky optimálnímu využití vrstev. Princip spočívá ve vhodnosti každ jednotliv vrstvy pro konkrtn spektrum zřn. U fotonů, které nesou vtši energii a tedy mají vtši vlnovou délku dochází ke zmařn části energie na teplo a jejich energie není zcela využta. Ve struktuře článku, kter se skládá z více vrstev, lze tuto energii využít. Podobn v opačnm případě fotony o krátkých vlnových délkách projdou polovodičem s jednou vrstvou (s jedním p-n přechodem) bez zachycen, na rozdíl od vícevrstvého článku, kde mohou být v jedné z vrstev zachyceny a využty. Fotony z vši energií jsou vtšinou zachyceny v první vrstvě a částice o nižši energii propust, zatímco další vrstvy jsou vyrobeny z polovodiče schopného zachytit další množství fotonů o nižši energii.

Nejvtšho mořnho využití slunečního zřn lze dosáhnout ovlivnnm šírky zakázaného pásu, tak aby byly vrstvy schopny zachytit nejvtš mořn množství fotonů. Šrka zakázaného pásu závisí na obsahu prvků sloučenn, ze kterých se fotovoltaick článek vyrábí. Jsou to například sloučeniny inda a fosforu (InP), gala a antimonu (GaSb), nebo uř zmnnho gala a arsenu (GaAs). Z těchto sloučenn jsou nadále vyvíjeny struktury z více neř již uvedených tří vrstev. Použit vzácných prvků při výrobě má za následek vysokou pořizovací cenu těchto článků, a proto je vhodn je využívat s koncentratory, díky kterm se pak plocha samotného článku při zachování stejn účinnosti může zmenšt.

Dalším materiálem pro vytvořen tvrstevnho fotovoltaického článku je amorfnní křemík. Nespornou výhodou tohoto typu článků je jejich funkčnost i p oblnn obloze nebo zastnn. Důvodem je schopnost jednotlivých vrstev pohlcovat rzn intervaly vlnových délek slunečního spektra. Vrstva prvního p-n přechodu je tvořena amorfnním křemíkem, druhou vrstvou představuje amorfnní křemík dotovan germaniem a poslední vrstva se třetím p-n přechodem obsahuje ještě výšší podl germania ne druh p-n přechod. Na rozdíl od krystalických fotovoltaických článků využívají nejen červenou, ale také zelenožlutou a modrou složku spektra.



Obr. 3: Složen vícevrstevného článku [15]

4 Výroba a konstrukce fotovoltaických článků

4.1 Výroba fotovoltaických článků

Výroba křemíku začíná metalurgickými operacemi. Surov křemík se získává z písku v obloukov peci redukcí uhlíkem.

Do obloukov pece je přidávání psek promchan s koksem. V peci je nejvšší teplota ve spodní části a v každé úrovni dochází k chemickm reakcím. Nejnže, kde teplota dosahuje až 2000 °C, je získávání roztaven křemík. Křemík zskvan v tomto stádiu dosahuje až 99 % čistoty. Zbývající 1 % nečistot představují příměsi hliníku (Al), eleza (Fe) a uhlíku (C). Aby bylo možné použit křemík jako polovod, je nezbytn podl nečistot ještě snížit. Pravdpodobn nejmenší podíl nečistot se označuje termínem ppb (partes per bilion), takov polotovár obsahuje nečistoty řdov 10⁻⁹. Uvedeného stavu lze dosáhnout převodem získávaného křemíku na kapalnou fázi a následnou destilací. Pro výrobu křemíkových polovod potřebujeme látku o čistotě ppm (partes per milion), obsahující nečistoty řdov 10⁻⁶.

Křemkov ingoty mají podobu buď tlustých tyčí (monokrystalick křemík), nebo lomových kamen (polykrystalick křemík). Polotovár je nařezání na pltky tloušťky 1 mm a lapování. V tomto stavu se nařezvan materiál ppadn dotuje trojmocnm prvkem, např. borem

(B), aby vznikl polovodič typu P. Následuje odleptání vrstvy o velikosti několika mikrometrů, které má za účel odstranit oblast znehodnocenou řezáním. Provedení dotace typu N se uskuteční vložením materiálu do křemenné trubky s plynem obsahujícím fosfor (P). Za vysokých teplot (cca 800 °C) proběhne difuze fosforu do povrchové vrstvy plátků polovodiče. Plátky jsou kladeny na sebe a stlačeny do destiček. Následuje odleptání v kyslíkové plazmě, aby byla odstraněna vrstva typu N z hran destiček, protože na hranách potřebujeme absorbující vrstvu, tedy typ P.

Na zadní stranu polovodičového článku je nanesen celoplošný kontakt z vodivého stříbra (Ag) obohaceného malým množstvím hliníku (Al). K nanášení se používá buď sítotisk nebo vakuové technologie. Druhý tisk na malých plochách slouží k propojení jednotlivých článků v modul.

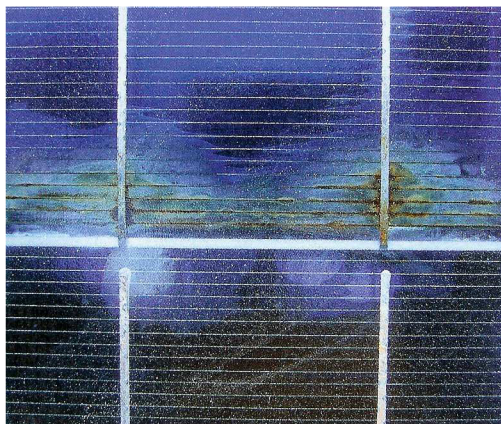
Spékáním přilne vodivá pasta ke křemíkovému článku. Hliník proniká z vodivé pasty do křemíkové destičky a mění pásmo typu N na žádoucí pásmo typu P. Následně je kontaktem potištěna přední strana, která má tvar hřebínku nebo mřížky, aby zakrývala co nejmenší plochu článku a plocha absorbující dopadající záření byla co největší. Dopředu je nanesena antireflexní vrstva, která zvyšuje absorpci záření a minimalizuje jeho odraz, proto se články mající nejvyšší účinnost jeví jako černé.

4.2 Konstrukce fotovoltaických modulů

Fotovoltaický článek je velmi pevný a křehký. Jeden solární článek produkuje výkon pouze 1,2 – 1,4 W při napětí 50 mV. Aby mohl být využit k výrobě elektrické energie, je nezbytné jednotlivé články navzájem propojit a zabezpečit obalem. Vzájemným spojením fotovoltaických článků vzniká fotovoltaický panel neboli modul. Fotovoltaické články stejných vlastností lze propojit:

- a) sériově – výstupní napětí se sčítá a výstupní proud je konstantní,
- b) paralelně – výstupní napětí zůstává konstantní a výstupní proud se sčítá
- c) sériovoparalelně – tato kombinace se používá pro vytvoření fotovoltaického modulu vhodným propojením pro získání požadovaných napětí a výkonů.

Mezi požadavky kladené na fotovoltaické moduly patří nutnost zabránit pronikání vlhkosti k samotnému p-n přechodu. Další nezbytnou funkcí je ochrana před negativními vlivy prostředí, kterému jsou vystaveny, jako jsou nečistoty nebo koroze a také mechanické poškození.



