

Hybridní fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům

Bc. Marek Sedláček

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek Sedláček**
Osobní číslo: **A13877**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hybridní fotovoltaická elektrárna pro rodinný dům**
Téma anglicky: **A Draft Hybrid Photovoltaic Solar Power-plant for a Detached House**

Zásady pro vypracování:

1. **Popište současnou legislativu ČR týkající se malých solárních elektráren, a to jak pro ostrovní systémy, tak pro systémy, které jsou schopné dodávat přebytky vyrobené elektrické energie do přenosové sítě.**
2. **Popište podstatu fotoelektrického jevu a princip činnosti fotovoltaické elektrárny.**
3. **Seznamte se se současným stavem na trhu solárních panelů a jejich příslušenství.**
4. **Navrhněte koncepci malé hybridní solární elektrárny pro rodinný dům, která bude schopna ukládat přebytky vyrobené energie do soustavy ohřevu teplé užitkové vody a do akumulátorů, případně umožní odprodej přebytků energie do distribuční sítě.**
5. **Posudte ekonomickou stránku konceptu malé hybridní solární elektrárny pro rodinný dům.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
2. THEMESSEL, Armin. Solární systémy: návrhy a stavba svépomoci. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 116 s. ISBN 80-247-0589-3.
3. SRDEČNÝ, Karel. Energeticky soběstačný dům – realita či fikce?. 2., aktualiz. vyd. Praha: EkoWATT, 2007, viii, 92 s. ISBN 978-80-7366-103-8.
4. LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010, 165 s. ISBN 978-809-0431-157.
5. HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě. 1. české vyd. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 2000, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
6. MURTINGER, Karel. Solární energie pro váš dům. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, vi, 91 s. ISBN 80-736-6029-6.
7. TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 193 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce:

12. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 6. února 2015

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou fotovoltaických systémů určených pro střešní aplikace rodinných domů, konkrétně hybridními fotovoltaickými elektrárnami, jakožto zdroji pro pokrytí spotřeby elektrické energie rodinného domu běžné velikosti. Hlavním cílem této diplomové práce je návrh ideálního technického řešení a systémového nastavení hybridní fotovoltaické elektrárny konkrétního domu a zhodnocení ekonomické výhodnosti a návratnosti v porovnání s konvenčním zdrojem elektrické energie, tedy s odběrem z distribuční sítě.

Klíčová slova: Hybridní fotovoltaická elektrárna, fotovoltaický článek, fotoelektrický jev, hybridní měnič napětí, akumulátor, rodinný dům, alternativní zdroj energie

ABSTRACT

The presented thesis is focused on photovoltaic systems for rooftop applications for family houses, namely hybrid photovoltaic power plants as a source to cover the electricity consumption of the family house of normal size. The main goal of the thesis is to design an ideal technical solution and system settings of hybrid photovoltaic plants of a particular house and to evaluate the economic profitability and returns of investment compared to conventional source of electricity, thus distribution grid.

Keywords: Hybrid solar power plant, solar cell, photoelectric effect, hybrid inverter, battery, family house, alternative energy source

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinovi Pospíšilíkovi, Ph.D. za cenné rady spojené s tvorbou práce a také svojí rodině za velkou podporu v průběhu celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SOLÁRNÍ ENERGIE	12
1.1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY	12
1.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE	13
1.2.1 Fotovoltaika.....	13
1.2.2 Fototermika	14
1.2.3 Energie větru	14
1.2.4 Vodní energie	14
1.2.5 Biomasa.....	14
1.3 FYZIKÁLNÍ PODSTATA FOTOVOLTAICKÉ PŘEMĚNY ENERGIE.....	15
1.3.1 Fotoelektrický jev.....	15
1.3.2 Princip fotovoltaické přeměny	18
2 FOTOVOTAICKÉ SYSTÉMY PRO RD	23
2.1 SÍŤOVÉ SYSTÉMY.....	23
2.2 OSTROVNÍ SYSTÉMY.....	23
2.3 POLO-OSTROVNÍ SYSTÉMY	24
2.4 HYBRIDNÍ SYSTÉMY	24
3 HYBRIDNÍ FOTOVOLTAIKA	25
3.1 HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	25
3.1.1 HFVE s DC vazbou (DC - Coupling)	25
3.2 HFVE A FOTOVOLTAICKÝ OHŘEV TV	27
4 KOMPONENTY HFVE	28
4.1 FOTOVOLTAICKÉ PANELY	28
4.1.1 Konstrukce a výroba fotovoltaických panelů.....	28
4.1.2 Vzájemné propojení FV panelů	30
4.1.3 Technologie fotovoltaických panelů	31
4.2 HYBRIDNÍ MĚNIČE NAPĚTÍ.....	33
4.3 REGULÁTORY NABÍJENÍ.....	35
4.4 AKUMULÁTORY	37
4.4.1 Zapojení bateriových článků	38
4.4.2 PbA akumulátory	38
4.4.3 Lithium – Iontové akumulátory	41
5 LEGISLATIVA ČR PRO FOTOVOLTAIKU	44
5.1 FORMY PODPORY ENERGIE Z FVE.....	44
5.1.1 Investiční podpora z dotačních programů	44
5.1.2 Podpora formou osvobození od daní.....	45
5.1.3 Provozní podpora	45
5.2 PŘIPOJENÍ FVE DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	46
5.3 INSTALACE FVE ODBORNĚ ZPŮSOBILOU OSOBOU	47
5.4 LEGISLATIVNÍ RÁMEC PRO OSTROVNÍ A HYBRIDNÍ FVE	48
5.4.1 Energetický zákon	49

II PRAKTICKÁ ČÁST	51
6 KONCEPT HFVE PRO RODINNÝ DŮM.....	52
6.1 POPIS ŘEŠENÉHO OBJEKTU.....	52
6.2 SPOTŘEBA ENERGIÍ OBJEKTU	53
6.2.1 Výpočet nákladů za energii	54
7 NÁVRH SYSTÉMU HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY.....	58
7.1 ZMĚNA PLYNOVÉHO NA ELEKTRICKÝ OHŘEV TEPLÉ VODY	58
7.1.1 Energetická bilance při využití elektrického akumulčního ohřívače	59
7.2 NÁVRH INSTALOVANÉHO VÝKONU HFVE.....	60
7.3 POPIS NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU	60
7.3.1 Kontrola parametrů systému	62
7.4 NÁVRH STŘEŠNÍ INSTALACE FOTOVOLTAICKÉHO GENERÁTORU	65
7.5 KOMPONENTY SYSTÉMU.....	66
7.5.1 Fotovoltaické panely München Solar 250 W polykrystal.....	66
7.5.2 Hybridní měnič napětí Studer Innotec XTM 4000-48	67
7.5.3 MPPT regulátor nabíjení Studer Innotec VT – 80A	68
7.5.4 Akumulátor LiFePO4 16 x 3,2 V 200Ah 9,6 kWh	69
7.5.5 Studer Innotec RCC-02	72
7.5.6 Studer Innotec BSP 500	73
7.5.7 Studer Innotec RCM 10	74
7.5.8 Studer Innotec BTS-01	74
7.5.9 Elektrický akumulční ohřívač DZ Dražice OKCE 200.....	74
7.6 PŘIBLÍŽENÍ PROVOZNÍCH STAVŮ SYSTÉMU DLE FUNKČNÍCH SCHÉMAT	76
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU HFVE.....	81
8.1 VSTUPNÍ NÁKLADY NÁVRHU	82
8.2 PREDIKCE VÝŠE VYROBENÉ ENERGIE DLE FOTOVOLTAICKÉHO GIS.....	83
8.3 MÍRA ENERGETICKÉ NEZÁVISLOSTI	84
8.4 DOBA NÁVRATNOSTI	86
9 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA NÁVRHU HFVE.....	88
9.1 VLIV RŮSTU CEN ENERGIÍ	88
9.2 VLIV VÝŠE CEN TECHNICKÝCH KOMPONENTŮ	89
9.3 VLIV PŘÍPADNÉ VÝŠE STÁTNÍ PODPORY	90
ZÁVĚR	92
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	94
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	100
SEZNAM OBRÁZKŮ	102
SEZNAM TABULEK.....	104
SEZNAM PŘÍLOH.....	106

ÚVOD

Hybridní fotovoltaické systémy představují soubor technických zařízení, které zvládají vyrábět, akumulovat elektrickou energii a vhodně řídit její spotřebu v objektu. Nejčastěji jsou využívány pro rodinné domy, kde podle výkonu dokáží pokrýt určitou část energetické náročnosti domu, čímž šetří náklady jinak vynaložené na nákup energií.

Jejich největší předností je možnost zálohy energie prostřednictvím distribuční sítě, čímž se uživatel nemusí nijak omezovat, jako je tomu například u čistě ostrovních systémů. Inteligentní hybridní měnič, jakožto hlavní řídicí prvek systému, řídí toky energií, ať už z fotovoltaického generátoru, záložního akumulátoru, či v případě potřeby z distribuční sítě, ze které dokáže plynule dočerpat nedostatky potřebné energie (převážně špičky odběru).

Vlivem pozastavení státních dotací fotovoltaických systémů v roce 2014 klesl zájem o fotovoltaiku za účelem vytvoření zisku prakticky na nulu. Například provoz síťových elektráren, které většinu své vyrobené energie prodávají do distribuční sítě, se při dnešních znevýhodněných podmínkách pro nově instalované systémy nevyplácí.

Na scénu tedy přicházejí nové druhy systémů a tato práce se bude zabývat jedním z nich, a tedy hybridním. Hybridní fotovoltaický systém skýtá řadu předností, a to nejenom z pohledu ušetřených nákladů na energie, ale i určité míry nezávislosti na dodavatelích energií, efektivně spotřebované vlastní vyrobené energie či kvalitě vyrobené energie.

V rámci teoretické části této práce se budu zabývat fyzikální podstatou přeměny sluneční energie na energii elektrickou, popíši fotoelektrický jev a pokusím se vysvětlit princip fungování fotovoltaického článku. Zmapuji také druhy fotovoltaických systémů určených pro střešní aplikace rodinných domů a zaměřím se na hybridní fotovoltaické systémy, jejich princip fungování, možnosti využití pro ohřev teplé vody a funkce jejich základních komponentů.

V neposlední řadě přiblížím aktuální legislativní rámec této problematiky, konkrétně formy podpory fotovoltaických elektráren, aktuální podmínky pro připojení výrobní do distribuční soustavy a právní předpisy týkající se ostrovních či hybridních systémů. Podívám se i na legislativní změny, například v souvislosti s novelou energetického zákona, či na změny podmínek v rámci instalace zařízení pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů v souvislosti s novelizací zákona o hospodaření energií.

V praktické části své diplomové práce navrhnu hybridní fotovoltaickou elektrárnu pro konkrétní rodinný dům. Zanalyzuji stávající energetickou náročnost vybraného domu, vyberu vhodné komponenty se správnými parametry vhodnými pro kompatibilitu, navrhnu střešní instalaci panelů se vzájemným zapojením, ilustruji funkčnost systému prostřednictvím modelových funkčních schémat.

Navržený systém bude využívat elektrický akumulární ohřívač jako úložiště přebytků vyrobené energie, čímž se optimalizuje spotřeba vyrobené energie. V rámci tohoto návrhu také zhodnotím ekonomickou stránku realizace mnou navrženého fotovoltaického systému, kdy budu hledat zejména dobu návratnosti, případně výši ušetřených financí v porovnání s energií nakoupenou z distribuční sítě.

A konečně, zpracuji citlivostní analýzu, která nastíní možné dopady pohybu cen energií, pohybu cen technických komponentů a vliv výše případné státní provozní podpory.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOLÁRNÍ ENERGIE

1.1 Historie fotovoltaiky

Dějiny fotovoltaiky začínají objevem fotoelektrického jevu. Ten byl poprvé prezentován Francouzem Alexandrem Edmondem Becquerelem na zasedání Akademie věd 29. července 1839. Poukázal na poznatek, že proud mezi kovovými elektrodami, které jsou ponořeny do roztoku, se v závislosti na intenzitě jejich osvětlení mění. Záhy o něm napsal článek do vědeckého časopisu *Comptesrendus de l'Académie des Sciences*, který pojmenoval *Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires*. [1]

Dalším významným objevem v historii fotovoltaiky bylo zjištění závislosti elektrické energie a světla s tím, že elektrický výboj v plynu vzniká snadnějším způsobem mezi elektrodami, na které dopadá ultrafialové záření, Heinrichem Rudolfem Hertzem roku 1887. Tento jev se však nedařilo na základě vlnové teorie světla objasnit. [1]

S vysvětlením fyzikálního principu fotoelektrického jevu přišel až v roce 1905 Albert Einstein ve své práci *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*, kde na elektromagnetické pole aplikoval kvantovou teorii, publikovanou na přelomu století. Einstein zde vysvětlil, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci záření, tedy na energii fotonů a počet elektronů závisí na intenzitě záření, tedy počtu fotonů. Především za tato vysvětlení zákonitostí fotoelektrického jevu dostal v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku. Roku 1916 byla Einsteinova tvrzení experimentálně potvrzena Robertem Andrewsem Millikanem, který se paradoxně snažil Einsteinovo vysvětlení vyvrátit. Věnoval se výzkumu elementárního elektrického náboje, jehož hodnotu změřil a dosadil do Einsteinovy rovnice fotoelektrického jevu, čímž velmi přesně určil Planckovu konstantu. Za svůj výzkum také obdržel Nobelovu cenu za fyziku. [1]

Uvedené teorie a pokusy se věnovali tzv. fotoemisi, neboli vnějšímu fotoelektrickému jevu, kdy se z vodivostního pásu ozařovaného kovu uvolňují elektrony do okolí. Existují však další formy fotoelektrického efektu. Fotoionizace a především fotovoltaický jev neboli vnitřní fotoelektrický jev. Ten to jev byl poprvé pozorován v roce 1876, kdy William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day vytvořili PN přechod mezi selenem a platinou a vznikalo napětí a proud na článku za pouhého působení světelného záření, již bez působení vnějšího elektrického pole. Roku 1883 Charles Fritts vyrobil fotovoltaické články

na bázi selenu s účinností nižší než 1 %. Až v roce 1940 byl vyroben první křemíkový článek, který si nechal Russell Shoemaker Ohl patentovat. Jeho účinnost se pohybovala kolem 1 %. První článek, který byl použitelný pro výrobu elektrické energie, pocházel z Bellových laboratoří, kde vyrobili v roce 1954 monokrystalický křemíkový článek s účinností 6 %. [1]

Fotovoltaika jako zdroj elektrické energie nacházela od roku 1958 uplatnění na kosmických družicích, kde se využívá do dnes. Ceny prvních článků byly tehdy velmi vysoké a spotřebovaná energie na jejich výrobu byla vyšší než energie, kterou byly schopny vyrobit. V 70 letech zájem o fotovoltaiku značně vzrostl, a to v souvislosti s ropnou krizí, což odstartovalo intenzivní výzkum a vývoj této oblasti. V důsledku toho se neustále zvyšuje účinnost, životnost a klesá cena fotovoltaických článků. Největší rozšíření fotovoltaických systémů přišlo však až se zavedením různých druhů podpory. Jako první byl Japonský dotační program a poté Německý systém výkupních cen. Tyto druhy podpory se následně zavedly v mnoha dalších zemích. [1]

1.2 Možnosti využití sluneční energie

Existuje řada způsobů využití sluneční energie, které v základu dělíme na dva druhy. Jedná se o přímé využití energie záření, kde se využívá přeměny slunečního záření přímo na jinou užitečnou formu energie (např. využití solárních kolektorů, fotovoltaických panelů) a využívání nepřímé, kdy se využívají po jedné nebo několika přeměnách slunečního záření sekundární formy této energie (např. voda, vítr, biomasa). Toto nepřímé využívání je vhodné dále rozdělit na mechanickou a uloženou formu energie. Mezi mechanické řadíme energii ve formě pohybu větru (využití větrných generátorů) a vody (využití vodních turbín), mezi uloženou podobu energie řadíme energii ve formě biomasy (využívání biomasy, bionafty, bioplynu). [2]

1.2.1 Fotovoltaika

Jedná se o metodu, při níž se přímo přeměňuje sluneční záření na elektrickou energii (stejnoseměrný proud). Tato přeměna je realizována pomocí polovodičových článků, které bývají sérioparalelně propojeny do větších celků, do tzv. fotovoltaických panelů. Fotovoltaické panely jsou základem pro stavbu fotovoltaické elektrárny. [3]

1.2.2 Fototermika

Věnuje se přeměně slunečního záření na tepelnou energii, využívanou pro ohřev vody v domácnostech, topení, případně ohřev bazénové vody. Přeměna energie dochází v tzv. fototermických kolektorech.

Tyto jsou opatřeny absorberem, na který dopadá sluneční záření, které se zde mění v teplo a předává svoji tepelnou energii médiu v trubicích kolektoru. Tuto energii lze krátkodobě ukládat s využitím bojleru na teplou vodu. [2]

1.2.3 Energie větru

Jedná se o nepřímou mechanickou formu sluneční energie vznikající různým množstvím dopadeného záření na větší plochy Zemského povrchu či příčinou různých absorpčních vlastností těchto povrchů. Vzduch nad nimi se odlišně silně zahřívá, v důsledku čehož vznikají tlakové rozdíly v různých oblastech, které se vyrovnávají pohybem vzduchu. [2]

Energii vzduchu můžeme pomocí větrných elektráren prostřednictvím listů rotoru a větrné turbíny převést na energii mechanickou, která bývá za pomoci generátoru přeměněna na energii elektrickou. [4]

1.2.4 Vodní energie

V důsledku dopadajícího slunečního záření na povrch Země dochází k vypařování vody, a to především ze světových oceánů. Tato pára vytváří v atmosféře mraky, které se v ní pohybují a dostávají se i nad pevninu. Především v chladnějších územích potom na zem spadnou ve formě deště. Velká část srážek se potom za pomoci povrchových vodních toků dostává zpátky do moře. Tuto nepřímou sluneční energii lze poté využít pro výrobu elektrické energie prostřednictvím některých druhů vodních elektráren. [3]

1.2.5 Biomasa

Biomasa je označován souhrn všech živých, mrtvých a rozložených organismů a z nich pocházejících látek. Energie získaná z biomasy je sekundární formou sluneční energie ve formě cíleně pěstované rostlinné biomasy, zemědělských nebo lesních odpadů, případně potravinářské produkce. [4]

Biomasa bývá využita pro výrobu elektrické a tepelné energie, může také sloužit jako pohon vozidel. Základním postupem pro přeměnu energie biomasy na jinou energii je její spalování, existují však i jiné možnosti, např. pyrolýza, fermentace, kvašení, apod. [2]

1.3 Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie

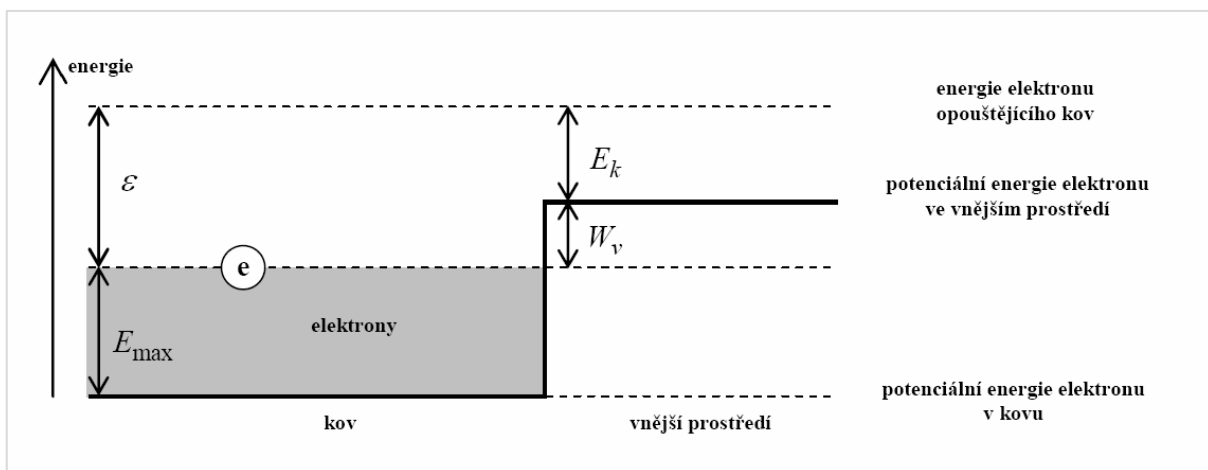
1.3.1 Fotoelektrický jev

Roku 1887 si Heinrich Rudolf Hertz, který se zabýval experimentálnímu prokázání existence Maxwellových předpovězených elektromagnetických vln, při pokusech všiml, že při ozáření jiskřiště ultrafialovým zářením usnadní přeskok jiskry, tedy usnadní přenos elektrického náboje mezi elektrodami. Tento poznatek Hertz bral jako vedlejší efekt, kterým se příliš nezaobíral. Do jeho zkoumání se však nezávisle na sobě zapojili Wilhelm Hallwachs a Alexandr Stoletov, kteří se věnovali např. pokusům s vyčerpanými trubicemi. Díky těmto pokusům potvrdili a interpretovali zjištění, že:

- z vodiče se pomocí ozařování může uvolňovat záporný náboj,
- minimální frekvence záření f_0 , při níž dochází k uvolňování záporného náboje, je pro každý ozařovaný materiál jiná,
- po dopadu světla na materiál dochází k uvolňování záporného náboje okamžitě,
- pokud vznikne v obvodu fotoelektrický proud, roste jeho velikost s intenzitou ozáření katody. [5]

Hallwachs a Stoletov detailně prozkoumali základní vlastnosti fotoelektrického jevu, které se však nepokusily teoreticky vysvětlit. [5]

Dalším velmi významným krokem ke zjištění podstaty fotoelektrického jevu byla identifikace elektronů v nositelích záporného náboje unikajícího z ozařovaného kovového materiálu. Tohoto zjištění dosáhl roku 1899 Joseph John Thomson. Fyzikální podstata fotoefektu se potom opírá o skokovou změnu potenciální energie elektronu na rozhraní mezi kovem a vnějším prostředím. [5]



Obrázek 1 Energiová bilance rozhraní kovu a vnějšího prostředí [5]

ε ... energie dodaná elektronu elektromagnetickým zářením,

E_k ... kinetická energie elektronu emitovaného z kovu,

E_{\max} ... maximální energie elektronu v kovu,

W_v ... výstupní práce. [5]

Kinetická energie se rovná energii ε , kterou elektron pohltí, kterou snížíme o tzv. výstupní práci W_v , která je potřebná k tomu, aby elektron opustil kov. [5]

$$E_k = \varepsilon - W_v \quad (1)$$

Měření kinetické energie uvolňovaných elektronů provedl v roce 1903 Philipp Lenard, který přišel s dalšími významnými tvrzeními, dle kterých:

- kinetická energie E_k elektronů emitovaných při fotoefektu roste s frekvencí dopadajícího záření,
- při neměnné frekvenci nezávisí na intenzitě tohoto záření.

O teoretické vysvětlení jevu se však také nepokusil. [5]

Již koncem roku 1900 vyslovil revoluční hypotézu německý fyzik Max Planck, který prováděl experimentální měření křivek záření těles. Tvrdil, že se jeho měření dostane do shody s teorií, pouze pokud bude energie záření kvantována. Albert Einstein na tomto základě

vystoupil roku 1905 s hypotézou, dle které se při absorpci či emisi světla atomem energie nepředává spojitě, ale diskrétně po malých kvantech energie. Tato kvanta později dostala název fotony. Einstein tedy předpokládal, že elektromagnetická vlna o frekvenci f a vlnové délce λ je soubor částic, světelných kvant, které mají určitou energii a hybnost. Pro tato kvanta platí vztahy:

$$E = h \cdot f \quad (2)$$

E...energie fotonu,

h...Planckova konstanta,

f...frekvence fotonu. [6]

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (3)$$

$$p = m \cdot c = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (4)$$

p...hybnost fotonu,

c...rychlost světla fotonu ve vakuu,

λ ...vlnová délka fotonu. [6]

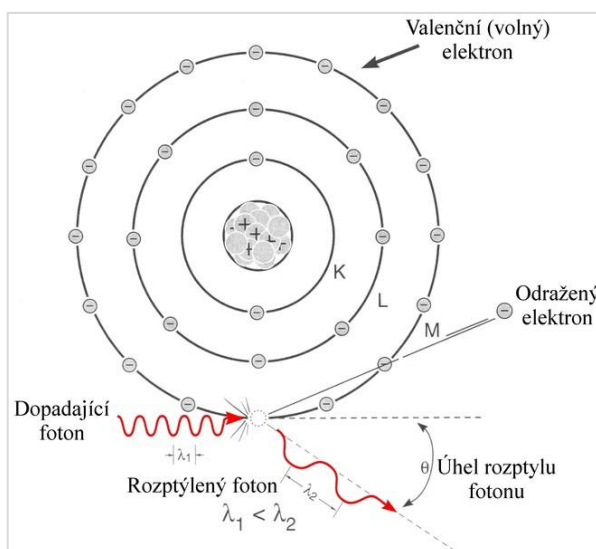
Každý foton předá energii pouze jednomu elektronu. Ten jí využije k uvolnění z kovu a zvýšení své kinetické energie. Einsteinova rovnice fotoelektrického jevu se potom dostává do tvaru:

$$h \cdot f = W_v + \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 = W_v + E_k \quad (5)$$

m_e ...klidová hmotnost elektronu,

v...rychlost elektronu. [5]

Pokud je $f < f_0$, kvantum záření nemá dostatečnou energii a nedochází k uvolnění elektronu z kovu. Je-li však $f \geq f_0$, dochází k okamžitému uvolnění elektronů, jejichž počet je závislý na počtu dopadajících kvant, tedy na intenzitě dopadajícího záření. [6]



Obrázek 2 Vnitřní fotoelektrický jev [7]

Fotoelektrický jev dělíme na vnější a vnitřní. Při vnějším fotoelektrickém jevu se následkem ozáření látky uvolňují elektrony obsažené v jejich povrchové vrstvě. Na tomto principu pracují např. emisní fotonky či fotoelektrické násobiče elektronů, které díky tomu, že množství vysílaných elektronů je velmi přesně úměrné osvětlení, představují prostředek pro přesná fotometrická měření. [8]

Častější využití však nacházejí fotočlánky fungující na principu vnitřního fotoefektu. Foton, který dopadá na polovodič, jsou pohlcovány elektrony a v případě, že má foton dostatečně velkou energii, elektron překonává vazbu v mřížce polovodiče a stává se elektronem volným. To má za následek vznik díry. V praxi na principu vnitřního fotoelektrického jevu fungují fotorezistory, fototranzistory a fotodiody. Nejčastěji používané fotodiody využívají princip PN přechodu, který je níže podrobně popsán. Patří mezi ně i křemíkové fotodiody tvořící základ pro fotovoltaické články. [8]

1.3.2 Princip fotovoltaické přeměny

Přeměna sluneční energie (energie elektromagnetického záření) na energii elektrickou bude vysvětlena na polovodičových fotovoltaických člancích na bázi krystalického křemíku, nejběžněji využívané technologii a u jiných technologií článků bývá situace obdobná. [9]

Polovodiče dělíme na příměsové nebo vlastní. Polovodiče příměsové mohou být dopované typu N, kde jsou hlavními nosiči náboje elektrony, nebo typu P kde jsou hlavními nosiči náboje díry, chovající se jako částice s kladným nábojem. Křemík, který má čtrnáct elektronů a krystalickou strukturu diamantu, má každý atom obklopen čtyřmi nejbližšími sou-

sedy. Tito sousedé vytvářejí s posledními čtyřmi elektrony kovalentní vazby. V důsledku pohybu v poli periodického potenciálu, energie elektronu v krystalu křemíku nabývá jen určité hodnoty. Takové hladiny energie jsou rozděleny do tzv. pásů dovolených energií. Ty jsou odděleny tzv. pásy zakázaných energií. Mezi důležité pásy patří pás valenční, který je posledním elektronovým pásem obsazený elektrony, dále zakázaný pás, který představuje určitou mezeru, kde se nevyskytuje žádný ze stavů elektronů a vodivostní pás, který je prvním neobsazeným elektronovým pásem. Podle šířky zakázaného pásu se látky dělí na vodiče, polovodiče a izolanty. Valenční pás je složen z energetických stavů valenčních elektronů. Počet těchto stavů a valenčních elektronů v celém krystalu je totožný, proto budou za velmi nízkých teplot obsazené. Následuje pás zakázaných energií, což znamená, že žádný elektron nemůže mít energii odpovídající stavu v tomto pásu a pás vodivostní, který nemá za velmi nízkých teplot stavy obsazené. [9]

Šířku zakázaného pásu ΔE_G je možno vypočítat jako rozdíl nejnižší hladiny vodivostního pásu E_C a nejvyšší energetickou hladinou valenčního pásu E_V . V případě vlastního polovodiče, zde tedy čistého křemíku, se uprostřed tohoto zakázaného pásu vyskytuje důležitá energetická hladina tzv. Fermiho energie. Valenční elektrony v nejnižším energetickém stavu obsazují všechny hladiny valenčního pásu, což znemožňuje vedení elektrického proudu. Ve chvíli, kdy je dodána energie, v našem případě energie světelná (foton), některé elektrony přechází do pásu vodivostního, čímž se vodivostní i valenční hladiny stávají částečně obsazené. Elektrony tedy uvolňují hladiny ve valenčním pásu a obsazují hladiny s vyšší energií v pásu vodivostním a stávají se elektrony, které již mohou umožnit vedení elektrického proudu. [9]

Tímto přestupem vznikají u atomů křemíku prázdná místa. Na tato místa mohou buď znovu uvíznout volné elektrony, které přestoupí zpět z vodivostního pásu nebo místa zaplní elektrony ze sousedních atomů, čímž se prázdné místo posune k vedlejšímu atomu, od kterého se může posouvat pomocí těchto přeskoků k dalším atomům. Volné i přeskakující elektrony se v elektrickém poli posunují proti směru intenzity elektrického pole, jelikož mají záporný náboj. Prázdná místa se tedy posouvají opačně, čímž se chovají jako částice s kladným nábojem a jsou označovány jako tzv. díry. [9]

Při uvolnění jednoho elektronu z valenčního pásma ve vlastním polovodiči vzniká jedna díra. Počet děr a volných elektronů je tedy stejný. Krystal navenek zůstává elektricky neutrálním. Pokud je generován pár elektron díra dopadem fotonu, jeho energie musí být větší

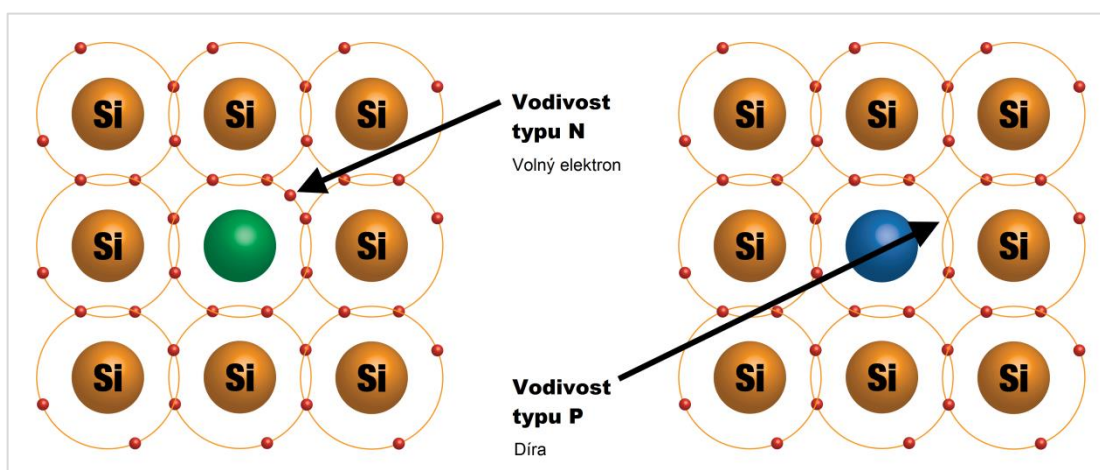
nebo rovna šířce zakázaného pásu. V případě, že foton má energii menší, prochází polovodičem. Šířka zakázaného pásu křemíku je přibližně $\Delta E_G \approx 1,1eV$, je tedy vhodný pro fotony, kterým odpovídají vlnové délky $\lambda \geq 1000nm$. [9]

Polovodiče typu N a P

Pro lepší vlastnosti křemíku se v jeho krystalové mřížce nahrazují některé atomy křemíku za atomy jiného prvku. Vhodným výběrem těchto příměsí dosahujeme toho, že v polovodiči bude elektrický proud veden buď volnými elektrony, kde půjde o vodivost typu N, nebo děrami, což odpovídá vodivosti typu P. [10]

U polovodičů typu N jsou některé atomy nahrazovány tzv. pětimocnými atomy prvků např. arzenem nebo fosforem. Takové atomy mají pět valenčních elektronů, z nichž čtyři se účastní vazeb a pátý bude velmi slabě vázán k atomu příměsi. Při dodání energie se tento elektron "utrhne" a stává se volně pohyblivým uvnitř krystalu. Tyto atomy jsou označovány jako tzv. donory, jelikož dodávají volné elektrony, které způsobují elektronovou vodivost polovodiče typu N. [10]

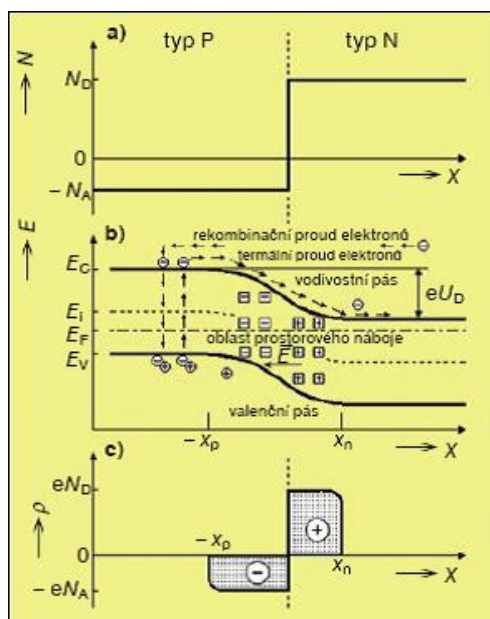
V případě, že se zabudují do krystalové mřížky křemíku atomy trojmocného prvku, např. indium nebo hliník, které mají pouze tři valenční elektrony, nebude jedna vazba atomů zaplněna a vznikne tedy tzv. díra, chovající se jako částice s kladným nábojem. Při dodání energie sem může přeskočit valenční elektron od sousedního atomu křemíku a díra se tak může pohybovat krystalem. Vzniká tedy děrová vodivost polovodiče typu P. [10]



Obrázek 3 Struktura atomů křemíku jako polovodiče typu P a N [11]

PN přechod

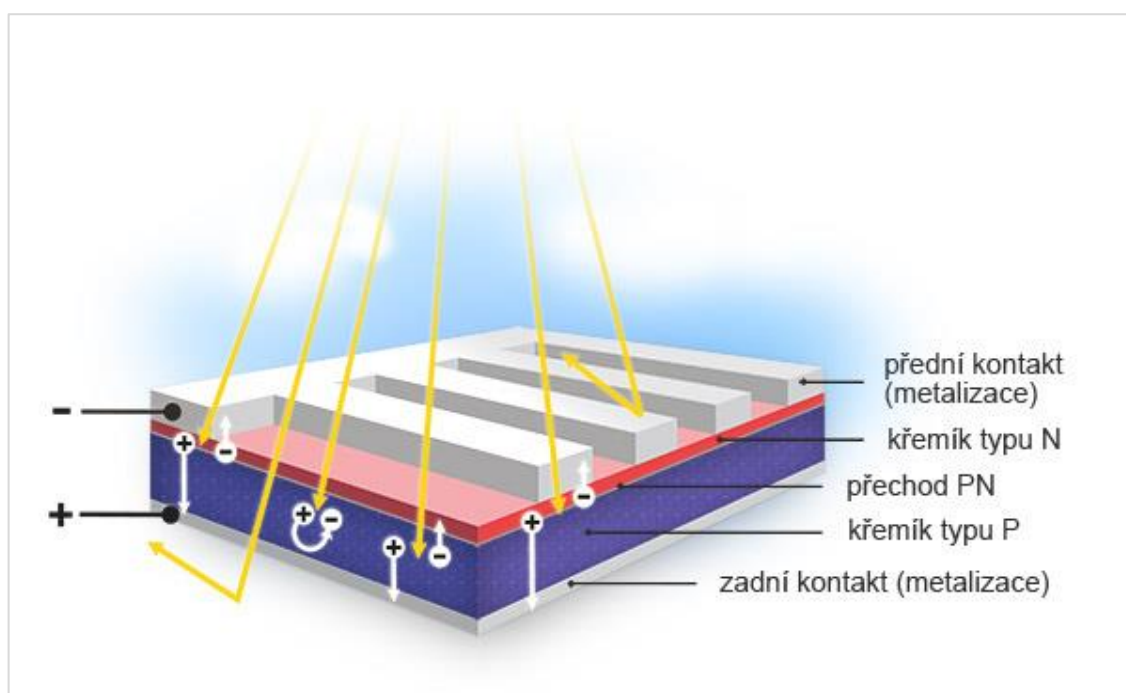
Pokud je část krystalu dopována jako polovodič typu P a sousední část typu N, vzniká tzv. PN přechod. Na obr. 4 je gradient koncentrace volných nosičů N ve směru přechodu ztožněn se směrem x . N_A znázorňuje koncentraci akceptorů a N_D koncentraci donorů. Jak již bylo výše popsáno, část volných elektronů z polovodiče typu N přejde do oblasti polovodiče typu P a díry opačně. Oblast prostorového náboje je vytvořena pomocí pevně vázaných ionizovaných nábojů a nábojů ionizovaných příměsí, kde vzniká elektrické pole bránící dalšímu toku volných nosičů. Z obrázku 4 (z grafu v prostřední části obrázku) je patrné, že dochází k ohybu pásů právě v místě přechodu. To je zapříčiněno tím, že hladina Fermiho energie musí být v rovnovážném stavu vyrovnána v celém krystalu. Body x_p a x_n ohraničují šířku PN přechodu, potenciálový rozdíl neboli difúzní napětí je znázorněno jako U_D . [9]



Obrázek 4 Model přechodu PN [9]

PN přechod se při svém rovnovážném stavu nachází ve stavu dynamické rovnováhy. Je tomu tak proto, že v polovodiči při teplotě $T > 0K$ neustále probíhá ke generaci a rekombinaci elektronů a děr. Elektrické proudy tečou přes PN přechod oběma směry. Zde rozlišujeme proud rekombinační, který vzniká v důsledku toho, že v polovodiči typu N mohou mít některé elektrony vyšší energii než potenciálová bariéra difúzního napětí U_D

a elektrony mohou procházet přes PN přechod do polovodiče typu P. Dále vzniká proud difúzní (někdy označován jako termální), kdy v polovodiči typu P vznikají páry volných elektronů a děr, které jsou urychleny směrem k polovodiči typ N. Tyto proudy jsou navzájem vyrovnány. Po uzavření elektrického obvodu je tato rovnováha porušena. Nyní může být PN přechod orientován buď v propustném směru, kdy je na straně P kladné znaménko, zakřivení pásů se změní a o hodnotu ΔV se sníží potenciálová bariéra U_D . V takovém případě převládá proud elektronů do polovodiče typu P a děr směrem opačným. Nebo může být PN přechod orientován také opačně, a to v závěrném směru, kdy se při opačné polaritě vnějšího napětí potenciálová bariéra U_D zvyšuje a zmenší se tak rekombinační proud. Převahu má zde tedy proud difúzní, který je kvůli malé koncentraci elektronů v polovodiči typu P menší. [9]



Obrázek 5 Princip PN přechodu na fotovoltaickém panelu [12]

2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY PRO RD

2.1 Síťové systémy

Jedná se o druh fotovoltaických elektráren, které vyrábí energii především pro distribuci do rozvodné sítě. Takový systém je složen z fotovoltaických panelů připojených na napěťový měnič bez transformátoru a elektroměr, kterým je zajištěn odečet vyrobené elektrické energie. Do sítě je připojen přes jistič a přepětovou ochranu. Může jít o instalace na střechy rodinných domů, ale především o velkoplošné instalace na pozemcích instalovaných výhradně za účelem zisku prostřednictvím dotovaných výkupních cen a tzv. zelených bonusů. Tyto byly původně Energetickým regulačním úřadem významně nadhodnoceny, což široká řada investorů využila. Následovalo její postupné snižování. Tato podpora pro výrobní elektriny uvedených do provozu od 1. 1. 2014 zcela skončila, čímž je tento druh instalace FVE neekonomický a aktuálně se tento druh instalace v ČR neinstaluje.