Obr. 4: Přední strana FV panelu - koroze na vodivých kontaktech [7]

Fotovoltaické panely z monokrystalických a polykrystalických solárních článků jsou umístěny v pevném duralovém rámu. Povrch fotovoltaického modulu je ze spodní strany chráněn fólií z fluoropolymeru. Tento materiál zajišťuje ochranu před vlhkostí a UV zářením. Vrchní strana modulu je zakryta sklem o vysoké pevnosti. Pro zvýšení účinnosti modulu se používá sklo dotované železem, protože takto upravené sklo lépe propouští červenou složku spektra a vlnové délky blízké infračervené oblasti spektra. Aby byly omezeny ztráty, které vznikají odrazem světla, nanáší se na horní stranu ještě antireflexní vrstva. Jak již bylo uvedeno, důležitým požadavkem je dokonalé utěsnění solárního modulu. To je prováděno laminováním fólií EVA (etylenvinyl acetátový kopolymer).



Obr. 5: Fotovoltaické moduly instalované v Brněnci u Svitav [16]

Fotovoltaické články 2. generace, tedy třívrstvé články z amorfního křemíku mají spodní stranu tvořenou pružnou ocelovou fólií a izolační EVA fólií. Jednotlivé vrstvy jsou nanášeny přímo na ocelovou fólii. Na povrchu je nanášen průhledný oxidový film s vlákny z ušlechtilé oceli, které tvoří mřížku.

5 Zvyšování produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů

Navýšit objem vyrobené energie fotovoltaickými panely lze jak úpravami samotných panelů, tak způsobem jejich instalace.

Ve způsobu výroby bylo již zmíněno použití antireflexní vrstvy pro zmenšení odrazu záření a použití hřebenového kontaktu, aby byla eliminována plocha zakrývající samotný modul. Další možností je použití oboustranných fotovoltaických modulů, o kterých bude zmíněno podrobněji.

Při instalaci fotovoltaických panelů je možné je doplnit koncentrátory slunečního záření a natáčecími zařízeními. Samostatné použití koncentrátoru má negativní aspekty, které mohou být natáčením panelů sníženy. Koncentrátor omezuje úhel, ze kterého je pohlcováno záření a snižuje možnost zachycovat difuzní záření při oblačné obloze. Proto je s výhodou doplňován sledovačem Slunce, který zajišťuje optimální natáčení fotovoltaických modulů za Sluncem.

5.1 Použití oboustranných fotovoltaických modulů

Oboustranné (bilaterální) fotovoltaické panely jsou průhledné pro infračervené záření a proto se méně zahřívají. Zadní strana oboustranných panelů není tvořena plochou, ale hřebínkem nebo mřížkou a nachází se zde transparentní fólie. Na oboustranný panel mohou tedy fotony dopadat z obou stran. Druhou stranou dopadu se rozumí odraz například ze země. Vyšší účinnost oboustranných panelů závisí na odrazivosti materiálu, na kterém jsou panely umístěny. Je vhodné použít křemenný písek nebo beton. Účinnost na zadní straně je nižší, protože fotony o kratších vlnových délkách jsou pohlceny dříve, než dorazí k p-n přechodu. Rozdíl vyšší ceny těchto panelů je proti ceně panelů jednostranných zanedbatelná.

5.2 Koncentrátory

Koncentrátory slouží k soustředění slunečního záření na povrch fotovoltaických modulů, čímž zvyšují účinnost systému. Použitím koncentrátorů se zmenší interval hodnot úhlu, ze kterého jsou schopny zachytit sluneční záření. Platí, že s rostoucí hodnotou koncentrace se snižuje hodnota úhlu, ze kterého je záření odebíráno. Koeficient koncentrace udává, kolikrát je intenzita slunečního záření v daném místě vyšší než hodnota intenzity záření dopadajícího na povrch koncentrátoru.

Obecně lze použít vztah [2]:

$$\theta_c = 1 / C \quad (2)$$

θ_c [°] poloviční hodnota úhlu, ze kterého je zachyceno záření
 C [-] koncentrace

5.2.1 Zrcadlové koncentrátory s rovinným zrcadlem

Vhodnost použití rovinných zrcadel, které jsou nenáročné na výrobu, snižuje jejich nízká schopnost koncentrace. Proto se použití rovinného zrcadla kombinuje s oboustrannými fotovoltaickými panely nebo s natáčecím zařízením.

O natáčecích zařízeních bude zmíněno samostatně v další kapitole.



Obr. 6: Sluneční koncentrátor s rovinnými zrcadly [17]

5.2.2 Zrcadlové koncentrátořy s parabolickým zrcadlem

Parabolické zrcadlo podstatně zvyšuje koncentraci zářeni, ale tento jev je doprovázen zahříváním solárních panelů, což se negativně projevuje na jejich výkonu. Z toho důvodu se současně s parabolickým zrcadlem používá systém chlazení. Zajímavým příkladem je k chlazení využít vodu a získanou ohřátou vodu dále použít. Vedle nutnosti chlazení je potřeba také natáčet parabolické zrcadlo v závislosti na pohybu Slunce.

5.2.3 Fresnelovy čočky

Fresnelova čočka sestává z hranolů o různých úhlech lomu. Touto úpravou vzniká schopnost soustředit odražené paprsky do jedné oblasti. Protože hranoly vytvořené na čočce netvořící souvislou plochu, může mít každý úhel vytvořený hranolem odlišný sklon. Tvar čoček je plochý, proto jsou s výhodami využívány jako tzv. mikrokoncentrátořy v aplikacích, které vyžadují málo objemné a tenké čočky.

Pomocí Fresnelovy čočky lze dopadající zářeni zobrazovat buď do pásu určité šířky, nebo do ostrůvku.



Obr. 7: Fresnelova čočka samostatně [145]



Obr. 8: Koncentrátoř s Fresnelovými čočkami [15]

5.3 Sledovače Slunce

Sledovače Slunce sestávají z nosných pohyblivých ramen, na kterých jsou uchyceny fotovoltaické panely. Lze použít natáčení buď kolem jedné osy, využívané u malých fotovoltaických systémů, nebo natáčení podle dvou os u velkých fotovoltaických zařízení.

U malých FV systémů je nutné provést ručně nastavení výšky Slunce nad obzorem a toto provést několikrát ročně. Pomocí čidel, která zaznamenávají vyváženost dopadajícího záření, systém mění svoji polohu ve snaze dosáhnout rovnováhy ozáření čidel.

U velkých FV systémů je natáčení panelů řízeno počítačem, který průběžně vyhodnocuje polohu Slunce.



Obr. 9: Dvouosé natáčecí zařízení instalované v Richmondu, USA. Mezi technickými parametry je uváděno až 40 % zvýšení produkce elektrické energie a schopnost odolávat nárazům větru o rychlosti 177 km/h. [4]

6 Zapojení fotovoltaického systému

6.1 Základní komponenty fotovoltaického systému

Fotovoltaické zařízení se kromě solárních panelů skládá z dalších součástí nezbytných pro jeho správnou funkci. V následujících odstavcích bude přiblížen význam regulátorů, měničů a akumulátorů.

6.1.1 Akumulátor

Akumulátor slouží k uchování získané elektrické energie a jejímu vydávání, pokud je jí nedostatek. Akumulátor má být schopen přijímat elektrický proud s minimálními ztrátami při daném napětí. Jako přístroj, který je vystaven opakovanému nabíjení a vybíjení, musí vydržet co nejvyšší počet nabíjecích cyklů. Jeho životnost je z hlediska cyklického provozu dána tím, jak velká hodnota akumulované energie je mu při vybití odebrána. Čím méně je přístroj vybit před dalším nabitím, tím je jeho životnost vyšší. Dalším požadavkem je nenáročný udržování bezproblémového chodu a kvalitní zabezpečení proti znečištění nebo zkratování.

6.1.2 Regulátor

Hlavn funkce regulátoru je ochrana akumulátoru před nadmrnm nabitm nebo vybitm. Regulace proudu se může provádět tremi způsoby:

a) sriov regulace – v obvodu je použit tranzistor, spínač nebo nastaviteln odpor. Tyto regulační prvky odebírají z akumulátoru konstantní napájecí napětí a tedy zajištuj konstantní napětí v obvodu. Je nutn uvést, že na tranzistoru vzniká ubytek napětí a tento jev se negativn odrz na parametrech fotovoltaického systému.

b) paraleln regulace – spínací tranzistor tvor s fotovoltaickm panelem paraleln zapojení. V okamžiku, kdy je zjištěna pliš velk hodnota napětí na akumulátoru, se spínací tranzistor otevre a zkratuje fotovoltaick panel. Důsledkem je přeměna energie na teplo. Tento princip regulace je vhodn pouze systémy s malými výkony. Vhodn je, že tranzistor v rozepnutm stavu nezatěžuje st a nesptřebovv žádn proud.

c) spínací regulátor – sestává s elektronického snímače a mnie stejnosměrného napětí. Neustále snm proud a napětí a vyhodnocuje aktuln výkon. Na zklad získaných informací zarzen regulátor provádí potebn zásahy, aby byl výkon solárního systému maximln využit. Lze uvést, že použitm spínacího regulátoru je zamezeno nevýhodám, které prnš paraleln a sriov regulace.

6.1.3 Mni napětí

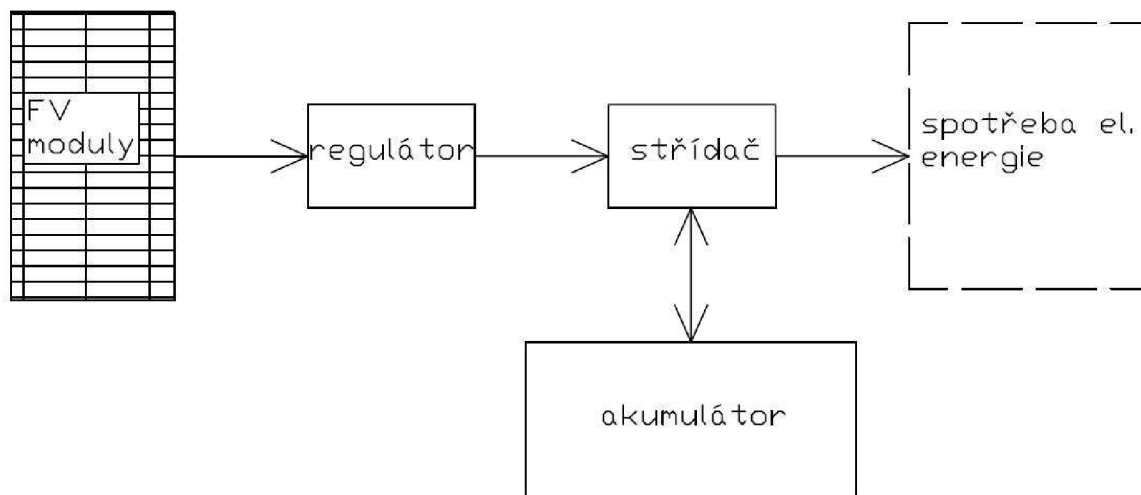
Mni neboli střida napětí mn stejnosmrn proud zskan ze solrnchlnk na střidav proud o hodnotách 230V / 50 Hz (jednofzov střida) nebo 400V / 50 Hz (trojfzov střida) prvdn do st a dále ke spotřebim, které pracují pouze se střidavm proudem. Podle tvaru napětí, které je získáváno na výstupu mnie, se rozlišují mnie s obdlnkovm tvarem napětí – pro spotřebie v domácnostech, střidav motory nebo pumpy a mnie řízení frekvencí nebo krystalem, které jsou vhodn pro napájení zesilovačů nebo měřicích přístroj. Sřidae mohou být buď trojfzov, obvykle použitvn pro větší solární elektrárny na zelených loukách, nebo jednofzov, tyto se použitvaj u malých solárních systémů.

6.2 Autonomní systém (grid-off)

Autonomní systém není zapojen do rozvodné sítě a bývá proto označování také jako ostrovní. Autonomní systém poskytuje energii mal oblasti nebo samostatnému spotřebi. Energie uren ke spotřeb je omezena množstvím, které je fotovoltaick systém schopen vyrobit. Systém se skládá se z fotovoltaických modulů, akumulátoru, regulátoru a spotřebie, přpadn je doplnn mniem proudu. Akumulátor slouží k uchovávání elektrické energie, která je nsledn využití p nedostatku slunečního záření, když energie nemůže být vyráběna. Regulátor slouží k řízení sprvnho nabíjení a vybíjení akumulátoru. Př realizaci autonomního systému je dležit v návrhu neopomenout hodnotu intenzity slunečního záření v oblasti, kde bude systém umístěn, spotřebu všech zarzen, která budou vyrobenou energii využitvat a celkovou uinnost fotovoltaického systému.

Ostrovní systémy nachází v Evropě využití na mstech, kde se nelze připojit k rozvodné síti. Jedná se o zajištění přivodu elektřiny napřklad do elektronických ukazatel na dlnicch a silnicích, horských chat nebo měřicích přístroj meteorologických stanic. Na trh se dostávají mal fotovoltaick panely použitvn pro dobíjení digitálních fotoaparátů, kamer nebo mobilních

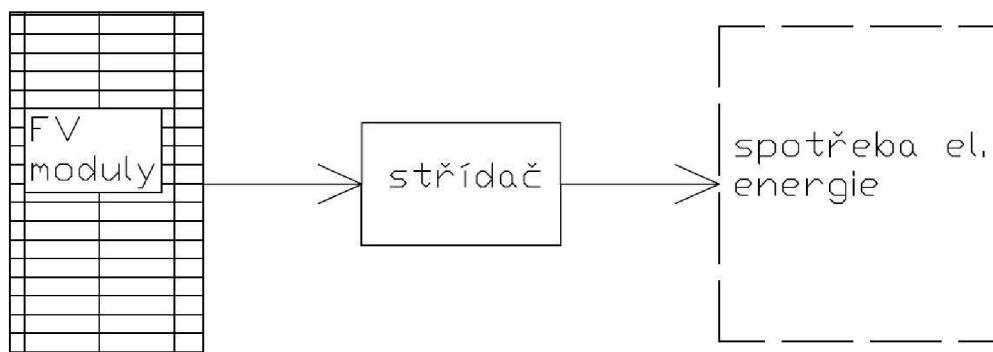
telefonů. V rozvojových zemích, v oblastech s vysokou intenzitou slunečního záření, jsou autonomní fotovoltaické systémy často využívány pro napájení pohonů vodních čerpadel, pro chod chladících zařízení nebo pro zajištění osvětlení. Z hlediska napájení vodních čerpadel je volba autonomního systému výhodná také v tom, že zapojení lze realizovat bez akumulátorů a měničů, což snižuje pořizovací cenu zařízení.



Obr.10: Schéma zapojení autonomního systému

6.3 Systém spojený se sítí (grid-on)

Síťové systémy jsou připojeny k rozvodné síti a z toho důvodu nepotřebují akumulátor. V případě, že je jejich výkon vysoký, je přebytek vyrobené elektrické energie dodáván do veřejné rozvodné sítě. Pokud je výkon systému malý, je nedostatek potřebné energie vykompenzován odběrem energie z rozvodné sítě. Protože solární články produkují stejnosměrný proud o malé hodnotě napětí, je nutné použít v systému měnič. Při návrhu měniče je nezbytné, aby pracoval v rozsahu takových hodnot napětí, jaké mají fotovoltaické panely použité v zapojení. Měnič musí pracovat ve fázi s rozvodnou sítí a musí u něj být z hlediska bezpečnosti zajištěno odpojení od sítě v okamžiku, kdy v síti dojde k poklesu napětí. V systémech s vysokým napětím, které doplňují elektrárny, se používají transformátory, výkonové spínače pro vypnutí přívodu elektrické energie v případě nebezpečí a další ochranné prvky.