2.2 Ostrovní systémy

Ostrovním systémem jsou označovány systémy, které jsou nezávislé na distribuční síti elektrické energie. Jsou též označovány jako autonomní nebo off - grid systémy. V rámci fotovoltaických systémů pro objekty nacházejí využití především na odloučených místech, kde je možnost realizace přípojky k distribuční síti příliš nákladná vzhledem k pořízení si fotovoltaické ostrovní elektrárny. Nejčastěji se jedná o chaty na místech, kde nejsou nebo ani nemohou být zavedeny inženýrské sítě.

Ostrovní systémy však mohou být schopné i napájení rodinného domu a pokrýt celou jeho spotřebu. Tyto systémy však musí být s ohledem na zimní období a období s méně slunečným zářením předimenzovány a s přihlédnutím na poměrně vysoké ceny akumulátorů se systém značně prodraží. V takových případech je vhodné systém doplnit záložním zdrojem elektrické energie, což bývá nejčastěji diesel agregát.

Mezi hlavní příčiny realizace ostrovních solárních systémů pro rodinné domy patří nákladná realizace přípojky k distribuční síti, nezávislost na distributorech elektrické energie, ekologická výroba energie, možnost bezproblémového rozšíření systému.

2.3 Polo-ostrovňní systémy

Polo-ostrovňní systémy jsou velmi podobné systémům ostrovňním, avšak s tím rozdílem, že záložňím zdrojem zde není diesel agregát nebo podobné zařízení, ale distribuční síť. Polo-ostrovňní měňič zvládá řídit odběr elektrické energie objektu pomocí přepínání mezi dodanou energií z fotovoltaiky, akumulátoru či v případě nedostatku přepne na odběr energie ze sítě. Tento systém tedy disponuje tzv. záložňí funkcí UPS. Tato možnost je využívána v jednodušších FV systémech objektů s přípojkou k distribuční síti. [13]

2.4 Hybridňní systémy

Hybridňní fotovoltaické elektrárny fungují na podobném principu jako polo-ostrovňní fotovoltaické elektrárny. Mají však jeden zásadňí rozdíl, čímž je možnost systému pracovat současně v on-grid a off-grid režimu. Hybridňní měňič je tedy schopný současně využívat energii z fotovoltaiky či akumulátoru a energii z distribuční sítě. Tím je systém schopen plynule řídit množství energie odebírané ze sítě, což je jeho podstatnou výhodou v porovnání s ostrovňními systémy. Domácnost se nemusí nijak omezovat v běžném provozu nebo životňím stylu. [14]

HFVE funguje na takovém principu, že veškerou svoji vyrobenou elektřinu dům spotřebuje. V případě přebytků energie může systém energii akumulovat do baterií, které zálohují spotřebu energie večer, případně je možné nespoteřbovanou energii kombinovat s ohřevem TV a topné vody pomocí zásobňíku s topňými spirálami nebo tepelným čerpadlem. [14]

3 HYBRIDNÍ FOTOVOLTAIKA

Využití hybridních systémů se stává novou atraktivní oblastí ve fotovoltaice. Poskytuje oproti jiným druhům fotovoltaických systémů řadu podstatných výhod, především komfortní využití systému, bez jakéhokoliv energetického omezování, přičemž systém poskytuje zálohu při výpadcích energie z distribuční sítě a tedy i jistou míru energetické nezávislosti. Hybridní FVE jsou vhodné pro střešní instalace rodinných domů, firemních objektů, chat a chalup tam, kde je k dispozici přípojka k distribuční síti elektrické energie. Vyrobená energie je objektem využita pro vlastní spotřebu. Při nadbytku energie bývá akumulována do baterií, které potom zajišťují spotřebu domu v noci nebo při nepříznivých světelných podmínkách během dne. Akumulace přebytků může být také směřována do ohřevu teplé užitkové vody nebo topné vody.

Díky využití hlavního řídicího komponentu systému hybridního měniče, který disponuje vstupy pro záložní napájení objektu (odběr z DS), je systém schopen při nedostatku energie z fotovoltaiky nebo akumulátorů potřebnou energii dočerpávat z distribuční sítě. Často se jedná o pokrytí špičkových odběrů energie, při využívání energeticky náročnějších spotřebičů současně. [14]

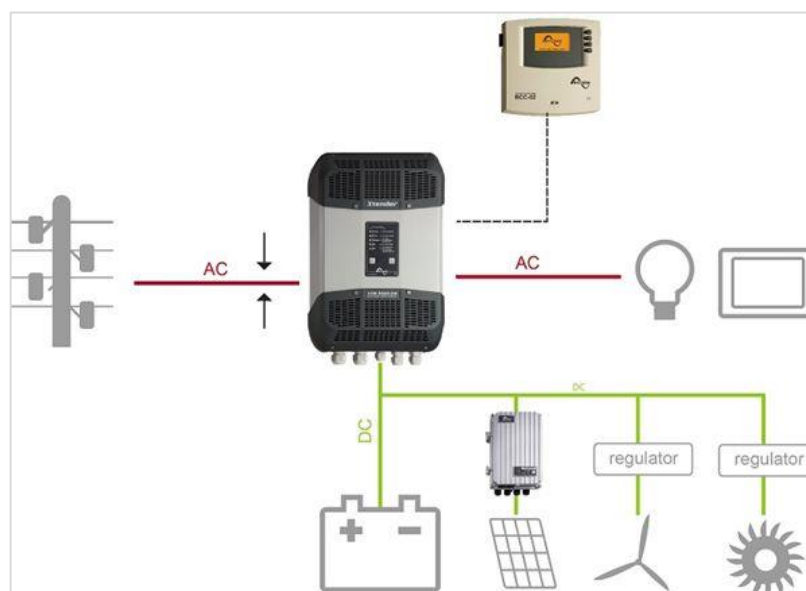
3.1 Hybridní fotovoltaické elektrárny

Hybridní fotovoltaické elektrárny se skládají z fotovoltaických panelů propojených do fotovoltaického generátoru, vyrábějícího stejnosměrné napětí, připojený k regulátoru nabíjení, který zajišťuje optimalizaci nabíjení akumulátoru a ideální využití výkonu generátoru, dále z hlavního řídicího komponentu hybridního měniče, který převádí stejnosměrné napětí z generátoru na napětí střídavé a řídí plynule a současně množství odebírané a dodané energie z fotovoltaiky, akumulátoru a distribuční sítě. Systémy často obsahují také různé druhy jištění a dálkové monitorovací a ovládací zařízení. Hlavní komponenty elektrárny jsou podrobně rozebrány níže.

3.1.1 HFVE s DC vazbou (DC - Coupling)

U hybridních fotovoltaických systémů rozlišujeme různé typy provozu, a to AC-Coupling a DC-Coupling. U AC-Couplingu je stejnosměrný zdroj energie fotovoltaický generátor přímo připojen k měniči a pomocí střídavého vedení přímo ke spotřebičům. Při této konfiguraci není možné zajistit nulové přetoky do DS a jsou tedy nutná povolení a licence. [13]

AC-Coupling je vhodné využít např. při přechodu z již stávajícího síťového provozu na provoz hybridní. Provoz DC-Coupling využívá stejnosměrného vedení. Generátor je připojen stejnosměrným rozvodem k akumulátoru a hybridnímu měniči viz obrázek 6. [13]



Obrázek 6 Schéma HFVE DC-Coupling [14]

Výhody HFVE (DC - Coupling):

- Využití 100% vyrobené energie,
- nezávislost na distributorovi elektrické energie (záloha při výpadcích, nezávislost na růstu cen energií),
- optimalizace výroby (akumulace, spotřeba, odběr),
- snížení nákladů na nákup elektrické energie,
- variabilita systému (možnosti rozšíření systému, výstavba po etapách),
- šetrnost k životnímu prostředí,
- kvalitnější signál elektrické energie ze střídače ve srovnání s distribuční sítí,
- odpadá zbytečná byrokracie, jelikož není nutné žádat o povolení distributora a o licenci na výrobu elektřiny, jelikož splňuje požadavek na prokazatelné galvanické oddělení od DS a nedochází tak k jejímu negativnímu ovlivňování, díky transformátoru obsaženému v hybridním měniči (na rozdíl od HFVE s AC vazbou, HFVE s měničem bez transformátoru nebo ON-Grid Backup systémům). [14]

3.2 HFVE a fotovoltaický ohřev TV

Velmi perspektivním se v současnosti jeví využití fotovoltaiky pro ohřev vody. Jelikož se finanční návratnost instalace hybridního systému při větších spotřebách elektrické energie zkracuje, je vhodné využívat elektrického ohřevu TV nebo i při větších instalacích ohřevu vody topné. Pro ohřev vody může být využíváno přebytků nespotřebované energie, čímž se celkově zlepšuje využití vyrobené elektrické energie.

V porovnání s termickým ohřevem vody pomocí solárních kolektorů má fotovoltaický ohřev nespočet výhod. Mezi ně patří např. jednoduchá a rychlá instalace, bez nutnosti instalace teplovodních potrubí, ve kterých vznikají ztráty, celoroční ohřev vody bez čerpadla, expanzní nádrže či regulační jednotky, možnost kombinace ohřevu stejnosměrným i střídavým proudem (při využití speciálních fotovoltaických ohříváčů), levnější pořizovací náklady, téměř bezúdržbový provoz atd. Jedinou podstatnou nevýhodou je potřeba větší střešní plochy. [15]

4 KOMPONENTY HFVE

4.1 Fotovoltaické panely

Fotovoltaické panely představují soubor mnoha fotovoltaických článků uložených do ochranného rámu a obalu. Mezi nejvyužívanější typ panelů patří krystalické křemíkové panely, které jsou dále podrobněji popsány.

4.1.1 Konstrukce a výroba fotovoltaických panelů

Křemíkové fotovoltaické články

Prvek křemík je druhým nejčastěji se vyskytovaným prvkem zemské kůry, a to hned po kyslíku. Dokonce ho obsahuje i lidský organismus. V přírodě se křemík objevuje vázaný ve sloučeninách v mnoha formách. Jedná se o např. křemičitý písek a horniny ho obsahující, ale nalezneme ho také ve světových mořích ve formě kyseliny křemičité. [16]

Pro výrobu čistého křemíku je nejčastěji využívaná surovina ve formě křemičitého písku. Z chemického pohledu křemen představuje čistý kysličník křemičitý SiO_2 . K získání čistého křemíku je třeba odstranit atomy kyslíku, což je možné jen za velmi vysokých teplot okolo 2000 °C. Postup se provádí v obloukové peci. Výsledný produkt této fáze výroby se nazývá průmyslový surový křemík a má čistotu 98 až 99 %, což pro výrobu fotovoltaických článků nedostačuje. [16]

Surový křemík tedy musí podstoupit další rafinaci. Další fází je rozpuštění surového křemíku v chlorovodíkové kyselině, kdy se křemík mění na trichlorsilan HSiCl_3 , který se následně destiluje. Při teplotách 1000 až 1200°C je křemík oddělován a vytváří krystalické tyče, které jsou tvořeny polykrystalickým křemíkem o čistotě 99,99 %. Ten je již využitelný pro výrobu polykrystalických článků. [16]

Na výrobu monokrystalických článků se musí křemík znovu roztavit a pomocí metody polského chemika Czochralskiho vytvořit křemík ještě větší čistoty. Toho je dosahováno za pomoci velmi pomalého tažení rotujícího zárodku monokrystalického křemíku taveninou křemíku, na který se tavenina ukládá. Zárodek vnucuje roztavenému materiálu svoji strukturu tím způsobem, že krystaly křemíku jsou orientovány do jednoho směru. Příměsí a nečistoty zárodek nepobírá. Tím vzniká kruhová tyč monokrystalického materiálu o čistotě 99,99999 % vhodnou pro výrobu monokrystalických fotovoltaických článků. [16]

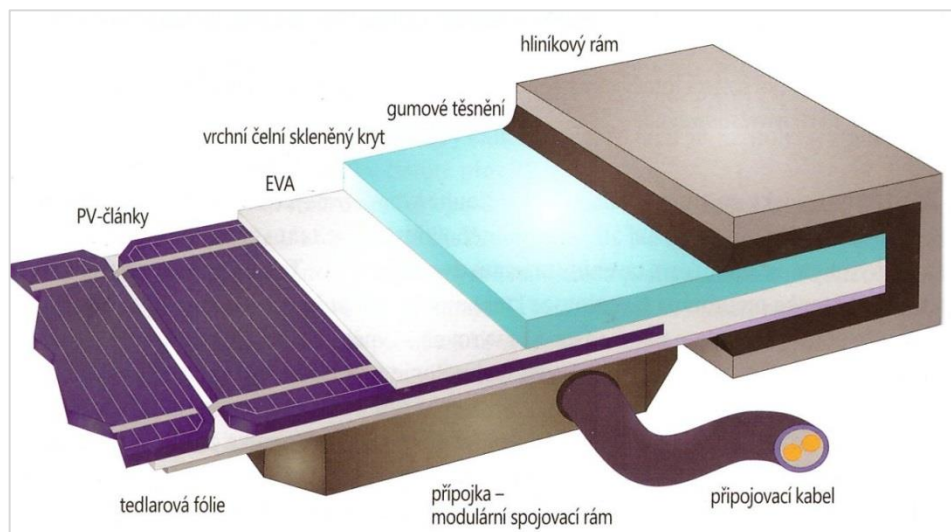
Z již získaných tyčí je třeba nařezat tenké křemíkové plátky tzv. wafery (tloušťka cca 0,2 mm). Tyto se poté ponoří do kyseliny, čímž se odstraňují poškození a nerovnosti vnějšího povrchu vzniklé řezem. Následně se wafery dotují či legují plynnou příměsí, díky čemuž je na nich vytvořen PN přechod. Dále je nutné na povrch budoucího článku nanést antireflexní vrstvu z nitridu křemíku, který má modrou barvu, charakteristickou pro křemíkové články. Poté se nanáší přední a zadní kontakty na článek. Přední bývá tvořen ve tvaru tenké mřížky, aby zakrýval co nejmenší plochu a vznikaly co nejmenší ztráty. Zadní kontakt bývá celoplošný. Toto nanesení je realizováno pomocí sítotisku nebo vakuových technologií. U některých speciálních typů článků jsou kontakty vnořeny do materiálu. Tyto hotové fotovoltaické články jsou poté odzkoušeny, rozčleněny dle výkonnosti a je možné je využít k výrobě fotovoltaických panelů. [16], [17]

Křemíkové panely

Fotovoltaické panely jsou složeny ze sério-paralelně spojených čtvercových fotovoltaických článků. Typická délka strany fotovoltaického článku je přibližně 15 cm, existují však i 20 cm články. Čím je článek větší, tím zvládá vyrobit větší elektrický proud, ale napětí zůstává konstantní. S velikostí roste také riziko prasknutí článku. Jelikož se napětí jednoho článku pohybuje kolem 0,6 V a k praktickému využití elektrické energie je zapotřebí napětí mnohem vyšší, články jsou zapojovány převážně do série, čímž se výstupní napětí panelu zvýší. Sériové zapojení článků spočívá v připojení předních kontaktů jednoho článku (záporný pól) k zadnímu kontaktu článku druhého. K nabíjení 12 V akumulátoru je tedy potřeba sériové zapojení 32 až 40 článků. Pro potřebu síťového napájení pomocí měniče je zapotřebí ještě většího napětí a proto se vyrábí fotovoltaické panely i s více sériově zapojenými články. [16]

Protože jsou solární články velmi křehké a náchylné na vlhkost a korozi, je nutné je před okolními vlivy chránit. Proto se články ukládají do speciálního plastového lože z etylenvinylacetátu, tzv. EVA fólie a do skleněného čelního krytu. Při teplotě 100 °C se pomocí laminování spojují články s fólií a fólie se sklem. Zadní strana bývá opatřena chránicí tedlarovou fólií někdy také skleněným krytem. Dále pak spojovacím rámem, kde je uloženo vedení pro propojení článků a ochranné diody (nejčastěji dvě). Jedna slouží pro ochranu při sériovém zapojení několika panelů, kdy při jejich nerovnoměrném zastínění může dojít působením proudu z osvětlených panelů k jeho poškození. Díky tzv. bypassové diodě je možné zastíněná místa obejít. Druhá dioda zajišťuje, že při nedostatečném osvět-

lení panelů, zapojených paralelně, nedochází k zpětnému vybíjení akumulátorů do panelů. Tuto ochranu však většinou zajišťuje solární regulátor. [16], [18]



Obrázek 7 Uložení krystalického článku (EVA – Etylen-Vinil-Acetat) [16]

4.1.2 Vzájemné propojení FV panelů

Jen pro velmi malé aplikace postačí výkon z jednoho panelu, který se obvykle pohybuje do 300 W. Proto je potřeba využít panelů více a zvolit nejlepší možnost jejich vzájemného zapojení, čímž vytvoříme fotovoltaický generátor, jehož výstupní hodnoty se od druhu zapojení liší. Pro síťové aplikace, tedy fotovoltaické elektrárny dodávající energii do sítě, je ideální využít spíše sériového zapojení, čímž lze dosáhnout vysokých výstupních napětí. V případě menších aplikací, kdy je energie spotřebovávána pouze lokálně a bývá ukládána v akumulátorech, je ideální volit kombinaci sériového i paralelního zapojení, čímž lze dosáhnout ideálních vstupních hodnot proudu i napětí do regulátoru nabíjení akumulátoru.