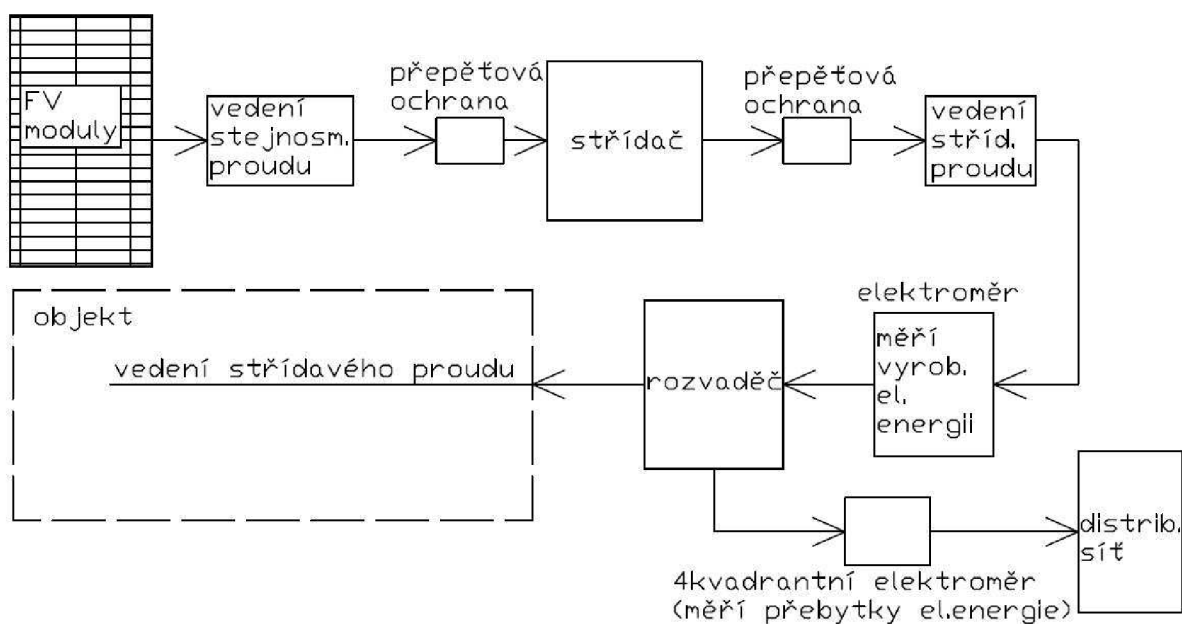
Obr.11: Schéma zapojení systému napojeného přímo na síť s nízkonapěťovým měničem

6.3.1 Způsob výkupu elektrické energie dodávané do veřejné rozvodné sítě

V současné době existují v České republice dva způsoby prodeje vyrobené elektrické energie. První možností je vlastní spotřeba energie a prodej nespotřebovaných přebytků, tzv. zelený bonus. Druhým způsobem je výroba elektřiny pro výkup. Výkupní ceny vyrobené elektrické energie jsou dle zákona garantovány po dobu 20 let, což je doba předpokládané minimální životnosti fotovoltaických systémů.

6.3.1.1 Vlastní spotřeba elektrické energie a prodej přebytků

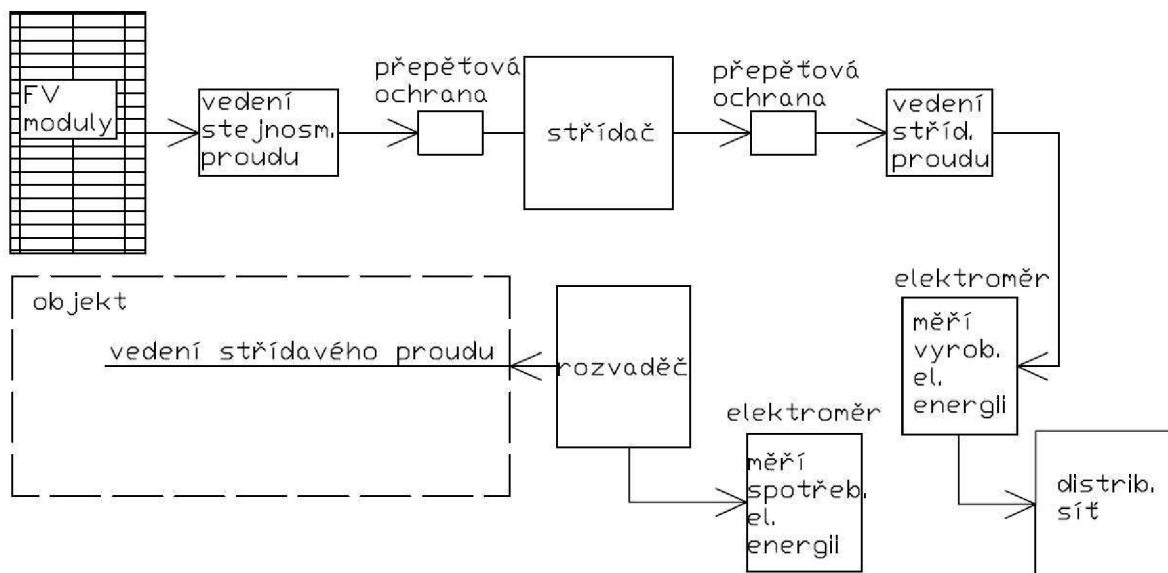
Fotovoltaický systém sestává z FV panelů, napěťového střídače a elektroměru určeného pro měření vyrobené energie. Dále je provedeno připojení do rozvaděče elektrické energie. Fotovoltaický systém je připojen za hlavní elektroměr tak, že vyrobená energie je dodávána spotřebičům nacházejícím se v objektu. V případě přebytku energie je tato dodávána do sítě. Energie je měřena tzv. čtyřkvadrantním elektroměrem, který měří průtok elektrické energie oběma směry, z objektu do rozvodné sítě i naopak. V případě nadměrné výroby energie měří elektroměr její přebytek jako prodej.



Obr.12: Schéma zapojení při vlastní spotřebě vyrobené elektřiny a prodeji přebytků do distribuční sítě

6.3.1.2 Prodej elektrické energie do rozvodné sítě

Fotovoltaický systém tvoří FV panely, napěťový střídač a elektroměr, který slouží k měření energie vyrobené systémem. Systém je zapojen před hlavní elektroměr v objektu, tedy dodává veškerou vyrobenou elektrickou energii do distribuční sítě.



Obr.13: Schéma zapojení pro přímý prodej vyrobené elektriny do distribuční sítě

7 Návrh fotovoltaického systému

Lokalita navrhované instalace fotovoltaického systému je na adrese V Potůčkách 5, 679 61 Letovice.

Fotovoltaický systém bude orientován vzhledem k poloze střechy na jiho jihozápad. Pro požadovaný celkový výkon 4860 Wp bude použito 27 fotovoltaických panelů o výkonu 180 Wp.

Fotovoltaické panely o celkovém množství 27 kusů budou rozmístěny ve dvou řadách (14 ks + 13 ks) na hliníkových nosných profilech.

Výkon fotovoltaických panelů bude transformován jedním střídačem ze stejnosměrného napětí na jednofázové střídavé napětí AC 230 V / 50 Hz. Střídač bude vybaven bezpečnostní ochranou, která v případě zjištění odchylek napětí nebo frekvence od normovaných hodnot odpojí solární systém od sítě.

Měření vyrobené elektrické energie bude realizováno jednofázovým elektroměrem. Tento bude umístěn v rozvaděči na fasádě budovy.

Celkem 27 kusů fotovoltaických panelů bude propojeno ve třech větvích. V jedné sérii bude spojeno vždy 9 fotovoltaických panelů. Kladný a záporný pól systému bude veden v ocelových trubkách po střeše k nepoužívanému komínu a následovně komínem k rozvaděči uvnitř domu.

V místě napojení fotovoltaického systému do rozvodné sítě budou instalovány pojistky pro ruční odpojení systému od sítě.

7.1 Zhodnocení odběru elektrické energie

V objektu je sjednána sazba distribuce D 35 d typ společnosti E.ON. Výpočet je proveden dle hodnot sazeb produktu Elektřina Kombi (dvoutarifový), pro který jsou ceny nízkého (NT) a vysokého tarifu (VT) následující [10]:

VT	3,55 Kč/kWh včetně DPH
NT	2,45 Kč/kWh včetně DPH

Množství elektrické energie spotřebované v objektu a její cena (tab.1):

Období	VT kWh/rok	NT kWh/rok	Celkem kWh/rok	Kč/rok
25.3.2008 – 23.3.2009	1627,3	2887,7	4 515	12 852

Tab. 1 – Spotřebovaná elektrická energie

7.2 Technické parametry použitých zařízení

Technické parametry jsou uváděny při těchto podmínkách: ozáření 1000 W/m², teplota fotovoltaického zařízení 25°C.

Střídač	Typ FRONIUS IG 40
Vstupní napětí	140 – 400 V
Rozsah generátoru	3 500 – 5 500 W _p
Výstupní napětí	230 V
Přípustná frekvence sítě	50 Hz
Jmenovitý výstupní výkon	3 500 W
Maximální výstupní výkon	4 800 W
Maximální účinnost střídače	94,3 %
Rozsah pracovních teplot	-20 až + 50 °C

Tab.2 – Vybrané technické parametry použitého střídače [8]

Fotovoltaické panely	Typ KYOCERA 180GH-2P
Jmenovitý výkon	180 W
Napětí při jmen. výkonu	23,6 V
Proud při jmen. výkonu	7,63 A
Napětí naprázdno	29,5 V
Zkratový proud	8,35 A

Tab.3 – Vybrané technické parametry použitých fotovoltaických panelů [9]

7.3 Dodávka vyroben elektrické energie z rozvade do sítě

Maximální hodnota výstupního výkonu (vst protkan střidavm proudem) je rovna hodnot instalovaného výkonu (vst protkan stejnosmrnm proudem).

$$P_p = 4860 \text{ Wp}$$

$$P_{\max} = 4860 \text{ W}$$

Jmenovt výstupní výkon střidavho proudu je zvisl na uinnosti střidae. Z technických parametrů je známa uinnost střidae 94,3 % [8].

$$\eta_s = 94,3 \%$$

$$P_{\text{nom}} = \eta_s \cdot P_p$$

$$P_{\text{nom}} = 0,943 \cdot 4860$$

$$P_{\text{nom}} = 4582 \text{ W}$$

Instalovan výkon	$P_p = 4\ 860 \text{ Wp}$
Jmenovt výstupní výkon	$P_{\text{nom}} = 4\ 582 \text{ W}$
Maximální výstupní výkon	$P_{\max} = 4\ 860 \text{ W}$

Tab.4 – Hodnoty výkonu instalovaného FV systému

7.4 Výpočet ron výroby elektrické energie fotovoltaického systému

Pro výpočet ron výroby elektrické energie byl použit vpoetn nástroj PVGIS PV Estimation Utility [18]. Vešker ztráty byly ponechány na hodnotách navržených výpočetním systémem.

GPS souřadnice lokality	49°32'15'' N , 16°34'54'' E
Špikov výkon systému	4,86 kWp
Ztráty systému	16 %
Ztráty vlivem teploty	6,6 %
Ztráty vlivem odrazu	3,0 %
Sklon FV panelů	35 °
Orientace FV panelů	15 °

Tab.5 – Vstupní parametry [18]

Hodnoty ozáření v lokalitě, kde bude návrh realizován a optimální sklon FV panelů:

Ron ozáření [kWh/m ²]			
	horizontální směr	vertikální směr	optimum
minimum	1043	798	1177
průměr	1080	828	1221
maximum	1118	865	1268

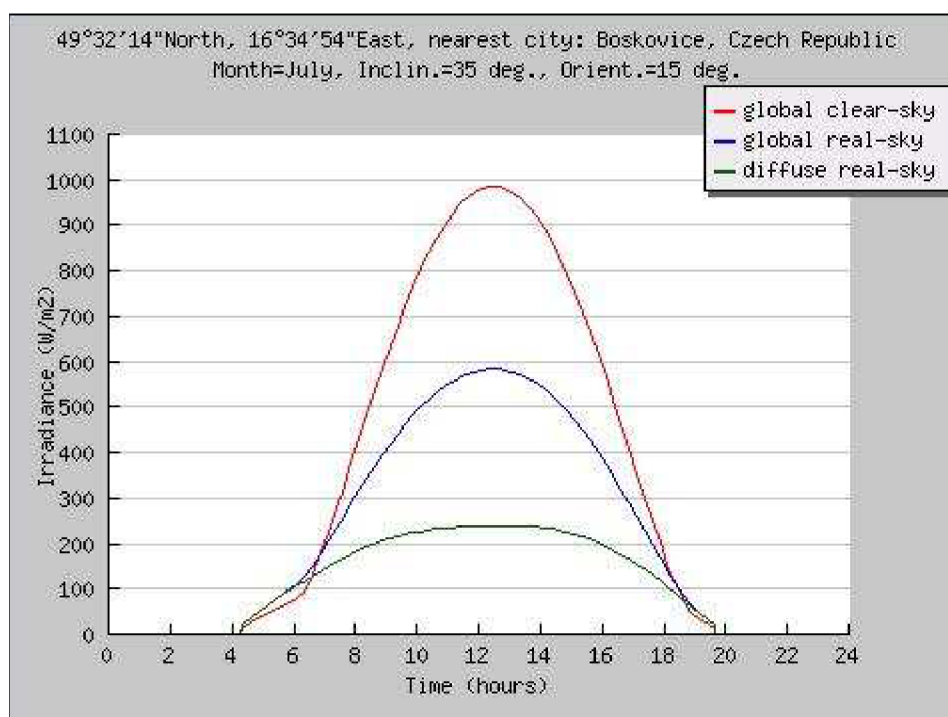
Tab.6 – Ron ozáření [18]