Často jsou tři až čtyři panely zapojeny sériově, čímž tvoří tzv. string a dle počtu panelů ve stringu se odvíjí výstupní napětí generátoru. Podle počtu takových větví, vzájemně zapojených paralelně se potom odvíjí výše výstupního proudu. Pro vzájemné propojování panelů je doporučováno využívat panely stejného typu a výrobce. [18]

4.1.3 Technologie fotovoltaických panelů

Monokrystalické panely

Panely z monokrystalického křemíku sc-Si jsou nejdražší, avšak mají nejvyšší účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii, která se pohybuje okolo 15 – 22 %. Díky tomu jsou často využívány, a to jak pro ostrovní nebo hybridní systémy tak pro systémy síťové instalace a to především tam, kde je možná optimální orientace přímo na jih a sklon 35°. Tento druh panelů je výborný na přeměnu přímého slunečního záření, při jeho nedostatku a převaze difúzního záření jeho účinnost razantně klesá. [19]

Polykrystalické panely

Polykrystalické panely mc-Si jsou levnější variantou křemíkových panelů. Jejich účinnost se pohybuje kolem 14 – 20 %. Tato účinnost je v porovnání s monokrystalickými panely o něco menší, disponují však schopností větší absorpce rozptýleného světelného záření v širším vstupním úhlu. Tedy při difúzním záření si zachovávají stále slušnou účinnost a odchylky od ideálního sklonu a orientace panelů nezaznamenávají tak vysoký útlum účinnosti, jak je tomu u monokrystalických technologií. Vyznačují se typickou světlomodrou barvou. [19]

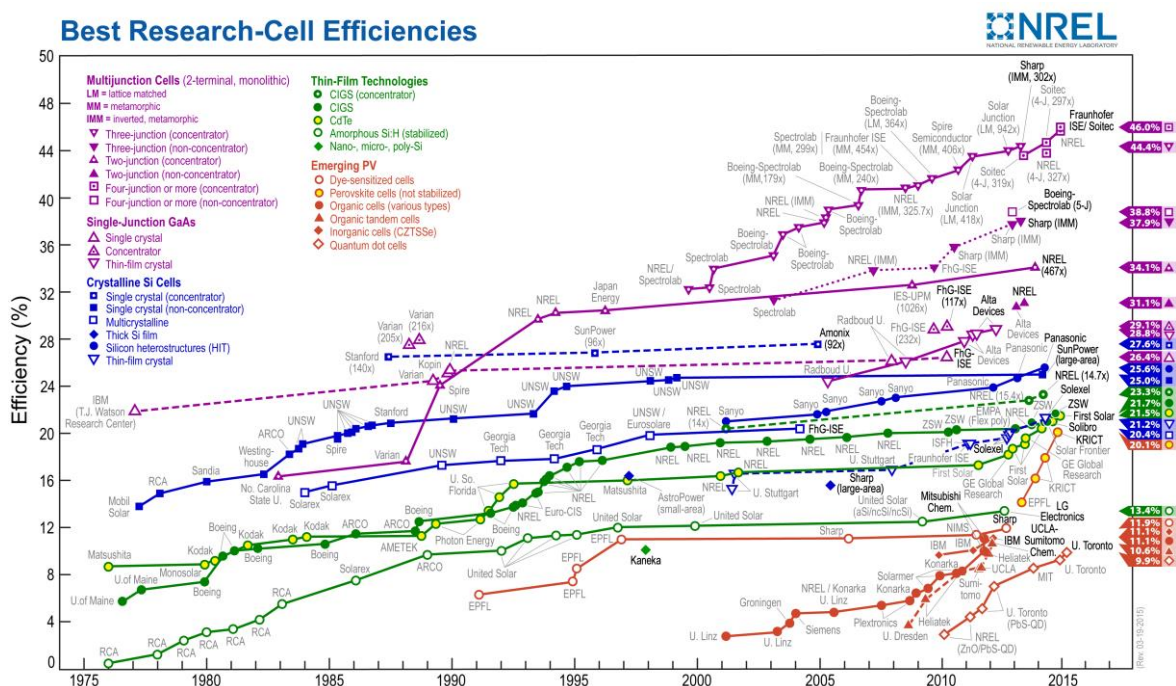
Tenkvrstvé panely

Jedná se o tzv. druhou generaci technologie fotovoltaických panelů, kam řadíme amorfni křemíkové panely a-Si, CIS (měď-indium-selen), CIGS (měď-indium-gálium-selen), CdTe (telurid kademnatý) panely aj. Tloušťka těchto materiálů se pohybuje v jednotkách μm . Jejich účinnost je přibližně poloviční než u polykrystalických panelů a rychleji se také dostavuje degradace výkonu. Pro střešní aplikace jsou tedy vhodné méně, jelikož je nutné využít větší plochu pro instalaci. Mají však i řadu předností, kterými převyšují předchozí technologie. Např. výrazně nižší náklady na výrobu, tedy pořizovací cenu, vysokou teplotní odolnost a schopnost využití rozptýleného světelného záření. Významnou kladnou vlastností je také to, že i při částečném zastínění panelu zvládají dodávat energii, která odpovídá přibližně nezastíněné ploše, avšak u polykrystalických nebo monokrystalických technologií by byl v takovém případě výkon velmi malý, až nulový. [20]

Vícevrstvé panely

Vícevrstvé solární články, jsou tvořeny několika vrstvami polovodičů, kdy každá vrstva využívá určitou část spektra slunečního záření. Fotony, které mají vyšší energii, než je šíř-

ka zakázaného pásu, jsou absorbovány, zbytek záření je propuštěn na další z vrstev. Teoreticky lze dosáhnout účinnosti u dvouvrstvých článků až 42 %, třívrstvých 49 %, šestivrstvých 65 %. Maximální teoretická účinnost pro nekonečný počet vrstev je 68 %. Aktuální rekord (ke květnu 2015) ve výši účinnosti fotovoltaických článků je z přelomu roku 2014 a 2015, kdy německo – francouzský tým v laboratořích CEA-Leti dosáhl účinnosti čtyřvrstvých koncentrátorových článků ve výši 46 %. Toho bylo dosaženo s využitím článků nové generace francouzské značky Soitec/ CEA-Leti ve spolupráci s německým Fraunhoferovým institutem. Tento rekord evropských firem však nemusí dlouho platit. Americká společnost Semprius si klade za cíl zvýšit počet polovodičových vrstev na šest a dosáhnout v horizontu 3 až 5 let na rekordní metu účinnosti 50 %. V českých podmínkách je však technologie vícevrstvých koncentrátorových článků pro komerční užití značně neefektivní, kvůli zdejším slunečním podmínkám s vysokým podílem rozptýleného světla a také vzhledem k jejich vysoké ceně. [21], [22]



Obrázek 8 Trend rekordních účinností jednotlivých technologií fotovoltaických článků [23]

Existují však i komerčně dostupné panely s vícevrstvou technologií. Jedná se např. o špičkové články firmy Spectrolab. Ty dosahují vysoké účinnosti kolem 30 %. Jejich výroba je ale stále náročnější v porovnání s jednovrstvými technologiemi, což se také odráží na jejich dva až třikrát větší ceně za jeden watt výkonu. Zajímavou novinkou v této oblasti jsou komerčně dostupné a cenově příznivé panely firmy Panasonic řady Panasonic HIT.

Tyto panely využívají kombinaci vrstvy amorfního křemíku a monokrystalických křemíkových článků. Tato technologie využívá předností obou materiálů. Vzhledem k vysokému výkon těchto dostupných panelů, jsou výborné pro střešní aplikace s nedostatkem místa pro instalaci požadovaného výkonu standartními panely. [24]

Mezi další trendy v technologii výroby fotovoltaických panelů bych zařadil např. výrobu bílých a barevných panelů bez viditelných článků a spojů, které mohou s budovou zcela splynout, neustále se zvyšující úroveň účinnosti monokrystalických panelů nebo vývoj zcela nových technologií článků, jako jsou např. nové Americké hybridní články, které dokáží v kombinaci se vzduchovou baterií skladovat svoji vyrobenou energii. [25]

Výběr vhodné technologie fotovoltaických panelů se vždy řídí dle konkrétní situace objektu.



Obrázek 9 Monokrystalický (vlevo), polykrystalický (uprostřed), amorfní (vpravo) fotovoltaický panel [26]

4.2 Hybridní měniče napětí

Obecně jsou měniče napětí, také označované jako střídače, elektronické přístroje převádějící stejnosměrné napětí z fotovoltaického generátoru na napětí střídavé (230 V, 50 Hz). Pro aplikace fotovoltaického systému na rodinný dům jsou neodmyslitelnou součástí. Princip jejich činnosti spočívá v rozsekání stejnosměrného proudu na střídavý pomocí výkonových tranzistorů, které zvládnou až 20 000 x za sekundu proud zapnout a vypnout. Prostřednictvím transformátoru se dá tento rozsekaný stejnosměrný proud přetransformovat na požadovanou úroveň napětí. Dle tvaru výstupního napětí lze měniče dělit na obdélníkové, lichoběžníkové a sinusové. Pro domácí aplikace se již výhradně využívají měniče

s čistým sinusovým výstupním napětím, velmi kvalitní měniče mohou mít dokonce kvalitnější parametry signálu v porovnání s dodaným z distribuční sítě. [2]

Dále střídače můžeme rozdělit na FVE střídače bez transformátoru, které jsou paralelně spojeny s distribuční sítí, FVE střídače s transformátorem, které jsou galvanicky odděleny od distribuční sítě, ale není vyloučeno její ovlivňování, HFVE střídače bez transformátoru, které nejsou galvanicky odděleny od distribuční sítě a mohou ovlivňovat distribuční síť vyššími harmonickými frekvencemi a na HFVE s transformátorem, které jsou galvanicky oddělené od sítě, kterou nijak negativně neovlivňují. [13]

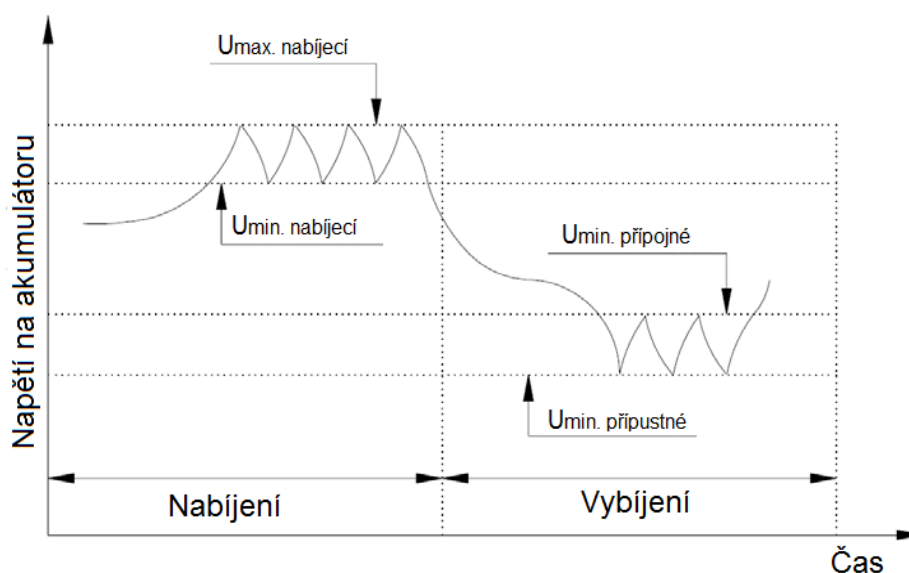
Pro hybridní fotovoltaický systém na rodinný dům jsou vhodné hybridní měniče s transformátorem. Ty dokáží pracovat paralelně se sítí nízkého napětí, aniž by byl zapotřebí souhlas distributora elektrické energie o připojení fotovoltaické elektrárny do sítě, jelikož je od sítě prokazatelně galvanicky oddělena a nevykazuje žádné její negativní ovlivňování, či přetoky. V případě opětovné podpory připojování fotovoltaických elektráren do distribuční sítě jsou hybridní měniče připraveny na možné přenastavení a využití např. režimu zelených bonusů. Hybridní měniče plní funkci záložního zdroje UPS při výpadcích energie z rozvodné sítě a umožňují plynulou regulaci množství energie odebírané z akumulátorů či z distribuční sítě, což je významný rozdíl od měničů ostrovních, které dokáží pouze přepínat mezi těmito zdroji energie. Aktuálně jsou na trhu dostupné pouze dvě řady hybridních měničů, které tato kritéria opravdu splňují, a to měniče Xantrex francouzské firmy Schneider Electric a měniče řady Xtender od švýcarské firmy Studer Innotec. [27]



Obrázek 10 Hybridní měniče napětí [28]

4.3 Regulátory nabíjení

Základním úkolem pro regulátor nabíjení je řízení procesu nabíjení a vybíjení akumulátoru. Převádí napětí z fotovoltaických panelů na vhodnou hodnotu napětí pro nabíjení akumulátorů. Zajišťuje tedy optimální nabíjení akumulátoru, což je velmi důležitým faktorem pro jeho životnost, zabráňuje vybíjení akumulátoru fotovoltaickým generátorem za tmy, který se vlivem vnitřního odporu může chovat jako spotřebič a také chrání akumulátor před přebíjením či hlubokým vybitím, kdy se řídí jeho hodnotou napětí a pokud je dosaženo minimální hodnoty, tedy minimálního přípustného napětí $U_{\min \text{ přípustné}}$, regulátor odpojí zátěž od akumulátoru. Posléze, až se akumulátor začne znovu nabíjet, má regulátor nastavenou hodnotu $U_{\min \text{ připojné}}$, což je úroveň napětí, při kterém logika nabíjení opět umožňuje připojit zátěž. V případě dosažení maximálního dovoleného nabíjecího napětí, kdy je akumulátor dobitý na maximální možnou hodnotu, při které nedochází k přebíjení, regulátor odpojí generátor. Následuje pokles napětí na člancích akumulátoru, který je úměrný buď velikostí aktuálního odběru případně samovybíjení až do té doby, nedosáhne-li velikost napětí nastavené úrovně $U_{\min \text{ nabíjecí}}$, v tuto chvíli je znovu připojen generátor. Popsané regulační úrovně napětí jsou zjednodušeně znázorněny na níže uvedeném diagramu. [2], [29]



Obrázek 11 Názorný diagram regulačních hodnot napětí [29]

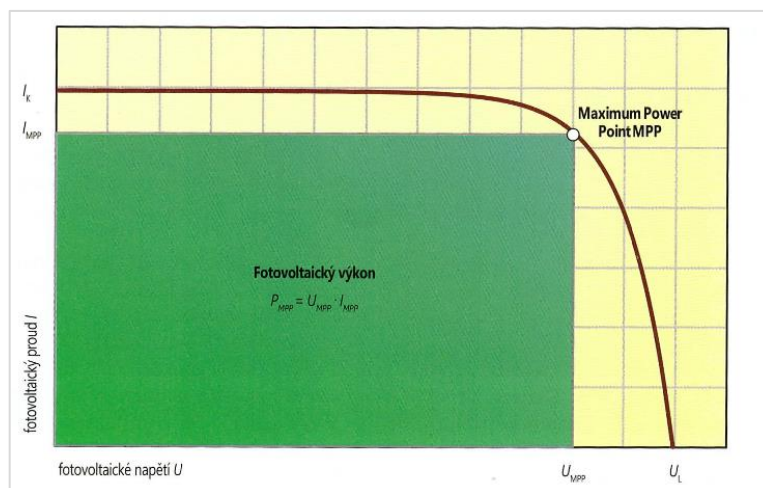
Regulátory nabíjení by se daly rozdělit do dvou kategorií. Na běžné solární regulátory, sloužící jako stabilizátor napětí a automatický nabíjecí prvek akumulátorů. Ty jsou schopny kontrolovat aktuální stav akumulátoru a udržet akumulátor v plně nabitém stavu. Jedná se o levné jednoduché přístroje. Jejich účinnost se však pohybuje pouze okolo 80 %. To je

zapříčiněno tím, že regulátor je schopen pracovat pouze s proudem dodaným fotovoltaickým generátorem. V případě nízké intenzity slunečního záření se může napětí z generátoru dostat na úroveň nižší než je hodnota potřebná k nabíjení akumulátoru a akumulátor tedy nebude dobíjen vůbec. Další ztráty mohou nastat i při době s velmi vysokým slunečním zářením, kdy regulátor je schopen dodat akumulátoru pouze takový maximální proud, jaký dodá generátor a ne vyšší, což také není optimální. [30]



Obrázek 12 Regulátory nabíjení [6]

Tyto problémy řeší novější generace regulátorů nabíjení, označované jako MPPT (Maximum Power Point tracking) měniče. Ty disponují vestavěným vysokofrekvenčním DC-DC měničem, který mění vstupní stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční střídavé napětí. To je dále přetransformováno zpět na stejnosměrné, ale jiné velikosti. Změněna je i velikost proudu. Dochází tedy k optimalizaci napětí i proudu, což představuje zásadní výhodu oproti běžným regulátorům a zvyšuje účinnost až na 95 %. Regulátory MPPT jsou schopny regulovat fotovoltaické pole s výrazně vyšším napětím, než je napětí akumulátorů a zpracovat výkon panelů bez větších ztrát. U malých ostrovních instalací, kde se snažíme pořizovací cenu držet na minimu, je vhodnější využít běžný solární regulátor, naopak u větších aplikací se jednoznačně vyplácí MPPT regulátory. [30]



Obrázek 13 Volt-ampérová charakteristika regulovaná MPPT regulátorem [16]

4.4 Akumulátory

Pro ukládání elektrické energie se v hybridních a ostrovních solárních systémech využívají výhradně elektrochemická zařízení, která lze opakovaně nabíjet, známé jako akumulátory. V nich se ukládá elektrický proud pomocí vratných chemických pochodů. Známe různé konstrukce těchto zařízení, lišících se od sebe především prvky, které se účastní procesu ukládání. Mezi nejběžněji využívané akumulátory pro solární aplikace patří olovené akumulátory, nikl-kadmiové, nikl-metalhydridové a lithium-železo-fosfátové akumulátory. [2]

Důležitou vlastností každého akumulátoru je jeho kapacita. Ta udává množství elektrického proudu, které je plně nabitý akumulátor schopen dodat až do jeho úplného vybití. Je udávána v Ah (ampérhodinách). Užitečná kapacita není konstantní, jelikož je velmi ovlivněna např. velikostí vybíjecího proudu. Při větších proudových odběrech je kapacita menší v porovnání s menšími avšak delšími odběry. Na kapacitu má také vliv teplota akumulátoru. Při nízkých teplotách probíhají chemické procesy v akumulátorech pomaleji a v důsledku toho je možné odebrat méně proudu. [2]

Další významnou vlastností akumulátoru je jeho počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Ten udává jeho životnost. Rozlišujeme dva druhy cyklů, tedy úplné cykly a částečné cykly. Úplným cyklem je myšleno vybití akumulátoru až ke koncovému vybíjecímu napětí. U částečného cyklu je odebrána pouze část jeho kapacity, což se děje v provozu nejčastěji a počet takových cyklů je v porovnání s počtem cyklů úplných výrazně vyšší. Podstatná je

také energetická účinnost akumulátoru, která udává poměr energie, kterou lze odebrat, k energii přivedené. Ta se dnes u kvalitních zařízení pohybuje kolem 90 %. [2]

4.4.1 Zapojení bateriových článků

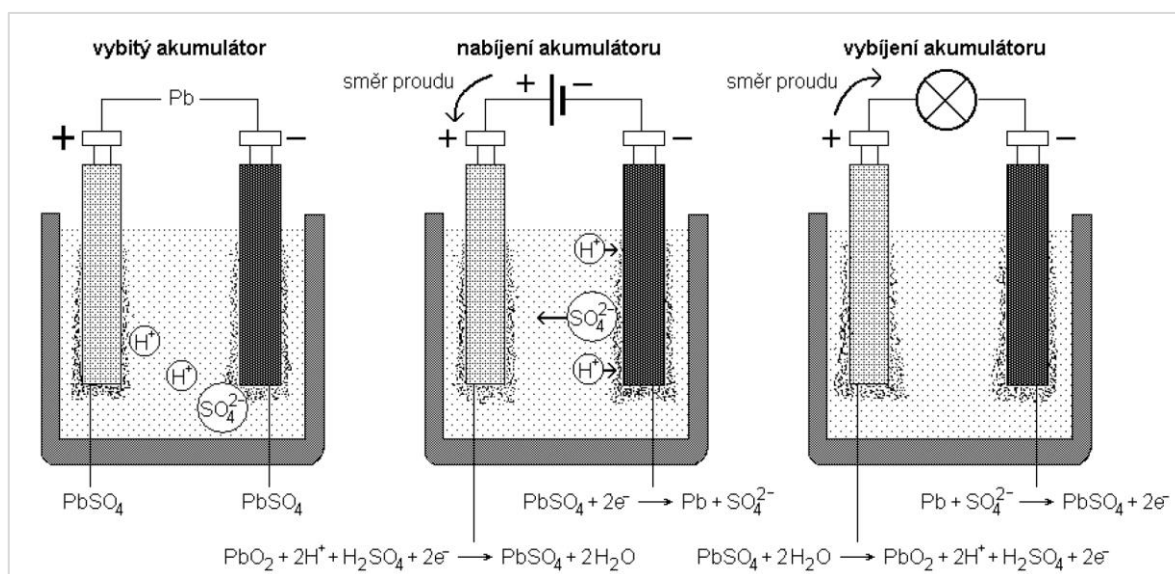
Jelikož se napětí u samostatných bateriových článků pohybuje kolem 2 – 4V a v reálných aplikacích je potřeba napětí a kapacita vyšší, spojujeme více článků do baterií tzv. battery pack. [32]

Články se mezi sebou dají zapojovat následovně:

- **sériově** – při sériovém zapojení článků se sčítají svorková napětí všech zapojených článků, při nabíjení článků zapojených v sérii je třeba myslet na to, že se neukládá elektrická energie do všech článků rovnoměrně a je zde vhodné využít některý z druhů balancování,
- **paralelně** – paralelním zapojení článků se sčítá jejich kapacita, pokud je vnitřní odpor každé větve stejný, je proud odebírán ze všech článků rovnoměrně,
- **kombinace** – velmi časté je zapojení sério-paralelní, kdy máme např. 6 článků, zapojených ve dvou větvích po třech, tím lze dosáhnout dvojnásobné kapacity a trojnásobného napětí. [32]

4.4.2 PbA akumulátory

Olověné akumulátory jsou v solárních domovních aplikacích, díky své cenové dostupnosti a poměrně dobrým vlastnostem, velmi častou volbou. Jedná se o nejstarší druh akumulátoru elektrické energie. Jejich princip je znám více než 140 let. Akumulátor je nejčastěji složen z olověných desek v páru (katoda, anoda), ponořených v roztoku kyseliny sírové, umístěných v nádobě. Při jeho dobíjení se dodávaná elektrická energie mění na energii chemickou a při vybíjení se akumulovaná energie mění zpět na energii elektrickou. V době nabíjení je záporná elektroda akumulátoru anodou a při vybíjení katodou, kdy se aktivní hmota obou elektrod přeměňuje na síran olovnatý $PbSO_4$. Tím je elektrolyt ochuzován o kyselinu sírovou a je obohacován o vodu, čímž klesá jeho koncentrace. U nabíjení je tomu přesně naopak. [33]



Obrázek 14 Nabíjení a vybíjení Pb akumulátoru [33]