Optimální úhel sklonu FV panelů	
	úhel [°]
minimum	33
průměr	34
maximum	35

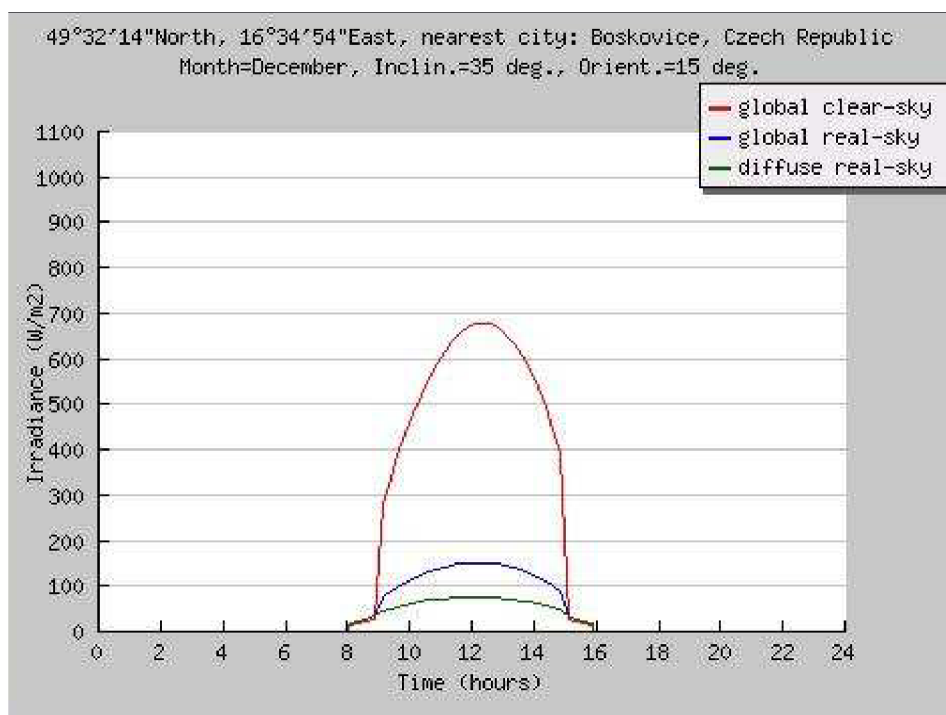
Tab.7 – Optimální sklon FV panelů [18]

Pro danou lokalitu je optimální úhel sklonu fotovoltaických panelů 34 °, ale vstupním parametrem výpočtu je skutečný úhel sklonu střechy 35°.

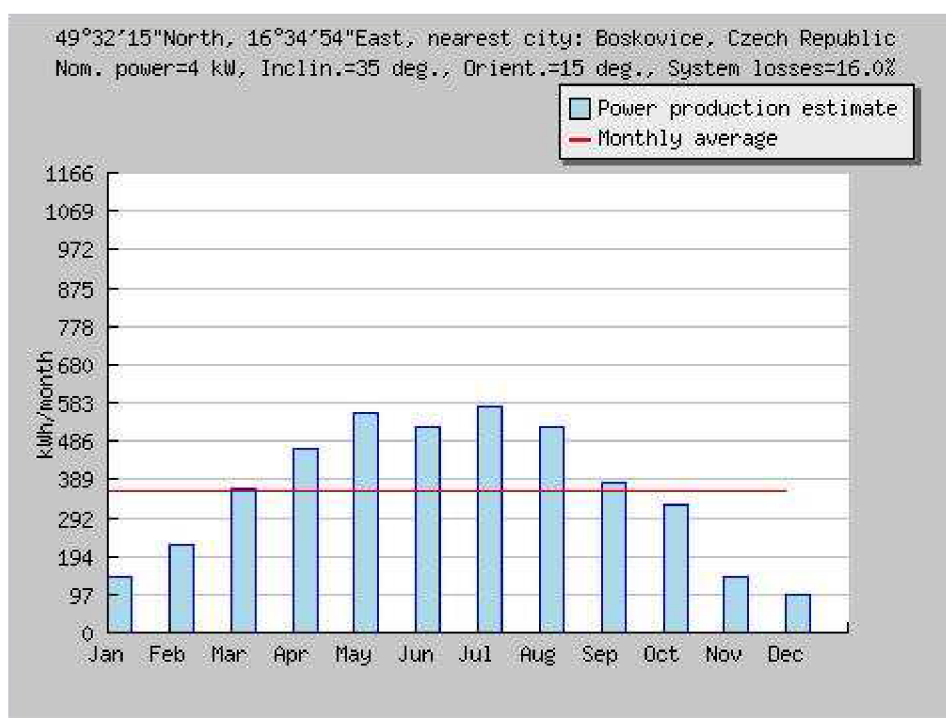
Grafické znázornění průměrné denní intenzity záření pro měsíc červen a prosinec:



Obr. 14: Intenzita slunečního záření v závislosti na čase pro měsíc erven [18]



Obr. 15: Intenzita slunečního záření v závislosti na čase pro měsíc prosinec [18]



Obr. 16: Grafické znázornění ročního odhadu výroby elektrické energie pro jednotlivé měsíce. Přímka je vyznačena průměrná hodnota vyrobeného množství elektřiny. [18]

Měsíc	Výroba za měsíc [kWh]	Výroba za den [kWh]
Leden	142	4.6
nor	221	7.9
Březen	365	11.8
Duben	467	15.6
Květen	560	18.1
erven	521	17.4
ervenec	573	18.5
Srpen	524	16.9
Z	379	12.6
Říjen	326	10.5
Listopad	141	4.7
Prosinec	98	3.2
Ron průměr	360	11.8
Celkov ron výroba [kWh]		4 316

Tab. 8 – Produkce elektrické energie v jednotlivých měsících a prmrn hodnota elektrické energie vyroben denn pro kařd měsíc [18]

7.5 Celkov roční spotřeba elektrické energie v objektu

	Celkem kWh/rok
Spotřeba v období 25.3.2008 – 23.3.2009	4 520
Ron produkce FV systému	4 316

Tab. 9 – Porovnání energetické spotřeba objektu a množství vyroben energie

Celkov ron výroba elektrické energie fotovoltaickm systémem nepřesahuje množství elektrické energie spotřebaované v objektu.

7.6 Cenov rozpočet

FV panely (KYOCERA, 180 W _p /27 ks)	582 900 Kč
Měnič (FRONIUS IG 40)	41 200 K
Ostatn (instalační a spojovací materiál)	82 000 Kč
Celkem	706 100 Kč

Tab. 10 – Cenov rozpočet

7.7 Výpočet návratnosti investic

Kalkulace návratnosti investice vložených do realizace FV systému je provedena v programu Excel. Pro názornost je výpočet proveden ve dvou variantách a to pro:

- a) přímý prodej vyrobené energie do distribuční sítě
- b) vlastní spotřebu a prodej přebytků do distribuční sítě (zelený bonus)

Základní okrajové podmínky výpočtu:

- financování investice je uvažováno z vlastních prostředků bez použití bankovního úvěru
- roční množství vyrobené elektrické energie je menší než spotřeba elektřiny v objektu
- roční spotřeba elektrické energie v objektu je konstantní
- uvažovaná cena elektrické energie je již zmíněná dvoutarifová sazba D 35 d [10]:

vysoký tarif VT	3,55 Kč/kWh včetně DPH
nízký tarif NT	2,45 Kč/kWh včetně DPH

- nárůst cen elektrické energie je vzhledem k inflaci ve výpočtu navýšen každý rok o 2 %
- roční pokles výkonu FV elektrárny je 1 % vlivem stárnutí panelů
- nejsou uvažovány náklady na údržbu, poruchy systému a pojištění
- veškerá data v tabulkách jsou uvedena pro časový interval 1 rok
- minimální předpokládaná životnost FV systému je 20 let
- výkupní ceny dle rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2008 ze dne 18. listopadu 2008 [11] jsou pro rok 2009 následující:

výkupní cena elektřiny dodané do sítě	12,89 Kč/kWh
zelený bonus	11,91 Kč/kWh

- každoroční nárůst výkupních cen je dle vyhlášky Energetického regulačního úřadu č. 150/2007 Sb. stanoven jako střední hodnota z uvedeného intervalu 2 až 4 %, tedy jako 3 % navýšení [12].

Následující tabulka představuje shrnutí stávajícího stavu před uvedením fotovoltaického systému do provozu a uvádí data nezbytná pro výpočet.

Stávající stav						
Inflace	2%					
Rok	VT	sazba	NT	sazba	cena stávající	vlastní spotřeba
	kWh	Kč	kWh	Kč	Kč	kWh
1	1 627	3,55	2 888	2,45	12 852	4 515
2	1 627	3,62	2 888	2,50	13 109	4 515
3	1 627	3,69	2 888	2,55	13 371	4 515
4	1 627	3,77	2 888	2,60	13 638	4 515
5	1 627	3,84	2 888	2,65	13 911	4 515
6	1 627	3,92	2 888	2,70	14 189	4 515
7	1 627	4,00	2 888	2,76	14 473	4 515
8	1 627	4,08	2 888	2,81	14 763	4 515
9	1 627	4,16	2 888	2,87	15 058	4 515
10	1 627	4,24	2 888	2,93	15 359	4 515
11	1 627	4,33	2 888	2,99	15 666	4 515
12	1 627	4,41	2 888	3,05	15 980	4 515
13	1 627	4,50	2 888	3,11	16 299	4 515
14	1 627	4,59	2 888	3,17	16 625	4 515
15	1 627	4,68	2 888	3,23	16 958	4 515
16	1 627	4,78	2 888	3,30	17 297	4 515
17	1 627	4,87	2 888	3,36	17 643	4 515
18	1 627	4,97	2 888	3,43	17 996	4 515
19	1 627	5,07	2 888	3,50	18 356	4 515
20	1 627	5,17	2 888	3,57	18 723	4 515

Tab. 11 – Stávající stav

Pokud je jako způsob výkupu elektřiny zvolen prodej do sítě (tab. 12), je cena elektřiny prodané do distribuční sítě dána součinem výkupní ceny a množstvím vyrobené energie. Celkový výnos představuje rozdíl zisku z prodeje do distribuční sítě a nákupní ceny (tab. 11), kterou spotřebitel platí společnosti obchodující s elektrickou energií. Kumulovaný výnos pro konkrétní rok je určen ze součtu výnosu v tomto roce a výnosu v letech předcházejících. Počet roků, za které se investice vložené do realizace fotovoltaického systému vrátí, je zvýrazněn.

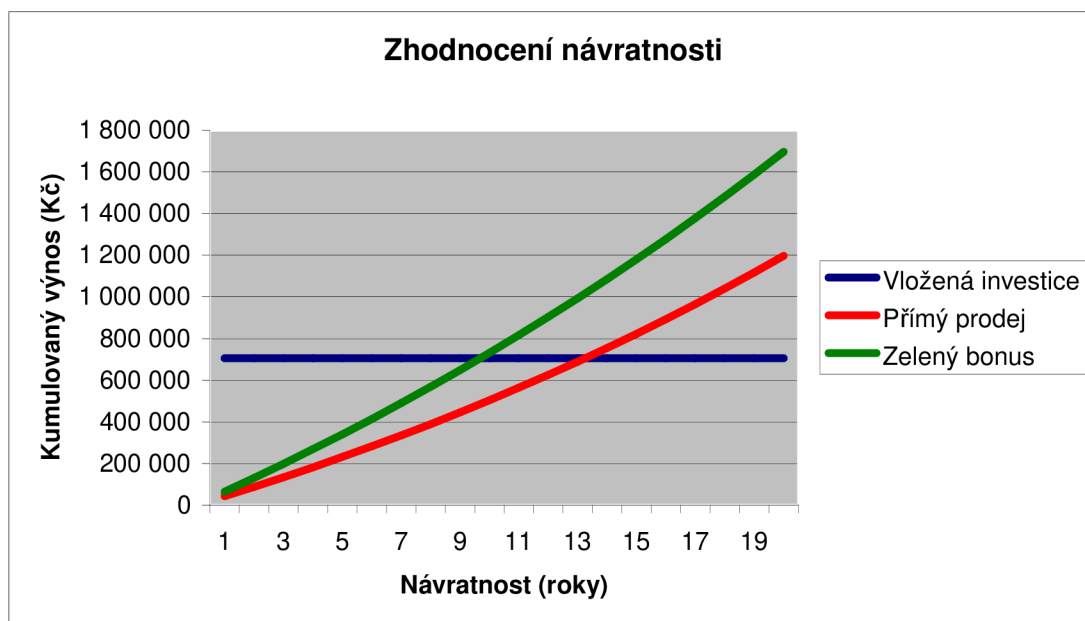
Prodej do sítě					
navýšení cen		3%	stárnutí systému		1%
Rok	sazba Kč	vyrobená energie kWh	prodej Kč	výnos Kč	kumulovaný výnos Kč
1	12,89	4 360	56 200	43 349	43 349
2	13,28	4 360	57 886	44 778	88 126
3	13,68	4 360	59 623	46 252	134 378
4	14,09	4 360	61 412	47 773	182 152
5	14,51	4 360	63 254	49 343	231 494
6	14,94	4 360	65 152	50 962	282 457
7	15,39	4 360	67 106	52 633	335 090
8	15,85	4 360	69 119	54 357	389 446
9	16,33	4 360	71 193	56 135	445 581
10	16,82	4 360	73 329	57 970	503 551
11	17,32	4 360	75 529	59 862	563 414
12	17,84	4 360	77 794	61 815	625 229
13	18,38	4 360	80 128	63 829	689 058
14	18,93	4 360	82 532	65 907	754 965
15	19,50	4 360	85 008	68 050	823 015
16	20,08	4 360	87 558	70 262	893 277
17	20,68	4 360	90 185	72 542	965 819
18	21,31	4 360	92 891	74 895	1 040 714
19	21,94	4 360	95 677	77 322	1 118 036
20	22,60	4 360	98 548	79 825	1 197 861

Tab. 12 – Přímý prodej elektřiny

V případě, že je vyrobená energie spotřebována v objektu, představuje její výkupní cenu tzv. zelený bonus. Množství vyrobené elektrické energie je stejné jako v případě, kdy bylo počítáno s přímým prodejem do rozvodné sítě. Zisk ze zeleného bonusu představuje součin „zeleného bonusu“ a množství vyrobené elektřiny. Rozdíl mezi vyrobenou a spotřebovanou energií musí být odebírán z distribuční sítě. Tento rozdíl vynásobený průměrnou nákupní cenou (průměrem z ceny vysokého a nízkého tarifu) činí rozdíl spotřeby, který musí uživatel zaplatit za odběr elektřiny z distribuční sítě. Úsporu tvoří rozdíl mezi úsporou za vlastní platbou za zelený bonus. Částka vyplacená jako zelený bonus a úspora dohromady tvoří výnos FV elektrárny. Kumulovaný výnos je dán stejně jako v předchozím případě součtem výnosu v daném roce a výnosu v přecházejících letech. Rok návratnosti je v tabulce zvýrazněn.

Zelený bonus								
navýšení cen	3%	stárnutí systému	1%					
Rok	průměrná nákupní cena Kč	sazba Kč	vyrobená energie kWh	platba ZB Kč	rozdíl spotřeby Kč	úspora Kč	výnos Kč	kumulovaný výnos Kč
1	2,85	11,91	4 360	51 928	442	12 410	64 338	64 338
2	2,91	12,27	4 360	53 485	451	12 658	66 144	130 481
3	2,97	12,64	4 360	55 090	460	12 911	68 001	198 483
4	3,02	13,01	4 360	56 743	469	13 170	69 912	268 395
5	3,08	13,40	4 360	58 445	478	13 433	71 878	340 273
6	3,15	13,81	4 360	60 198	488	13 702	73 900	414 173
7	3,21	14,22	4 360	62 004	497	13 976	75 980	490 153
8	3,27	14,65	4 360	63 864	507	14 255	78 120	568 273
9	3,34	15,09	4 360	65 780	518	14 540	80 321	648 593
10	3,41	15,54	4 360	67 754	528	14 831	82 585	731 178
11	3,47	16,01	4 360	69 786	538	15 128	84 914	816 092
12	3,54	16,49	4 360	71 880	549	15 430	87 310	903 402
13	3,61	16,98	4 360	74 036	560	15 739	89 775	993 178
14	3,69	17,49	4 360	76 257	571	16 054	92 311	1 085 489
15	3,76	18,01	4 360	78 545	583	16 375	94 920	1 180 409
16	3,84	18,56	4 360	80 902	595	16 702	97 604	1 278 013
17	3,91	19,11	4 360	83 329	606	17 036	100 365	1 378 377
18	3,99	19,69	4 360	85 828	619	17 377	103 205	1 481 583
19	4,07	20,28	4 360	88 403	631	17 725	106 128	1 587 711
20	4,15	20,88	4 360	91 055	644	18 079	109 134	1 696 845

Tab. 13 – Vlastní spotřeba vyrobené elektřiny a prodej přebytků



Obr.17: Graf návratnosti investice pro zvolené způsoby výkupu elektrické energie

V případě, že by byl instalovaný výkon fotovoltaických panelů větší než spotřeba elektrické energie v objektu, byly by nespotřebované přebytky vykupovány za 0,064 Kč/kWh dle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 9/2008 ze dne 18. listopadu 2008 [13].