Pro zjištění stavu nabití olověných akumulátorů, tedy stavu dostupné části jejich kapacity je nejčastějším způsobem měření jeho napětí naprázdno. Jedná se o jednoduchý, avšak nepříliš přesný způsob. Pro přesnější určení se využívá měření hustoty kyseliny v akumulátoru. Tato možnost je použitelná pro akumulátory s přístupem k elektrolytu. [2]

Tabulka 1 Měření kapacity Pb akumulátoru dle napětí a hustoty kyseliny [2]

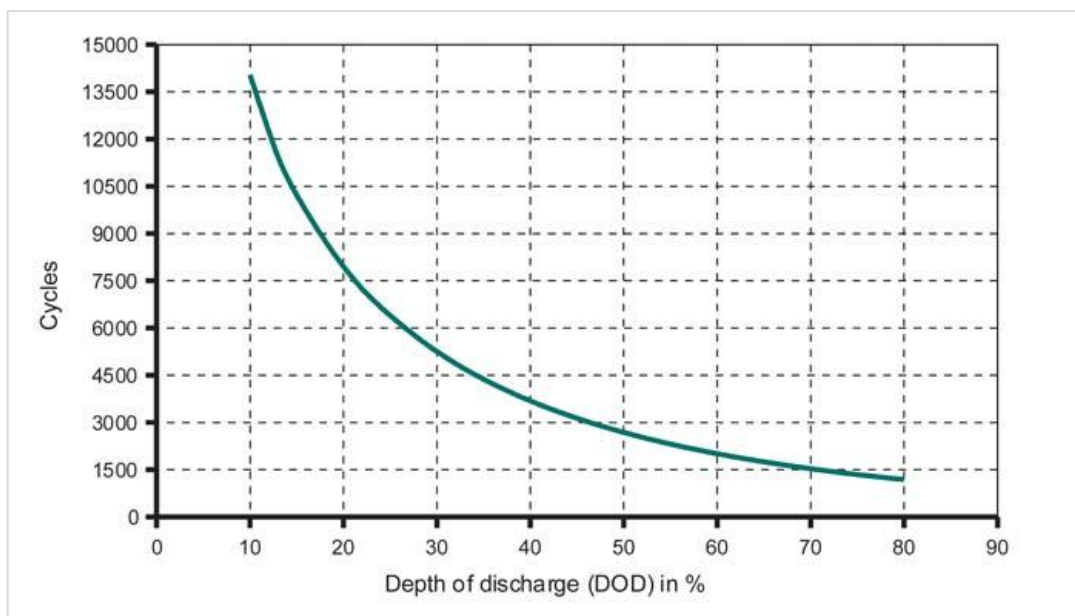
Napětí akumulátoru	Kapacita	Hustota kyseliny	Kapacita
11,98 V	0 %	1,14 g/cm ³	0 %
12,13 V	20 %	1,17 g/cm ³	20 %
12,28 V	40 %	1,20 g/cm ³	40 %
12,42 V	60 %	1,22 g/cm ³	60 %
12,57 V	80 %	1,25 g/cm ³	80 %
12,72 V	100 %	1,28 g/cm ³	100 %

Olověné akumulátory, využívané v solárních aplikacích můžeme rozdělit na :

- **startovací baterie** - známé z automobilů, konstruované na odběr méně než 10 % své jmenovité kapacity při startování motoru s vysokým samovybíjením nejsou vhodné pro ukládání solární energie,
- **solární akumulátory** – jedná se o vylepšenou verzi startovacích baterií zesílením mřížkových desek akumulátoru, mají vyšší životnost a snesou několikanásobek cyklů (přibližně 300 až 500), hodí se spíše pro menší solární systémy,
- **trakční blokové akumulátory** – jsou robustní uzavřené akumulátory původně určené pro pohon (např. vysokozdvíhých vozíků) s vysokou cyklickou životností

pohybující se okolo 1400 cyklů (při vybití 80 % kapacity) až 13 000 cyklů (při vybití 20 % kapacity), což odpovídá provozu 20 let, při správné konfiguraci do systému jsou trakční akumulátory vhodnou a hospodárnou volbou pro solární aplikace na rodinný dům,

- **bezúdržbové akumulátory** – jejich elektrody jsou vyrobeny ze speciálních materiálů, ze kterých se při nabíjení pod koncovým nabíjecím napětím neuvolňují plyny, díky čemuž mohou být zcela uzavřeny, spadají sem i akumulátory gelové, které mají místo kapalného elektrolytu elektrolyt gelový, u těchto druhů akumulátoru je problém jejich velmi vysoká citlivost na přebíjení. [2]



Obrázek 15 Vliv počtu cyklů na životnost Pb akumulátoru [34]

Mezi nejvhodnější typ olovených akumulátorů pro využití v hybridních a ostrovních fotovoltaických systémech pro rodinný dům jsou trakční blokové akumulátory PzS nebo staniční OPzS akumulátory, svými vlastnostmi podobné trakčním. Jejich hlavními přednostmi je spolehlivost, bezpečnost, odolnost a především výborný poměr cena/výkon. Tato technologie je využívána velmi dlouhou dobu, je tedy prověřena časem. Trakční olovené akumulátory mají však i několik nevýhod, kam spadá jejich vysoká hmotnost (např. 1000Ah / 48V – 1200 kg), nutnost jejich údržby (dolévání elektrolytu), nutnost odvětrávání a nižší počet cyklů při výraznějším vybití oproti jiným technologiím, což vede k instalaci větších kapacit akumulátoru a jejich mírnějšímu vybití. To má za následek prodloužení životnosti. Instalace větší kapacity akumulátoru může být vzhledem ke změnám počasí

a nedostatku solární energie nebo v případě delších výpadků energie z distribuční sítě naopak výhodou. [13]



Obrázek 16 Trakční Pb akumulátor [35]

4.4.3 Lithium – Iontové akumulátory

Lithium – Iontové akumulátory, často označované zkratkou Li-ion jsou technologií známou již od roku 1912, avšak do povědomí se dostala až v posledních 20 letech, kdy se velmi rozšířila pro napájení mobilních telefonů a notebooků. Tato technologie v mnoha ohledech předčila jiné a představuje jakýsi nadstandard v oblasti akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů. [36]

Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO4)

Mezi nejběžněji využívané lithium-iontové akumulátory v oblasti akumulace využívané fotovoltaickými systémy patří lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO4). Tato technologie byla vyvinuta v roce 1996 na Texaské univerzitě. LiFePO4 články se velmi brzy začaly využívat např. pro pohon elektromobilů či elektrokol, ale také ve fotovoltaických systémech, pro své výhody především v systémech ostrovního charakteru. [37]

Velkou výhodou této technologie je jejich životnost. Ta se odvíjí také od počtu cyklů a hloubkách jejich vybití. Ve srovnání s trakčními akumulátory PzS, které při cyklech s 80 % vybití zvládají max. 1300 cyklů, LiFePO4 články vydrží bez problému 2000 i více cyklů. Při ohleduplnějším užívání mohou články vydržet až 8000 cyklů. Zajímavostí na stárnutí těchto článků je to, že jejich stárnutí probíhá lineárně. V případě olovených akumulátorů se jejich kapacita při překročení určitého počtu cyklů razantně snižuje, avšak

LiFePO₄ články jsou schopné fungovat i po překročení jejich udávané životnosti. Další významnou výhodou je to, že články mají pracovní rozsah napětí 3 – 3,6 V, což při využití 4 článků odpovídá celkovému napětí 12 – 14,4 V, tedy obdobným napěťovým rozsahům jako u rozšířených olověných akumulátorů. Díky tomu jsou kompatibilní s dalšími běžně využívanými komponenty, původně určených pro olověné baterie, jako jsou nabíječe či měniče. Mezi další výhody patří vysoká bezpečnost, bezúdržbovost a nízká váha. [37]



Obrázek 17 LiFePO₄ akumulátory [38]

LiFePO₄ akumulátory jsou vhodné zejména pro systémy, kde probíhá denní cyklus dobíjení a vybíjení. Ve srovnání s olověnými akumulátory jim také nevadí čekání na dobití např. přes noc, což olověným akumulátorům neprospívá. Dalším kladem této technologie je to, že délka životnosti článků je srovnatelná s dalšími komponenty systému. Je jasné, že v případě pořízení si kompletního fotovoltaického systému se nám nebude chtít měnit podstatný komponent systému a znovu do systému investovat peníze. [37]

Lithium-železo-fosfátové články mají však i jisté nevýhody. Mezi hlavní spadá zdá se jejich cena, která se ve srovnání s běžně používanými typy olověných akumulátorů může pohybovat až čtyřnásobně vyšší. To se však může lišit v úhlu pohledu na věc. Při ohledu na jejich velmi vysoký počet cyklů a vysokou účinnost se při přepočtu na náklady na akumulaci 1 kWh rovnají nákladům za akumulaci 1 kWh v nejvhodnějších typech olověných staničních a trakčních akumulátorů velkých kapacit (nad 200 Ah). Nevýhodou je tedy pouze vyšší vstupní investice. [37]

Tabulka 2 Porovnání lithium-železo-fosfátových a olověných článků [39]

	LiFeYPO4 200 Ah	LiFeYPO4 300 Ah	Pb staniční 225 Ah	Pb trakční 325 Ah
Kapacita [Ah]	200	300	225	325
Napětí [V]	3,2	3,2	6	6
Počet cyklů při 70 % DOD [-] ¹	5000	5000	1600	1600
Cena [Kč]	6690	9990	3500	6100
η_{SH} [%]	85	85	60	60
η_{HH} [%]	95	95	91	91
Cena za 1 kWh při η_{SH} [Kč]	2,46	2,45	2,7	3,26
Cena za 1 kWh při η_{HH} [Kč]	2,2	2,19	1,78	2,15
Náklady na 1 kWh [Kč]	2,33	2,32	2,24	2,7

Další nevýhodou akumulátorů složených z LiFePO4 článků je nutnost vzájemného balancování článků, tedy vyrovnávání jejich napětí. Je to především z toho důvodu, že se články mohou nabíjet a vybíjet nerovnoměrně, čímž může dojít k přebití nebo hlubokému vybití některých článků z akumulátoru. To může mít za následek ztrátu kapacity až poškození článků. [37]

¹ D.O.D. (depth of discharge) 70 % představuje hloubku vybití akumulátoru, tedy z akumulátoru je vyčerpáných 70 % jeho kapacity. Výpočet byl korigován energetickou účinností nabíjecího/vybíjecího procesu v extrémních případech, tedy krajních mezích (η_{SH} , η_{HH}).

5 LEGISLATIVA ČR PRO FOTOVOLTAIKU

Podpora obnovitelných zdrojů elektřiny v ČR byla zavedena přijetím zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Tento zákon byl vydán proto, aby ČR splnila svůj závazek Evropské unii, vycházející ze Směrnice 2001/77/EC o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, pokrýt 8 % konečné spotřeby energie z OZE k roku 2010. Roku 2009 byla přijata nová Směrnice 2009/28/EC o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů, která si klade za cíl v rámci EU dosáhnout alespoň 20 % podílu OZE na hrubé spotřebě energie v roce 2020 a pro ČR alespoň 13 %. Dle Národního akčního plánu ČR pro energii z obnovitelných zdrojů dosáhne v roce 2020 14 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie. [40], [41]

Zákon č. 180/2005 Sb. však poslanci v následujících novelách retrospektivně upravili, čímž poškodili většinu investorů fotovoltaických systémů. Jedná se o novely: z. č. 137/2010 Sb., z. č. 281/2009 Sb., z. č. 330/2010 Sb. a z. č. 402/2010 Sb. Od roku 2013 byl přijat nový zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie, kterým se z. č. 180/2005 Sb. zrušil. Tyto změny mají zásadní dopady pro provozovatele FVE. Jde např. o zavedenou tzv. srážkovou daň ve výši 26% (přímý výkup) a 28% (zelené bonusy) pro elektřinu vyrobenou ze slunečního záření roku 2013 ve výrobnách uvedených do provozu v období od 1. 1. 2009 do 31. 12. 2010, která však platí pro FVE větší než 30 kW, srážkovou daň ve výši 10% pro výkupní ceny a 11% pro zelený bonus, po celou dobu životnosti elektrárny nebo nastavení absurdního poplatku na podporu OZE za spotřebovanou vlastní energii. [42]

5.1 Formy podpory energie z FVE

5.1.1 Investiční podpora z dotačních programů

Jedná se např. o Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie EFEKT a další. Aktuálně (rok 2015) je možnost získání dotační podpory pro FVE, jak na národní úrovni, tak na úrovni krajů měst a obcí velmi omezená. Stát však chystá novou investiční podporu pro malé střešní FVE v rámci programu NZÚ, o které jedná ministerstvo životního prostředí s ministerstvem průmyslu. [43], [44]

5.1.2 Podpora formou osvobození od daní

Jde o osvobození od daně z příjmů v souladu s ustanovením zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů, pouze pro zařízení uvedené do provozu do roku 2010, po dobu pěti let. Dále může jít o daňové odpisy dle zákona o daních z příjmu, daně na základě zákona č. 261/2007 Sb., o stabilizaci veřejných rozpočtů, osvobození od daně z nemovitostí podle zákona 338/1992 Sb., o dani z nemovitostí. [43]

5.1.3 Provozní podpora

Od zvoleného druhu provozní podpory se odvíjí výplatní schéma podpory a také subjekty, které se ho účastní. Existuje podpora formou výkupních cen a zelených bonusů ročních a hodinových. Tyto formy podpory nelze kombinovat. Volba je regulována zákonem č. 165/2012 Sb. Výši výkupních cen a zelených bonusů stanovuje ERÚ. Od 1. 1. 2014 však došlo k pozastavení tohoto druhu podpory pro nově instalované fotovoltaické elektrárny. [45]

Forma výkupních cen

Při využití formy podpory výkupních cen je veškerá výrobcem vyrobená elektrická energie vykupována obchodníkem s elektřinou, za cenu platnou v době připojení do FVE do sítě. Tento obchodník je pro danou oblast určen Ministerstvem průmyslu a obchodu. Dle umístění výroby se jedná o vykupující E.ON Energie, a. s., ČEZ Prodej, s. r. o., a Pražská energetika, a. s. [45]

Forma ročních zelených bonusů

Zelený bonus představuje příplatek k tržní ceně elektřiny. Pokud výrobce prodá vyrobenou elektřinu za smlouvanou tržní cenu obchodníkovi s elektřinou nebo vyrobenou energii sám spotřebuje, má právo navíc inkasovat zelený bonus, který hradí operátor trhu na základě naměřených hodnot vyrobené elektrické energie nebo v případech podle § 11 odst. 6 na základě vypočtených hodnot vyrobené elektřiny evidovaných operátorem trhu podle prováděcího právního předpisu. [45]

Forma hodinového zeleného bonusu

Hodinový zelený bonus je obdobou bonusu ročního, s tím rozdílem, že se jeho výše mění podle hodinové ceny elektrické energie. Výpočet výše hodinového zeleného bonusu stanovuje ERÚ, a to pro každou kategorii OZE. [45]

Tabulka 3 Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014 [46]

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Jednotarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	a	b	c	d	e	l	m
500	Výroba elektřiny využitím slunečního záření	-	31.12.2005	-	-	7 566	6 836
501		1.1.2006	31.12.2007	-	-	15 876	15 146
502		1.1.2008	31.12.2008	-	-	15 484	14 754
503		1.1.2009	31.12.2009	0	30	14 528	13 878
504		1.1.2009	31.12.2009	30	-	14 422	13 692
505		1.1.2010	31.12.2010	0	30	13 530	12 880
506		1.1.2010	31.12.2010	30	-	13 424	12 694
507		1.1.2011	31.12.2011	0	30	8 118	7 468
508		1.1.2011	31.12.2011	30	100	6 389	5 659
509		1.1.2011	31.12.2011	100	-	5 954	5 224
510		1.1.2012	31.12.2012	0	30	6 538	5 888
511		1.1.2013	30.6.2013	0	5	3 548	2 898
512		1.1.2013	30.6.2013	5	30	2 945	2 295
513		1.7.2013	31.12.2013	0	5	3 111	2 461
514		1.7.2013	31.12.2013	5	30	2 529	1 879

5.2 Připojení FVE do distribuční soustavy

Distribuční soustava České republiky je rozdělena na tři území, a to na území ČEZ Distribuce, a. s., pod kterou spadá severní část ČR, E.ON Distribuce, a.s. pro Jihočeský a Jihomoravský kraj a PREdistribuce, a.s. pro Prahu. Pro připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy je nutné splňovat podmínky provozovatele distribuční soustavy, jakož jsou podmínky poskytnutí distribuce (PPD), pravidla provozování distribuční soustavy (PPDS), konkrétně pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy dané přílohou 4 k PPDS a další platnou energetickou legislativu. Dále se žadatel řídí vyhláškou č. 81/2010 Sb., kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, která stanovuje následující podmínky pro připojení:

- podání žádosti o připojení (viz příloha P I a P II),
- předložení studie připojitelnosti (pro připojení k hladině VN a vyšší),
- uzavření smlouvy o připojení mezi žadatelem a provozovatelem soustavy. [47], [43]

Kromě smlouvy o připojení mezi žadatelem a provozovatelem soustavy, musí být uzavřena také smlouva o dodávce elektřiny, která upravuje převzetí odpovědnosti za odchylku. [43]

Dle PPDS přílohy 4 je nejdůležitějším požadavkem na připojované FVE zamezení zpětných vlivů na napájecí síť, kam spadají např. změny napětí při spínání zařízení, zvýšení napětí provozem výroby, flickr, nesymetrie u fázových vodičů, ovlivňování zařízení HDO a další. Dále jsou zde uvedeny vztahy pro výpočet maximálního připojitelného výkonu P_{MAX} výrobního zařízení v dané oblasti. Žádost o připojení je posuzována provozovatelem dle vyhlášky č. 81/2010 Sb., kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb. [48]

Žadatel je povinen uhradit podíl na oprávněných nákladech spojených s připojením a se zajištěním požadovaného výkonu a v plné výši pak náklady na vývodové vedení do místa připojení. Tento podíl je stanoven dle Přílohy č. 6 vyhlášky č. 51/2006 Sb. [48]

Další důležitou podmínkou pro připojení FVE do DS je nutnost získání licence od ERÚ. Jedná se o obdobu živnostenského listu s rozdílem, že živnostenský list představuje oprávnění podnikání v souladu s živnostenským zákonem a licence ERÚ je oprávnění podnikat v energetice v souladu s platným energetickým zákonem. Výrobce se tedy stává osobou podnikající. Jako fyzická osoba má povinnost zaregistrovat se u místně příslušného finančního úřadu, přihlásit se u místně příslušné okresní správy sociálního zabezpečení a zdravotní pojišťovny a také registrovat novou výrobu u OTE. Udělování licencí ERÚ se řídí Vyhláškou č. 426/2005 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích, ve znění pozdějších předpisů. Licenci se uděluje na základě žádosti o udělení licence viz. Příloha P III, a to nejdéle na 25 let. [43], [49]

V případě instalace FVE do výkonu 20 kWp není třeba stavebního povolení či stavebního ohlášení dle novely stavebního zákona č. 350/2012 Sb. § 103 odst. 1 písm. e) bod 9. Nad tento instalovaný výkon je stavební povolení vyžadováno. [49]

5.3 Instalace FVE odborně způsobilou osobou

V roce 2012 byl novelizován zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií zákonem č. 318/2012 Sb., kterým došlo k zavedení povinnosti instalovat vybraná zařízení využívající energii z obnovitelných zdrojů (včetně fotovoltaických systémů) pouze osobou oprávněnou k této činnosti, s účinností od 1. 1. 2015. Tato povinnost vychází z evropské směrnice. Osobou oprávněnou je v zákoně podle § 10d definována jako fyzická osoba, která je držitelem:

a) živnostenského oprávnění pro vodoinstalatérství a topenářství, pro montáž, opravy a rekonstrukce chladicích zařízení a tepelných čerpadel, pro montáž, opravy, revize a zkoušky elektrických zařízení nebo pro kamnářství a

b) příslušného osvědčení o získání profesní kvalifikace podle zákona o uznávání výsledků dalšího vzdělávání ne staršího než 5 let. [50]

Od 1. 7. 2015 však nabyde účinnosti novela zákona č. 103/2015 Sb., ve které je dle § 7 odst. (4) určena povinnost stavebníka, vlastníka nebo společenství vlastníků, a to:

b) zajistit v případě instalace vybraných zařízení vyrábějících energii z obnovitelných zdrojů, která jsou financována z programů podpory ze státních, evropských finančních prostředků nebo finančních prostředků pocházejících z prodeje povolenek na emise skleníkových plynů, v budově, aby tuto instalaci provedly pouze osoby podle § 10d; zajištění se prokazuje předložením kopie daňových dokladů týkajících se příslušné instalace,

Z toho tedy plyne, že se na instalace, na které se dotace nevztahují, tato povinnost od 1. 7. 2015 nebude vztahovat. [51]

5.4 Legislativní rámec pro ostrovní a hybridní FVE

Legislativa a její výklad v oblasti ostrovních a především hybridních fotovoltaických systémů je poměrně zmatená. Pojem ostrovní provoz byl upřesněn v dokumentu Sdělení ERÚ k problematice ostrovních systémů fotovoltaických elektráren. *Pojem ostrovní provoz chápe ERÚ v tomto případě jako provoz energetických zařízení (zdrojů a k nim připojených spotřebičů) prokazatelně galvanicky oddělených od elektrizační soustavy, a to nejenom spínacím nebo jisticím prvkem.* Galvanické oddělení však není legislativně blíže specifikováno. Technicky se jedná o způsob oddělení dvou nebo více částí obvodu tak, aby nebyly spojeny vodičem, ale přitom docházelo k přenosu elektrické energie, případně impulzů. Rozdíl mezi galvanickým a úplným oddělením je tedy zřejmý. Nejčastěji je galvanické oddělení řešeno pomocí toroidního transformátoru v hybridním měniči. Samotné galvanické oddělení však vždy nezaručuje správné fungování zařízení. Důležité je dle PPDS *provozovat jen taková zařízení, která vyhovují pro daný účel a prostředí a splňují požadavky na bezpečnost a svými zpětnými vlivy nepřipustně neovlivňují DS a její ostatní uživatele.* V případě ovlivňování DS je uživatel povinen realizovat dostupná technická opatření pro nápravu, jinak má provozovatel distribuční soustavy dle Energetického záko-

na § 25 odst. 6, písmeno c, právo omezit nebo přerušit dodávku elektřiny účastníkům trhu s elektřinou. [48], [52], [53]

Při dodržení těchto podmínek je vlastník takového fotovoltaického systému z pohledu distributora pouze odběratelem a má tedy možnost provozovat hybridní nebo ostrovní FVE, instalovanou na rodinném domě, bez nutnosti povolení připojení k DS od distributora a bez získání licence od ERÚ. Z nynější legislativy však toto tvrzení není zcela jasné, proto se tímto problémem zabývá aktuálně projednávaná novela energetického zákona, která pro menší střešní instalace do 10 kWp tyto administrativní komplikace ruší. [55]

5.4.1 Energetický zákon

Energetický zákon, tedy zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů představuje základní právní předpis, upravující energetické odvětví v České republice. Zákon nabyl účinnosti 1. ledna 2001 a prošel od té doby mnohými změnami. Definuje podnikání v energetickém odvětví, určuje podmínky udělení licence a náležitosti k uznání oprávnění podnikat a mnoho dalšího. V zákoně je také zakotvena působnost ERU a operátora trhu společnosti OTE a.s. Ve zvláštní části se věnuje jednotlivým účastníkům trhu s elektřinou, kterým přiřazuje jednotlivá práva a povinnosti a další specifika tohoto odvětví. [54]

Novela energetického zákona

V dubnu letošního roku (2015) sněmovna schválila rozsáhlou novelu energetického zákona, která jak se zdá pozitivně ovlivní připojování a provozování malých fotovoltaických elektráren. Tato změna by mohla vést k většímu zájmu o malé střešní fotovoltaické aplikace. Novelu nyní (začátek května) poslanci poslali do senátu. [55]

Mezi největší změnu v rámci novely ve vztahu k fotovoltaickým systémům patří zrušení nutnosti získání licence a živnostenského oprávnění pro provozování FVE, a to i pro fotovoltaické elektrárny připojené do distribuční soustavy. To ale za předpokladu výroby elektřiny primárně určené pro vlastní spotřebu, a to jen pro elektrárny s výkonem do 10 kW_p. Další významnou změnu představuje nový systém platby na podporu OZE. Současně se tato částka odvíjí od výše spotřebované energie, a to jak energie odebrané ze sítě, tak svojí vyrobené energie. Pro rok 2015 toto představuje 495 Kč/MWh. To znamená, že výrobce platí za to, že si svojí ekologicky vyrobenou energii sám spotřebuje. Tento poplatek bude dle novely nově stanoven podle výše hlavního jističe. Přijetí novely

energetického zákona by mělo zvýšit zájem o instalaci malých FVE a to především díky zrušení zbytečných byrokratických překážek s výstavbou FVE dnes spojených. [55]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 KONCEPT HFVE PRO RODINNÝ DŮM

Návrh hybridní fotovoltaické elektrárny bude uvažovat střešní instalaci fotovoltaických panelů a ostatních elektrických zařízení a rozvodů, jako kompletního systému, určeného pro zásobování konkrétního rodinného domu vlastní vyrobenou energií, využívající akumulátor a úložiště přebytků vyrobené energie akumulární nádrže elektrického ohříváče s využitím distribuční sítě jako záložního zdroje. Díky instalaci hybridní fotovoltaické elektrárny se dům stane odolný proti náhlým výpadkům či odstávkám energie ze sítě, jeho provoz bude ekologičtější, systém poskytne i jistou míru energetické soběstačnosti a nezávislosti na distributorovi, případně úsporu nákladů jinak vynaložených na nákup energií.

6.1 Popis řešeného objektu

Zvoleným objektem, pro aplikaci HFVE je rodinný dům, který se nachází v Lulči, nedaleko města Vyškov. Jedná se o samostatně stojící dům, ve kterém žijí 4 osoby. Dům má sedlovou taškovou střechu se sklonem 35° , jiho-západní orientaci s odklonem 24° od jihu, dvě podlaží o celkové ploše 230 m^2 a sklepní prostory. Užitná plocha pro instalaci fotovoltaických panelů jihozápadně orientované části střechy je přibližně 85 m^2 .



Obrázek 18 Letecký snímek řešeného domu [56]

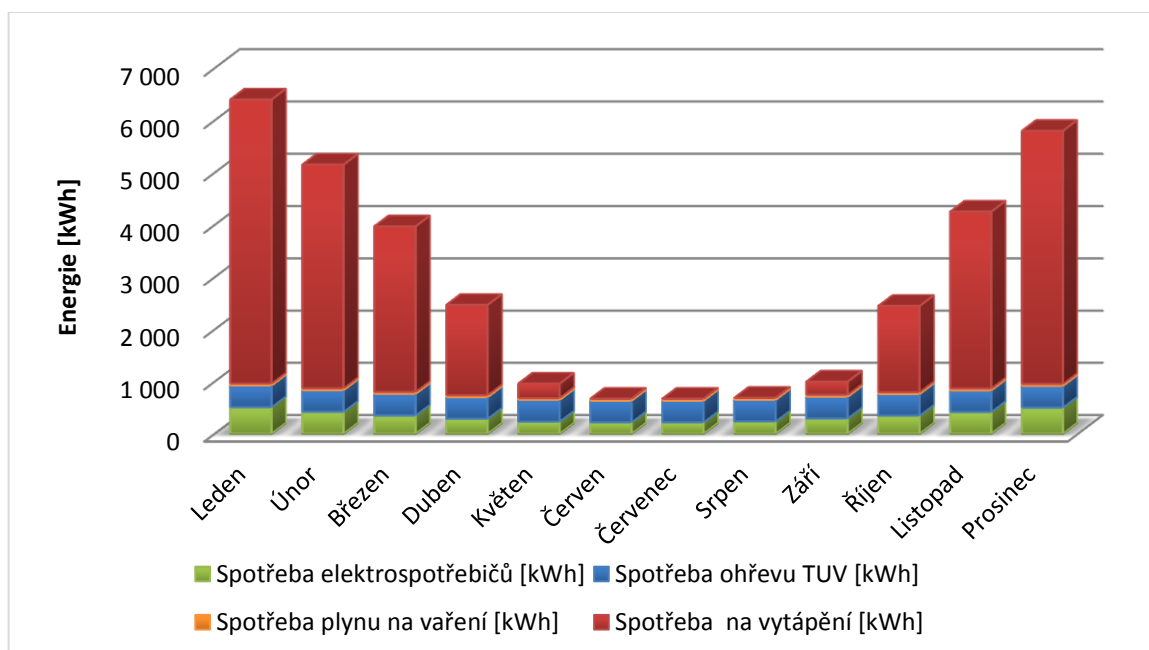
Tento dům jsem zvolil z důvodu jeho vhodně orientované prostorné sedlové střechy s téměř naprosto ideálním sklonem, ale především pro zájem majitele domu o energetickou soběstačnost, fotovoltaiku a možnosti úspory v oblasti energetické náročnosti domu.

6.2 Spotřeba energií objektu

Jako zdroje energie dům využívá elektrickou energii a zemní plyn. Elektřina je využívána výhradně pro běžné domácí elektro spotřebiče typu lednice, myčka, pračka, mikrovlnná trouba, televize, počítače aj. a pro osvětlení. Zemní plyn v domě slouží pro vytápění, ohřev teplé vody v akumulární nádrži a pro potřeby vaření. Tabulka 3 představuje energetickou náročnost domu v jednotlivých měsících roku pro samostatné úseky spotřeby.

Tabulka 4 Současná úseková spotřeba energií rodinného domu

Měsíc	ELEKTRINA	PLYN		
	Spotřeba elektro-spotřebičů [kWh]	Spotřeba ohřevu TV [kWh]	Spotřeba plynu na vaření [kWh]	Spotřeba na vytápění [kWh]
Leden	507,6	416,7	34,9	5435,4
Únor	416,9	416,7	34,9	4280,2
Březen	347,2	416,7	34,9	3170,0
Duben	284,3	416,7	34,9	1730,5
Květen	230,1	416,7	34,9	276,4
Červen	215,9	416,7	34,9	0,0
Červenec	215,9	416,7	34,9	0,0
Srpen	232,8	416,7	34,9	0,0
Září	291,0	416,7	34,9	252,7
Říjen	343,8	416,7	34,9	1650,2
Listopad	413,5	416,7	34,9	3384,4
Prosinec	499,5	416,7	34,9	4842,9
Celkem	3998,6	5000,4	418,6	25022,8



Obrázek 19 Graf energetické náročnosti jednotlivých úseků spotřeby během roku

6.2.1 Výpočet nákladů za energie

Elektrická energie

Rodinný dům je připojen podzemním vedením NN do energetické distribuční sítě E.ON a využívá tarif “Klasik“ se sazbou D 02d a jističem 3 x 25A. Dům spadá do distribučního území E.ON Distribuce, a.s. Elektrická energie je v domě využita pro osvětlení a běžné domácí spotřebiče. Její spotřeba se každoročně pohybuje okolo 4 MWh.

Cena elektřiny je složena z regulovaných, neregulovaných složek a daní. Zahrnuje poplatky za dodávku a distribuci elektřiny, paušální poplatek za rezervovaný příkon dle výše hlavního jističe a také související služby, jako jsou systémové služby, služby operátora trhu s elektřinou, podpora výkupu z obnovitelných zdrojů energie (OZE), kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET) a z druhotných energetických zdrojů (DZ).

Tabulka 5 Předpokládané náklady za elektřinu v roce 2015 dle ceníku E.ON (platného od 1.1. 2015)

	Cena [Kč]	Spotřeba [MWh]	Období [měsíce]	Náklady za příkon či období [Kč]
Platba za dodávku elektřiny				
VT	1299	4	-	5196
NT	-	-	-	-
Stálý měsíční plat	58	-	12	696
Daň z elektřiny	28,3	4	-	113,2
Platba za distribuci elektřiny				
VT	1555,59	4	-	6222,36
NT	-	-	-	-
Měsíční plat za hlavní jistič				
3x25A	63	-	12	756
Cena za související služby				
Systémové služby	105,27	4	-	421,08
Podpora výkupu el. Z OZE, KVET a DZ	495	4	-	1980
Činnost OTE	6,94	4	-	27,76
Roční náklady za elektřinu z DS bez DPH [Kč]				15 412,4
Roční náklady za elektřinu z DS včetně DPH [Kč]				18649

V letošním roce (2015) tedy majitel rodinného domu, při předpokladu spotřeby 4 MWh za rok, která se již několik let v této výši pohybuje, zaplatí distributorovi 18 649 Kč. To by v přepočtu znamenalo 4,662 Kč/kWh.

Zemní plyn

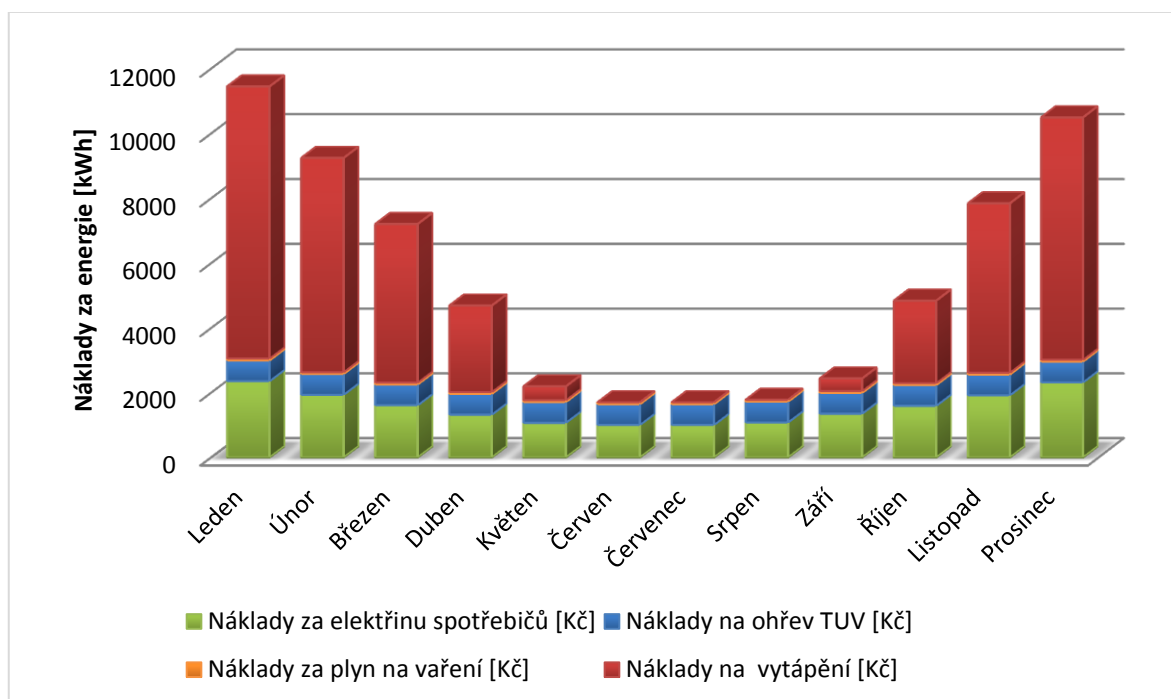
Rodinný dům disponuje i plynovodní přípojkou. Plyn je odebírán od společnosti RWE Energie, s.r.o. a je využívaný produkt RWE Standard. Celková spotřeba plynu se každoročně pohybuje okolo 30 MWh. Plyn je v domě užíván pro vytápění a ohřev teplé vody prostřednictvím běžného atmosférického kotle a pro vaření. Do níže uvedené tabulky jsem zařadil předpokládanou spotřebu zemního plynu na rok 2015 dle spotřeby v roce 2014 a cen dle ceníku 2015 RWE.

Tabulka 6 Předpokládané náklady za plyn v roce 2015 dle ceníku RWE (platného pro rok 2015)

	Cena [Kč]	Spotřeba [kWh]	Období [měsíce]	Náklady za příkon či období [Kč]
Platba za distribuci plynu				
Odebraný zemní plyn	0,16558	30440	-	5040,26
Kapacitní složka ceny	184,33	-	12	2211,96
Služba operátora trhu	0,00216	30440	-	65,75
Platba za ostatní služby dod. plynu				
Odebraný zemní plyn	0,99401	30440	-	30257,66
Kapacitní složka ceny	106,2	-	12	1274,40
Roční náklady za zemní plyn bez DPH [Kč]				38850,03
Roční náklady za zemní plyn včetně DPH [Kč]				47008,54

Tabulka 7 Současné náklady za jednotlivé úseky spotřeby energií během roku

Měsíc	ELEKTRINA	PLYN		
	Náklady za elektřinu spotřebičů [Kč]	Náklady na ohřev TV [Kč]	Náklady za plyn na vaření [Kč]	Náklady na vytápění [Kč]
Leden	2362,97	643,51	53,87	8393,97
Únor	1942,27	643,51	53,87	6609,99
Březen	1618,98	643,51	53,87	4895,41
Duben	1327,23	643,51	53,87	2672,37
Květen	1075,84	643,51	53,87	426,87
Červen	1009,97	643,51	53,87	0,00
Červenec	1009,97	643,51	53,87	0,00
Srpen	1088,36	643,51	53,87	0,00
Září	1358,31	643,51	53,87	390,21
Říjen	1603,21	643,51	53,87	2548,48
Listopad	1926,5	643,51	53,87	5226,50
Prosinec	2325,4	643,51	53,87	7478,88
Celkem	18649,01	7722,13	646,38	38642,69



Obrázek 20 Graf nákladů za jednotlivé úseky spotřeby energií během roku

Tabulka 8 Současná celková roční spotřeba energií a její náklady

	Spotřeba energie [MWh/rok]	Náklady [Kč/rok]	Cena energií [Kč/kWh]
Elektrická energie	4	18649	4,6623
Plyn	30,44	47009	1,5443
Celkem	34,44	65 660	

Celkové náklady za energie ročně činí 65 660 Kč.

Jelikož dům aktuálně využívá elektrickou energii pouze pro osvětlení a běžné domácí elektrické spotřebiče a na vytápění a ohřev TV je využíváno energie plynu, rozhodl jsem se vypočítat možnosti přechodu na jinou sazbu elektrické energie a zvážit možnosti využití elektrické energie i k ohřevu vody s využitím hybridního fotovoltaického systému jako hlavního zdroje energie.

7 NÁVRH SYSTÉMU HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Návrh bude uvažovat možnost aplikace hybridního solárního systému na konkrétní objekt, jakožto zdroje elektrické energie pro úsek spotřeby běžných elektrických spotřebičů a ohřev teplé užitkové vody. S tím bude souviset výběr ideálních komponentů, jak pro fotovoltaický systém, tak výběr ohřivače vody. V potaz se také bude muset vzít i změna sazby elektrické energie, funkční nastavení systému, předpisy a normy i ekonomická stránka návrhu.

Nyní již znám současnou spotřebu energií rodinného domu, dle předchozí kapitoly a potřebuji zjistit změnu spotřeby elektřiny při výměně plynového ohřivače teplé vody, za ohřivač elektrický.

7.1 Změna plynového na elektrický ohřev teplé vody

Využití hybridního fotovoltaického systému v kombinaci s elektrickým akumulacním ohřivačem, jako úložiště jinak nevyužité energie, je výhodné pro ideální využití vyrobené energie, tedy pro optimalizaci spotřeby domu.

Pro ohřev TV dům aktuálně využívá starší plynový atmosférický kotel, jehož účinnost ohřevu teplé vody se pohybuje kolem 82 %. Spotřebovaná energie pro tento ohřev je 416,7 kWh plynu měsíčně, tj. 13,89 kWh za den. Spotřeba teplé vody je přibližně 50 l na osobu, pro 4 osoby spotřeba činí 200 l teplé vody denně.

$$Q_{TV,d} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_v \cdot (t_2 - t_1)}{3,6} = \frac{1000 \cdot 4182 \cdot 0,2 \cdot (60 - 11)}{3,6} = 11,39 \text{ kWh} \quad (6)$$

$Q_{TV,d}$... denní potřeba tepla pro ohřev vody [kWh]

ρ ... měrná hmotnost vody [1000 kg/m³]

c ... měrná tepelná kapacita vody [4182 J/kgK]

V_v ... celková potřeba teplé vody za den [m³/den]

t_1 ... teplota studené vody [11 °C]

t_2 ... teplota ohřáté vody [60 °C]

Pro zjištění spotřeby energie pro ohřev teplé vody plynem, bylo potřeba vypočtenou hodnotu denní potřeby tepla přepočítat v souvislosti s účinností přeměny energií.

$$P_{TV,d} = Q_{TV,d} \cdot \frac{100}{\eta} = 11,39 \cdot \frac{100}{82} = 13,89 \text{ kWh} \quad (7)$$

$P_{TV,d}$... denní spotřeba energie pro ohřev teplé vody [Wh]

η ... účinnost ohřevu [82 %]

Pro tento úsek spotřeby navrhuji elektrický ohřivač DZ Dražice OKCE 200 s příkonem 2200 W, což by při spotřebě 200 l teplé vody denně a účinnosti přeměny 95 % představovalo spotřebu 313,2 kWh elektrické energie měsíčně, viz energetická bilance níže.