Z výpočtu plyne, že pro prodej elektřiny do rozvodné sítě za výkupní ceny je doba návratnosti 14 let. Při vlastní spotřebě vyrobené elektřiny a prodeji přebytků, které se ale v tomto konkrétním příkladu nevyskytují, se doba návratnosti zkrátí na 10 let.

8 Závěr

V práci byl vysvětlen uveden přehled různých typů fotovoltaických článků, které jsou základním stavebním prvkem fotovoltaických zařízení. Vedle klasických křemíkových článků jsou popsány i další, jejichž využití je specifické a méně rozšířené.

Dále byly uvedeny příklady koncentrátorů, které ale zatím nejsou v praxi příliš využívány především z ekonomických důvodů. Výhoda nižší ceny koncentrátorů ve vztahu k ceně fotovoltaických článků je negována některými vlivy, jako je snížená schopnost soustředit difuzní záření, snížení výkonu fotovoltaických článků vlivem zvýšení jejich teploty a nutnost vybavit systém natáčecím zařízením. Využitím koncentrátorů se zabývají výrobci fotovoltaických panelů, ale k většímu zařazení do praxe nedošlo. Přesto se očekává další zdokonalování koncentrátorů jak z pohledu investic, tak dalšího výnosu.

Cílem práce bylo navrhnout fotovoltaický systém pro konkrétní případ. Návrh je proveden tak, že předpokládaná roční výroba elektrické energie se blíží uvažované roční spotřebě objektu. Jedná se o fotovoltaické zařízení o instalovaném výkonu do 5 kWp na střeše rodinného domku. Pro zvolené fotovoltaické panely je vybrán vhodný jednofázový střídač k přeměně vyráběného stejnosměrného napětí na střídavé 230 V/50 Hz. S cenovými podmínkami, které stanovuje Energetický regulační úřad, byl proveden variantní výpočet ekonomické návratnosti pro přímý prodej veškeré vyrobené elektřiny do rozvodné sítě ve srovnání s provozem při využití zeleného bonusu. Z modelového příkladu je zřejmé, že ekonomická návratnost při přímém prodeji je i přes vyšší výkupní sazbu delší. V druhém případě, kdy výrobce sám spotřebovává vyrobenou elektrickou energii, za kterou je mu vyplácen zelený bonus, je návratnost investic o třetinu kratší.

Vzhledem k očekávanému vývoji cen elektrické energie lze předpokládat, že při využití zeleného bonusu může dojít k dalšímu zkrácení ekonomické návratnosti, než je uvedeno v modelovém příkladu. Varianta využití zeleného bonusu je nejvýhodnější v případě, kdy objem vyrobené elektrické energie se blíží vlastní spotřebě. Výnos je dán součtem platby za zelený bonus a ceny elektrické energie, kterou není nutné nakoupit z rozvodné sítě.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] CENEK, M. *Obnoviteln zřdroje energie*. 2. vyd. Praha : FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
- [2] BROŽ, K., ŠOUREK, B. *Alternativn zřdroje energie*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 213 s. ISBN 80-01-02802-X.
- [3] *PHOTON: das Solarstrom-magazín*. Č. 3 (březen 2009). Aachen: Photon Europe, 2009. Vychází mschn. ISSN 1430-5348.
- [4] *PHOTON INTERNATIONAL: The Photovoltaic Magazine*. Č. 2 (nor 2009). Aachen: Photon Europe, 2009. Vychází mschn.
- [5] *PHOTON: das Solarstrom-magazín*. Č. 12 (prosinec 2008). Aachen: Photon Europe, 2009. Vychází mschn. ISSN 1430-5348.
- [6] *SONNE, WIND UND WÄRME: Das Branchen-Magazín fr alle erneuerbaren Energien*. Č. 4 (duben 2009). Bielefeld: BVA Bielefelder Verlag, 2009. Vychází mschn. ISSN 1861-2741 H 2607.
- [7] *PV MAGAZINE: Photovoltaic Markets and Technology*. Č. 3 (březen 2009). Berlin: Mller Druck, 2009. Vychází mschn. ISSN 1865-3138.
- [8] LIBRA, M. *Zřdroje a využití energie* [online]. [cit. 2009-03-28]. Dostupné z: <http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=64&idkapitola=100>.
- [9] *Technick parametry střídače typu FRONIUS IG 40* [online]. Dostupné z: <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-01643CD0-100661AB/fronius_ceska_republika/hs.xsl/30_5054.htm> [cit. 2009-05-11].
- [10] *Technick parametry fotovoltaických panelů typy KYOCERA 180GH-2P* [online]. Dostupné z: <<http://www.silekro.cz/index.php?Title=Fotovoltaick%C3%A9%20panely%20Kyocera&>> [cit. 2009-05-11].
- [11] *Ceny elektróny dvoutarifovho produktu Elektrína Kombi* [online]. Dostupné z: <http://www.eon.cz/cs/customers/citizen/power_products/eon-elektrina-kombi.shtml> [cit. 2009-04-25].
- [12] *Výkupní ceny dle rozhodnutí ERÚ* [online]. Dostupné z: <http://www.ery.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/OZ/CR_8-2008_OZE-KVET-DZ.pdf> [cit. 2009-04-25].
- [13] *Nárůst výkupních cen dle vyhlášky ER* [online]. Dostupné z: <<http://portal.gov.cz/wps/portal/.../>> [cit. 2009-04-25].
- [14] *Výkupní ceny přebytků elektrické energie dle vyhlášky ER* [online]. Dostupné z: <http://www.ery.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/ER%20CR_9_2008.pdf> [cit. 2009-04-25].

- [15] *Sluneční koncentrátořy – Fresnelovy čočky* [online]. Dostupné z: <<http://www.solarenavi.cz/show.php?ida=26&ids=6&par>> [cit. 2009-03-20].
- [16] *Fotogalerie instalovaných slunečních elektráren* [online]. Dostupné z: < <http://www.solartec.cz/news/27/96.html> > [cit. 2009-03-19].
- [17] *Koncentrátořy slunečního žárání* [online]. Dostupné z: < <http://solar-solar.com/Attachments/PICT10.jpg> > [cit. 2009-04-02].
- [18] *Vacuum processing and thin film technologies*. Dokumentace firmy FHR Anlagebau.
- [19] *PVGIS, PV Estimation Utility*. Výpočetní nástroj pro fotovoltaické systémy. [online]. Dostupné z: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/pvest.php?lang=en&map=europe&app=gridconnected>> [cit.2009-05-01].

10 Seznam příloh

- 1 Technické parametry fotovoltaických panelů zn. KYOCERA 180GH-2P
- 2 Technické parametry střídače FRONIUS IG 40