7.1.1 Energetická bilance při využití elektrického akumulčního ohřivače

V případě přechodu z ohřevu TV plynem na ohřev elektrický můžeme využít výhodnější sazby za elektřinu, tedy přejít na dvoutarifovou sazbu D 25d, která je určena pro operativní využívání nízkého tarifu elektřiny v minimální délce 8 h denně v době od 18 do 8 h. Tarif RWE Standard za odebíraný plyn zůstane nezměněn.

Tabulka 9 Úseková spotřeba energií při přechodu na ohřev TV elektřinou

Měsíc	ELEKTRINA		PLYN	
	Spotřeba elektro-spotřebičů [kWh]	Spotřeba ohřevu TV [kWh]	Spotřeba plynu na vaření [kWh]	Spotřeba na vytápění [kWh]
Leden	507,6	313,2	34,9	5435,4
Únor	416,9	313,2	34,9	4280,2
Březen	347,2	313,2	34,9	3170
Duben	284,3	313,2	34,9	1730,5
Květen	230,1	313,2	34,9	276,4
Červen	215,9	313,2	34,9	0
Červenec	215,9	313,2	34,9	0
Srpen	232,8	313,2	34,9	0
Září	291	313,2	34,9	252,7
Říjen	343,8	313,2	34,9	1650,2
Listopad	413,5	313,2	34,9	3384,4
Prosinec	499,5	313,2	34,9	4842,9
Celkem	3998,6	3758,4	418,6	25022,8

Tabulka 10 Celková spotřeba energií a náklady při přechodu na ohřev TV elektřinou

	Spotřeba energie [MWh/rok]	Náklady [Kč/rok]	Cena energií [Kč/kWh]
Elektrická energie (D 25d)	7,757	25 254,94	3,2558
Plyn	25,44	39 287,00	1,5443
Celkem	33,197	64 541,94	

Roční spotřeba domu elektrické energie by tedy činila 7,757 MWh / rok. Při změně sazby a využití přijímače dálkového ovládání HDO, který v případě přepnutí sazby vysokého tarifu na tarif nízký zapne bojler pro ohřev TV a naopak při přechodu z nízkého na vysoký bojler odpojí, se cena elektrické energie sníží na 3,2558 Kč / kWh. Tato cena byla vypočtena pro uvažovaný odběr 3 MWh ve vysokém tarifu a 4,757 MWh v tarifu nízkém. Celkové roční předpokládané náklady za elektrickou energii by tedy stouply na 25 255 Kč a náklady na plyn by klesly na 39 287 Kč. Celkové náklady za energie domu za rok by činily 64 542 Kč, což představuje nepatrné snížení provozních nákladů v porovnání se stávajícími.

7.2 Návrh instalovaného výkonu HFVE

Volba výše výkonu fotovoltaického generátoru, by se měla odvíjet od předpokládané výše spotřeby domu, prostoru střešní plochy a také zde hrají velkou roli výkonové řady hybridních měničů a regulátorů. Fotovoltaický systém nikdy nepokryje celkovou spotřebu domu, během celého roku. Systém by musel být velmi naddimenzovaný, což by bylo nákladné, tedy neekonomické. Vždy je potřeba využít záložního zdroje, v tomto případě energie ze sítě. Celková roční předpokládaná spotřeba domu činí 7,757 MWh. Z toho 4MWh představují spotřebu běžných elektrospotřebičů a osvětlení a 3,757 MWh spotřebu bojleru. Bojler bude napájen z fotovoltaického systému pouze v případě přebytečné energie, jinak bude využívat pro svůj ohřev energii ze sítě v době nízkého tarifu. Pokusím se tedy navrhnout systém, který zvládne pokrýt spotřebu energií především elektrospotřebičů a části spotřeby elektrického ohříváče.

7.3 Popis navrhovaného systému

Navrhují instalaci HFVE o výkonu 5,25 kW_p. Tento systém bude obsahovat 21 ks fotovoltaických panelů MSP250AS-30 o výkonu 250 kW_p, které budou zapojeny po třech do série (do tzv. stingů) a tyto stingy budou paralelně zapojeny mezi sebou. Budeme tedy mít

7 paralelních větví po třech sériově zapojených panelech, z nichž čtyři budou připojeny k jednomu regulátoru nabíjení Studer Innotec VT – 80A a další tři větve k regulátoru druhému, stejného typu. Za pomoci těchto regulátorů bude dobíjen akumulátor o kapacitě 200 Ah, provozním napětí 48V, složený z šestnácti LiFePO₄ 3,2 V článků, případně bude energie směřována do střídače Studer Innotec XTM 4000 – 48V a bude přímo spotřebována. V případě plného nabití akumulátoru a pokrytí aktuální spotřeby domu budou přebytky elektrické energie ukládány do ohřevu teplé vody prostřednictvím bojleru Dražice OKCE 200.

V rámci úspory vstupních nákladů jsem jako ohřívač vody zvolil klasický závěsný elektrický akumulární ohřívač Dražice OKCE 200, který využívá pro ohřev suché keramické topné těleso napájené střídavým proudem, na místo dnes velmi skloňovaných, avšak podstatně dražších fotovoltaických ohřívačů, kombinujících napájení střídavé i stejnosměrné z fotovoltaiky.

Pro správnou funkčnost tohoto bojleru při využívání přebytků vyrobené elektrické energie navrhuji do bojleru nainstalovat druhý termostat, např. kapilárový termostat DZ Dražice Eika v01, na kterém bude nastavena maximální hodnota teploty vody 50 °C, které je v případě nedostatku energie z fotovoltaického generátoru potřeba dosáhnout. Druhý termostat bude nastaven na maximální hodnotu teploty vody 80 °C, na kterou může energie z fotovoltaiky vodu ohřát. Na programovatelný multifunkční bezpotenciálový kontakt hybridního měniče bude zapojeno spínací relé, které v případě plně nabitého akumulátoru sepne obvod pro napájení bojleru z přebytků vyrobené energie. Při vybití akumulátoru na hodnotu 95 % její kapacity, ovládací kontakt prostřednictvím relé napájení vypne. V případě stavu, že teplota vody nedosáhne na požadovanou minimální hodnotu dle přidaného termostatu, bude využito energie z distribuční sítě, a to především v době nízkého tarifu.

Elektronické komponenty jako jsou regulátory nabíjení, hybridní střídač, LiFePO₄ akumulátor, doplňkové ovládací a měřicí zařízení a domácí rozvaděč budou umístěny v technické místnosti domu.

7.3.1 Kontrola parametrů systému

Parametry fotovoltaického panelu

Jmenovitý výkon při STC ²	$P_m = 250 \text{ W}$
Jmenovité napětí	$U_{mp} = 31,02 \text{ V}$
Proud při jm. výkonu	$I_{mp} = 8,06 \text{ A}$
Napětí naprázdno	$U_{oc} = 36,99 \text{ V}$
Proud nakrátko	$I_{sc} = 8,62 \text{ A}$
Teplotní koeficient při P_m	$T_k (P_m) = -0,475 \text{ \%/}^\circ\text{C}$
Teplotní koeficient pro U_{oc}	$T_k (U_{oc}) = -0,338 \text{ \%/}^\circ\text{C}$
Teplotní koeficient pro I_{sc}	$T_k (I_{sc}) = +0,072 \text{ \%/}^\circ\text{C}$

Výpočet napětí panelu při -15 °C (STC -40 °C) a 70 °C (STC +45 °C)

$$U_{oc}(-15 \text{ }^\circ\text{C}) = 36,99 - \left[-40 \cdot \left(\frac{36,99}{100} \cdot 0,338 \right) \right] = 41,99 \text{ V} \quad (8)$$

$$U_{mp}(-15 \text{ }^\circ\text{C}) = 31,02 - \left[-40 \cdot \left(\frac{31,02}{100} \cdot 0,338 \right) \right] = 35,21 \text{ V} \quad (9)$$

$$U_{mp}(70 \text{ }^\circ\text{C}) = 31,02 - \left[45 \cdot \left(\frac{31,02}{100} \cdot 0,338 \right) \right] = 26,3 \text{ V} \quad (10)$$

Jelikož regulátor VT-80 zvládá maximální napětí naprázdno generátoru $U_{oc \text{ MAX}} = 150 \text{ V}$, je nutné zvolit maximální počet sériově zapojených panelů v jedné paralelní větvi generátoru. Napětí sériově zapojených panelů se sčítá, z výpočtu je tedy jasné, že maximální možný počet panelů v sérii jsou tři, protože nejvyšší napětí naprázdno jednoho panelu je $U_{oc}(-15 \text{ }^\circ\text{C}) = 41,99 \text{ V}$.

² Podmínky STC (STC = Standard Test Conditions) deklarované normami IEC 61215, IEC 61646 a UL 1703 – Intenzita slunečního záření $E = 1000 \text{ W/m}^2$, světelné spektrum odpovídající slunečnímu světlu procházejícímu atmosférou $AM = 1,5$ a teplota buněk panelu $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Hodnoty fotovoltaického generátoru

Napětí naprázdno generátoru	$U_{oc} = 110,97 \text{ V}$
Jmenovité napětí generátoru	$U_{mp} = 93 \text{ V}$
Proud při jm. výkonu generátoru	$I_{mp} = 56,42 \text{ A}$

Mezní hodnoty napětí generátoru

Maximální napětí generátoru	$U_{max} = 125,97 \text{ V}$
Minimální napětí generátoru	$U_{min} = 78,9 \text{ V}$

Výstupní napětí regulátoru, tedy ideální nabíjecí napětí akumulátoru LiFePO₄, s provozním napětím 48 V, složeného z šestnácti 3,2 V článků, bude dle ideálního dlouhodobého nabíjecího napětí na jeden článek 3,45 V představovat hodnotu $U_{out} = 55,2 \text{ V}$, kterým bude akumulátor napájen. Maximální výstupní proud regulátoru VT-80 $I_{oc \text{ MAX}} = 80 \text{ A}$. Při přepočtu vstupních hodnot na výstupní jsem zjistil, že proud z regulátoru I_{out} bude vyšší, viz následující výpočet.

$$I_{out} = \frac{U_{mp \text{ generátoru}}}{U_{out}} \cdot I_{mp \text{ generátoru}} = \frac{93,06}{55,2} \cdot 56,42 = 95,12 \text{ A} \quad (11)$$

Tento výsledek není zcela přesný, jelikož do výpočtu nejsou zahrnuty ztráty vzniklé regulační hodnot. Pro regulátor je uvedena účinnost 98 %. I_{out} by se tedy mohlo reálněji pohybovat kolem 93,2 A. Při mrazivých dnech a ideálních slunečních podmínkách by mohl tento proud přesáhnout i 100 A.

Dle výsledku je jasné, že pro fotovoltaický generátor o výkonu 5,25 kW_p je nutné navrhnout regulátory nabíjení dva, které budou vzájemně paralelně zapojeny.

Vzhledem k hodnotám nabíjecího proudu, pohybujícího se až kolem 100 A, je zapotřebí zvolit ideální kapacitu nabíjeného akumulátoru. Pro LiFePO₄ články 3,2 V je výrobcem uváděn optimální nabíjecí proud $< 0,5 \text{ C}$, což představuje polovinu hodnoty její kapacity. V tomto případě jsem tedy zvolil pro sestavení akumulátoru šestnáct LiFePO₄ článků, zapojených do série s kapacitou 200 Ah. Uložená energie v akumulátoru se tedy pohybuje kolem 9,6 kWh (záleží však na hodnotách odebíraných proudů) z čehož je vyčerpateľných maximálně 7,2 kWh.

Fotovoltaický generátor je vzhledem k výkonu hybridního měniče naddimenzován, jelikož se jedná o nejlevnější způsob navýšení výkonu systému jako celku. Tímto rozšířením je fotovoltaický systém schopen dodávat energii vždy déle (a to jak pro denní cyklus, tak pro prodloužení ročního období nezávislosti na DS). Zvolené regulátory VT-80 zvládnou regulovat výkon generátoru až 10 kWp, jsou tedy k výkonu generátoru také naddimenzovány, a to z důvodu jen nepatrně vyšší pořizovací ceny v porovnání s výkonově nižší řadou VT-65. V případě možného budoucího rozšiřování se tyto komponenty nemusí měnit. Návrh tedy je koncipován tak, aby systém bylo možné v budoucnu snadněji rozšířit.

Možnost rozšíření systému

V případě, bude-li chtít majitel v budoucnu výkon systému výrazně navýšit, bude muset nejenom zvýšit výkon generátoru přidáním panelů, ale i využít měnič s vyšším výkonem nebo systém rozšířit o další měniče. To nepředstavuje při využití XTM 4000 žádný problém, naopak je možnost tohoto rozšíření často v systémech využívána. Např. chceme-li měnič od Studer Innotec o výkonu 8kW, můžeme využít XTH 8000, výhodnější je však dokoupit ke stávajícímu XTM 4000 tento měnič druhý, což má výhodu, že pro špičky i trvalý příkon budovy je možno použít na vstupu dvě fáze (např. 2 x 25A). Tyto měniče se dají využít i tři, pro rozšíření systému na třífázový.

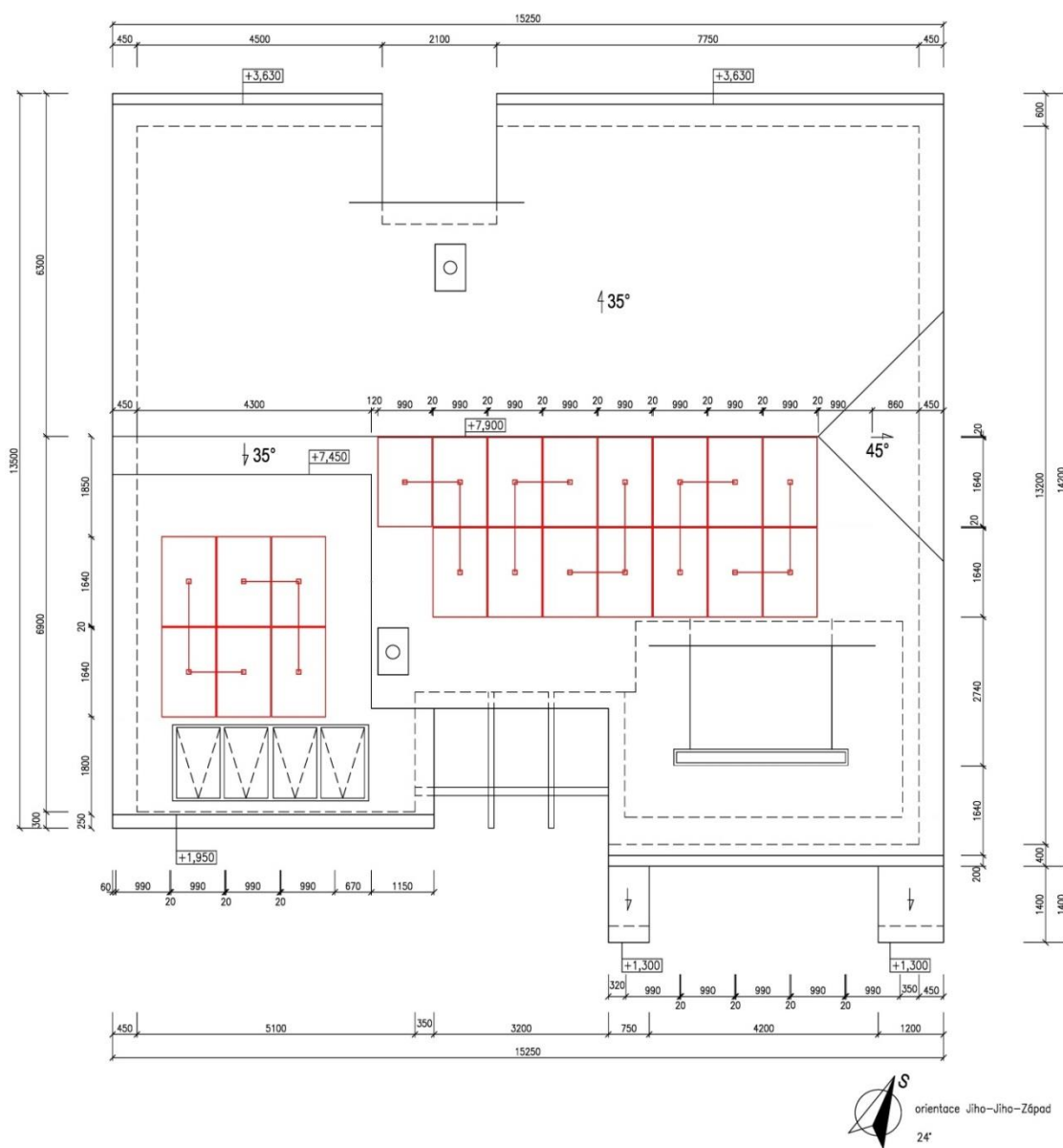
Rekapitulace navržených komponentů a konfigurace systému

Po prozkoumání trhu, zjištění dostupnosti komponentů, nastudování jejich pro a proti jsem došel k následujícímu výběru a konfiguraci systému:

Tabulka 11 Základní komponenty a parametry navrhovaného systému

Nominální výkon FV generátoru	5,25 kWp
Typ panelu	München Solar MSP250AS-30
Počet panelů	21
Počet panelů v sérii	3
Počet paralelních stringů	7
Typ střídače	Studer Innotec XTM 4000 – 48V
Typ regulátoru	Studer Innotec VT – 80A
Typ akumulátoru	LiFePO4 16 x 3,2V 200Ah 9,6 kWh
Elektrický akumulární ohřívač TV	Dražice OKCE 200

7.4 Návrh střešní instalace fotovoltaického generátoru



Obrázek 21 Návrh rozložení panelů na střechu domu a jejich zapojení do stringů

7.5 Komponenty systému

7.5.1 Fotovoltaické panely München Solar 250 W polykrystal



Obrázek 22 Polykrystalický panel München Solar 250 W [57]

Po průzkumu českého trhu jsem vzhledem k výborné dostupnosti a především kvalitě, ceně a kompatibilitě k dalším použitým komponentům zvolil polykrystalické fotovoltaické panely Ü-serie Multicrystalline MSP250AS-30 od renomovaného německého výrobce München Solar. Polykrystalickou technologii jsem zvolil proto, jelikož střecha navrhovaného domu je téměř ideálně orientována, skloněna a bez výraznějšího zastínění, přičemž v porovnání s monokrystalickými panely vyrobí více elektřiny v zimním období, což je pro náš případ vhodnější. Tyto panely disponují německým designem, německou výrobní technologií a vysokou kvalitou a účinností. Jejich rám je vyroben z vysoce pevného eloxovaného hliníku šířky 40 mm, pro velkou mechanickou odolnost jsou články kryty tvrzeným sklem tlustým 3,2 mm, čímž se stávají vysoce odolnými vůči extrémním venkovním podmínkám. Panely jsou složeny z 60 polykrystalických křemíkových článků a pro jednoduché vzájemné propojení mají 90 cm dlouhé kabely se standardními konektory MC4.

München Solar, jakožto výrobce fotovoltaických panelů v širokém rozsahu, vhodných jak pro střešní instalace, tak pro rozsáhlé fotovoltaické elektrárny, působící na trzích v Německu, Francii, Anglii, východní Evropě i v Americe a Japonsku, se zaměřuje u svých

produktů na výkonnost, vysokou kvalitu, spolehlivost a důraz na kvalitní normy a certifikace. Panely jsou testovány německým sdružením organizací TÜV (Technischer Überwachungs-Verein), tedy technickým kontrolním sdružením, zabývajícím se testy výrobků se záměrem ochrany lidí a životního prostředí a jsou certifikovány dle mezinárodních norem IEC 61215:2005, IEC 61730-1:2004; IEC 61730-2:2004.

Při volbě vhodných fotovoltaických panelů mě také zaujala prodloužená záruční doba 12 let a zárukou výkonu 12 let minimálně 90% jmenovitého výkonu a 25 let minimálně 80 % jmenovitého výkonu. Fotovoltaické panely München Solar MSP250AS-30 jsou aktuálně dostupné a skladem prostřednictvím firmy Optimus A-Trade s.r.o. (provozovatel internetového obchodu sunwave.cz).

Tabulka 12 Technické parametry panelu München Solar MSP250AS-30 [57]

Jmenovitý výkon při STC P_m	250 W
Jmenovité napětí U_{mp}	31,02 V
Proud při jm. výkonu I_{mp}	8,06 A
Napětí naprázdno U_{oc}	36,99 V
Proud nakrátko I_{sc}	8,62 A
Účinnost fotovoltaického panelu	15,4 %
Teplotní koeficient při P_m	-0,475 %/°C
Teplotní koeficient pro U_{oc}	-0,338 %/°C
Teplotní koeficient pro I_{sc}	+0,072 %/°C
Celkové rozměry	1640 mm × 990 mm × 40 mm
Články	156 mm × 156 mm
Konektory	MC4 / IP67
Provozní teplota	-40°C~+85 °C
Tolerance výkonu	3%
Maximální napětí systému	DC 1000 V
Hmotnost	18,6 kg

7.5.2 Hybridní měnič napětí Studer Innotec XTM 4000-48

Jako hlavní komponent systému měnič napětí jsem zvolil hybridní měnič XTM 4000-48 řady Xtender od švýcarské firmy Studer Innotec. Jedná se o velmi kvalitní elektronické zařízení, které opravdu jako jedno z mála zvládá současně pracovat v grid-tie a off-grid režimu, což znamená schopnost plynulé a především současné regulace množství energie ze sítě a akumulátorů.

Tento měnič má nominální výkon 3,5 kW, špičkově však zvládne po dobu 30 minut 4 kW a po dobu 5 sekund až 10,5 kW. Zvládá pracovat se vstupním napětím v rozmezí

38 až 68 V, produkuje čistý sinusový signál a disponuje velmi vysokou účinností až 96 %. Je kompatibilní s velkou řadou doplňkových zařízení, jako jsou moduly pro monitoring, vzdálené ovládání a regulaci. Při využití tří měničů se dá systém rozšířit na třífázový.



Obrázek 23 Studer Innotec XTM 4000-48 [58]

Tabulka 13 Technické parametry měniče Studer Innotec XTM 4000-48 [58]

Jmenovité výstupní napětí	230 V (± 2 %)
Jmenovitý výstupní výkon při 25 °C	3500 VA
Výstupní výkon po dobu 30 minut při 25 °C	4000 VA
Výstupní výkon po dobu 5 sekund	10500 VA
Jmenovité napětí akumulátoru	48 V
Maximální účinnost	96 %
Výstupní napětí regulátoru nabíjení	38 - 68 V
Spořeba OFF/Stad-by/ON	1,8W / 2,1W / 14W
Maximální nabíjecí proud	50 A
Stupeň krytí	IP20
Rozměry	466 x 322 x 133 mm
Hmotnost	22,9 kg

7.5.3 MPPT regulátor nabíjení Studer Innotec VT – 80A

Pro regulaci a optimalizaci efektivního nabíjení akumulátoru jsem zvolil dva regulátory stejné značky jako hybridní měnič, a to Studer Innotec VT – 80A. V rámci možného budoucího rozšiřování systému byly zvoleny regulátory zvládající vyšší vstupní výkony generátoru, které se od méně výkonných VT – 65A v ceně nijak výrazně neliší. Právě regulátory Studer Innotec jsem zvolil pro jejich velmi kvalitní zpracování, dlouhou životnost,

vysokou účinnost aj., ale také pro kompatibilitu s hlavním komponentem měničem XTM – 4000 a dalšími měřicími a ovládacími zařízeními.



Obrázek 24 Studer
Innotec VT – 80A
[58]

Tabulka 14 Technické parametry regulátoru Studer Innotec VT – 80A [58]

Systémové napětí	48 V
Maximální výstupní proud	80 A
Maximální napětí naprázdno FV generátoru	150 V
Maximální funkční napětí FV generátoru	145 V
Účinnost přeměny energie	98%
Maximální doporučený výkon FV generátoru	5000 W
Maximální pohotovostní spotřeba	1,2 W
Rozměry	120 x 220 x 350 mm
Váha	5,5 kg

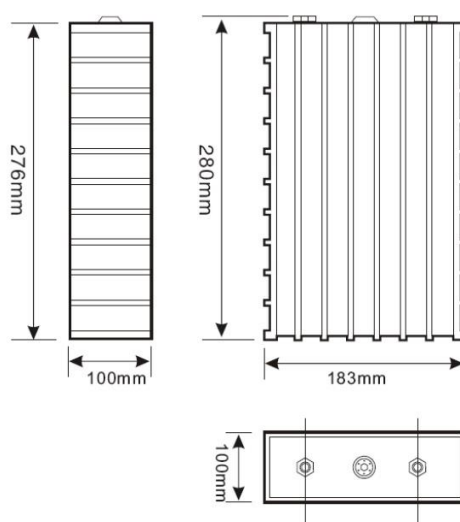
7.5.4 Akumulátor LiFePO4 16 x 3,2 V 200Ah 9,6 kWh

Navrhovaná baterie se skládá z 16 sériově zapojených článků LiFePO4 3.2V 200Ah. Jedná se o vysoce kvalitní články s dlouhou životností. Vzhledem k tomu, že akumulátory LiFePO jsou bezúdržbové, je možné je umístit i do obytných prostor.

Zásoba energie v baterii činí přibližně 9,6 kWh, z nichž je pro ekonomické využití baterie vyčerpatelných okolo 7,2 kWh. Fotovoltaický generátor je schopen při slunečném dni vybitou baterii nabít za necelé 2 hodiny.

Tabulka 15 Technické parametry akumulátoru

Jmenovité napětí	48 V
Jmenovitá kapacita	200 Ah
Počet článků	16
Počet cyklů při 80 % hloubce vybití	> 2000, max. 8000
Maximální provozní teplota	80 °C
Rozměry	370 x 165 x 280 mm
Hmotnost	125 kg

Článek LiFePO4 3,2V 200AhObrázek 25 Bateriový článek LiFePO4
3,2V 200Ah [59]

Tabulka 16 Technické parametry článku LiFePO4 3,2V 200Ah [59]

Název modelu	LFP200AHA-B
Jmenovité napětí	3,2 V
Provozní napětí při zatížení	3,0 V
Kapacita	200 Ah +/- 5%
Provozní napětí	4,0 V - 2,8V při 80% D.O.D.
Hluboké vybití	2,5 V
Maximální nabíjecí napětí	4,0 V
Optimální vybíjecí proud	< 100 A; 0,5 C
Maximální vybíjecí proud (max. 15 min. od nabití)	< 600 A; 3 C
Max. krátkodobý vybíjecí proud (max. 5 s. v jedné min.)	< 4000 A; 20 C
Optimální nabíjecí proud	<100 A; 0,5 C
Maximální nabíjecí proud s monitorováním teploty baterií	< 600 A; < 3 C
Maximální provozní teplota	80 ° C
Rozměry	183 x 100 x 276 mm
Hmotnost	7,7 kg

Balancovací systém

K bateriím LiFePO₄ je vhodné použití balancovacího systému, který má za úkol udržet stejnou úroveň napětí na jednotlivých člancích baterie, čímž významně prodlužuje jejich životnost. Odchyšky mezi jednotlivými články se za dlouholeté používání mohou zvětšovat a může dojít až ke zničení článku. Může jít například o případ, kdy jeden článek je již zcela nabitý, ale ostatní články v baterii ještě energii absorbují, tím dochází k přebíjení prvního článku a při periodicitě tohoto procesu se článek může poškodit. U klasických olověných baterií je tento problém řešen jejich přebíjením, jelikož více nabité články jsou přebytečnou energii schopny odvést. LiFePO články jsou však na přebíjení náchylné, proto je balancování článků mezi sebou opravdu na místě.

Existují dva základní způsoby balancování, a to balancování pasivní nebo aktivní. Pasivní balancování znamená tzv. limitování, neboli omezování horní hranice napětí článků v závěru jejich nabíjení, s využitím připojování přídavné zátěže. Může jít např. o řízený odporový bilanční modul. Přebytečná energie je tedy v tomto případě zbytečně spotřebována v odporech.

Aktivní balancéry dokáží srovnávat jednotlivé články navzájem v jakémkoli stavu nabití. Za pomoci mikroprocesorové jednotky, jako řídicího prvku, dokáže články limitovat i je řízeně nabíjet a vybíjet. Profesionální aktivní balancovací zařízení byly vyvinuty pro elektromobily, tedy pro velké kapacity baterií. Tato řešení jsou velmi nákladná a náročná na instalaci. Balancováním článků se však začali zabývat i společnosti, nabízející fotovoltaické systémy. Jedná se např. o provozovatele internetového obchodu www.ostrovni-elektrarny.cz, který vyvinul aktivní balancovací systém za příznivou cenu, který do svého návrhu zahrnuje. Zvolil jsem tedy jejich aktivní balancovací systém UTP 16 x 7.5A, který je pro moji konfiguraci systému vhodný.

Aktivní balancovací systém UTP 16 x 7.5A

Tento systém je přímo určen k aktivnímu balancování 48V LiFePO₄ bateriím, složeným z 16 článků 3,2V. Je složen z mikroprocesorové řídicí jednotky Arduino Mega 2560, měřicího shieldu pro Arduino s 16 nezávislými měřicími kanály, čtyř aktivních balancovacích modulů ON4 s balančním proudem 7,5A, kabeláže a doplňků. Řídicí jednotka průběžně měří napětí na člancích a dle potřeby ho prostřednictvím balancovacích modulů upravuje. Každý modul je schopen pracovat se čtyřmi články 3,2V.

Tabulka 17 Technické parametry modulu ON4 UTP [59]

Určeno pro	4 x LiFePO4 články 3,2V (12V LiFePO4)
Maximální vyrovnávací proud	7,5 A s ventilátorem, 4 A bez ventilátoru
Mezní napětí baterie	3,61 V v každé sekci.
Minimální napětí, na které lze vyrovnávat	3 V v každé sekci.
Nastavitelný rozsah mezního napětí baterie	3,5 až 3,7 V v každé sekci.
Řídicí napětí nuceného vyrovnávání	3 až 5 V (omezeno vestavěnou ochranou).
Tolerance nastavení napětí	$\pm 0,3 \%$.
Maximální vybíjecí výkon	27 W v každé sekci.
Ochrany	proti tepelnému přetížení.
Rozsah pracovních teplot	10 až 30 °C.



Obrázek 26 Aktivní balancovací systém UTP 16 x 7.5A [59]

Další komponenty pro kontrolu a nastavení systému:**7.5.5 Studer Innotec RCC-02**

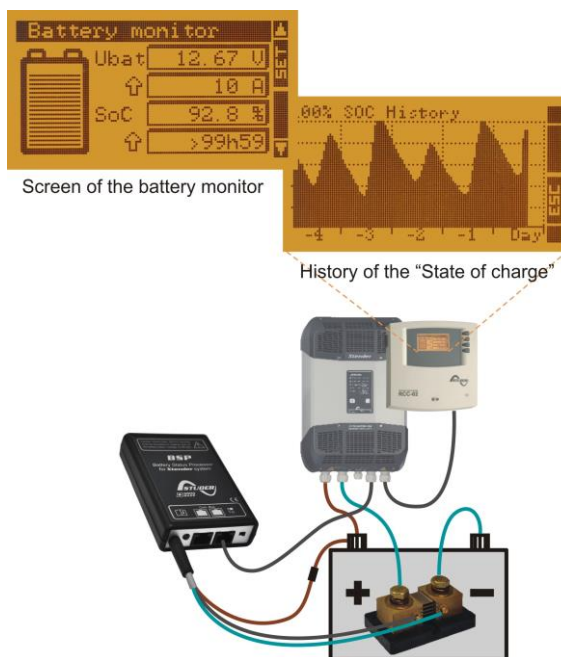
RCC-02 je ovládací panel, navržený pro měniče řady Xtender, díky kterému lze jednoduše provést celkové nastavení fotovoltaického systému. Panel má vstup na SD kartu, na kterou je schopen ukládat historii událostí v systému, tedy tvořit záznam požadovaných parametrů. Na panelu je možné zobrazit informaci o provozním režimu v reálném čase, také hodnoty stavu baterie za pomoci komunikace s BSP 500 a hodnoty fotovoltaického generátoru za pomoci komunikace s MPPT regulátorem.



Obrázek 27 Ovládací panel Studer Innotec RCC-02
[58]

7.5.6 Studer Innotec BSP 500

BSP neboli Battery Status Processor je modul, sloužící pro přesné měření a výpočet stavu nabití baterie, jakožto jednu z nejdůležitějších hodnot pro bezpečné, účinné a ekonomické provozování fotovoltaických systémů s bateriemi. V systému dokáže komunikovat s ovládacím prvkem RCC-02, kterému poskytuje svoje naměřené hodnoty, např. stav nabití, napětí v systému, proud, teplotu baterie atd.



Obrázek 28 Zapojení bateriového měřicího modulu Studer Innotec BSP 500
[58]

7.5.7 Studer Innotec RCM 10

Remote Control Module RCM 10 je řídicí modul pro přístup k hlavnímu ON/OFF a do příkazového vstupu střídače XTM-4000. Je možné ho instalovat na DIN lištu.



Obrázek 29 Studer Innotec RCM 10 [58]

7.5.8 Studer Innotec BTS-01

Battery Temperature Sensor BTS-01 je teplotní čidlo baterie, které zvládá přizpůsobit prahové hodnoty náboje na teplotu baterie. Je dodáván s 5 m kabelem.



Obrázek 30 Studer Innotec BTS-01 [58]

7.5.9 Elektrický akumulční ohřivač DZ Dražice OKCE 200

Pro ohřev TV byl zvolen elektrický akumulční ohřivač značky DZ Dražice, která disponuje širokým sortimentem v oblasti ohřivačů vody. Družstevní závody Dražice jsou největším výrobcem ohřivačů vody v České republice, jejich výrobky mají v této oblasti dominantní podíl na trhu více než 50%. Podnik se zaměřuje na kombinaci ohřevu s technologiemi využívajících obnovitelné zdroje, jako jsou tepelná čerpadla, kolektory,

biomasa a v poslední době i velmi atraktivnímu fotovoltaickému ohřevu, využívající jak stejnosměrného proudu z fotovoltaiky, tak záložního střídavého proudu ze sítě.

Mnou zvolený akumulační ohřívač OKCE 200 je však obyčejný elektrický ohřívač využívající pouze střídavé napětí 1-PE-N/AC 230 V/50 Hz. V systému bude totiž zařazen až za měnič napětí. OKCE 200 je závěsný ohřívač o objemu 200 litrů. Ohřev zajišťuje keramické topné těleso, které je ovládáno pomocí provozního termostatu. Toto těleso je jištěné bezpečnostním termostatem.



Obrázek 31 El. ohřívač
DZ Dražice OKCE 200
[60]

Tabulka 18 Technické parametry el. akumulačního ohřívače DZ Dražice OKCE 200 [60]

Objem	200 l
Maximální provozní tlak nádoby	0,6 MPa
Napětí	230 V
Příkon	2200 W
Elektrické krytí	IP 45
Výška ohřívače	1287 mm
Průměr ohřívače	584 mm
Maximální hmotnost ohřívače bez vody	68 kg
Doba ohřevu elektrickou energií z 10 °C na 60 °C	5,3 hod
Tepelné ztráty	1,4 kWh/24 h

7.6 Přiblížení provozních stavů systému dle funkčních schémat

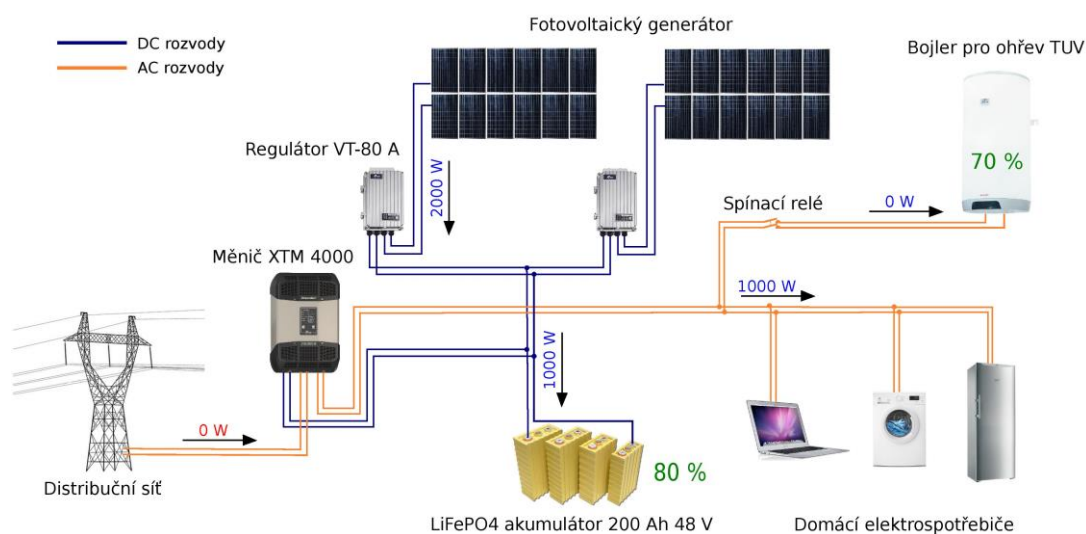
Níže uvedená funkční schémata představují náhled do možného průběhu toku energií v systému během slunečného dne. Nákresy zapojení komponentů neodpovídají přesnému reálnému zapojení, ale jsou zjednodušeny pro názornou ukázkou možného funkčního scénáře všedního dne.

Systém bude respektovat tři odběrné úseky a to v následujícím prioritním pořadí:

- přímá spotřeba elektrospotřebičů,
- nabíjení akumulátoru,
- přebytky energie směřované do akumulčního ohřivače vody.

Výjimku bude tvořit noční režim, kdy na místo prioritního nabíjení akumulátoru bude pomocí HDO spínat napájení ohřevu vody ze sítě v době nízkého tarifu elektřiny.

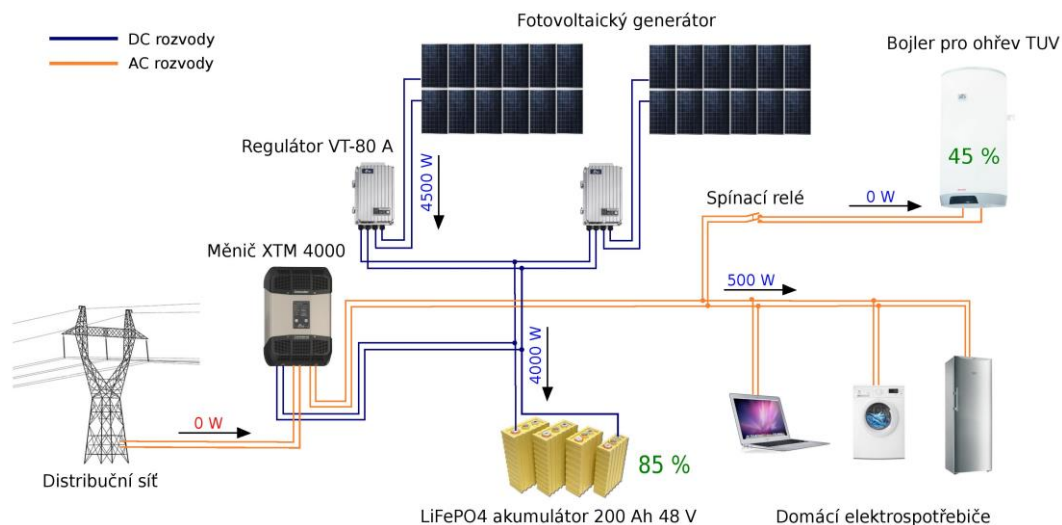
Ráno



Obrázek 32 Funkční schéma systému v ranních hodinách [7], [8], [9], [10]

Ráno je k dispozici ohřátá voda na 50 °C, dle nastavené minimální hodnoty teploty vody na termostatu, díky nucenému síťovému ohřevu během nízkého tarifu v nočních hodinách. Fotovoltaický generátor je již schopen vyrábět elektrickou energii, která je přes hybridní měnič napětí směřována pro přímou spotřebu domu. Přebytky energie jsou v tomto případě využity na dobíjení akumulátoru. Při špičkových odběrech je měnič schopen zbytek energie dočerpávat ze sítě.

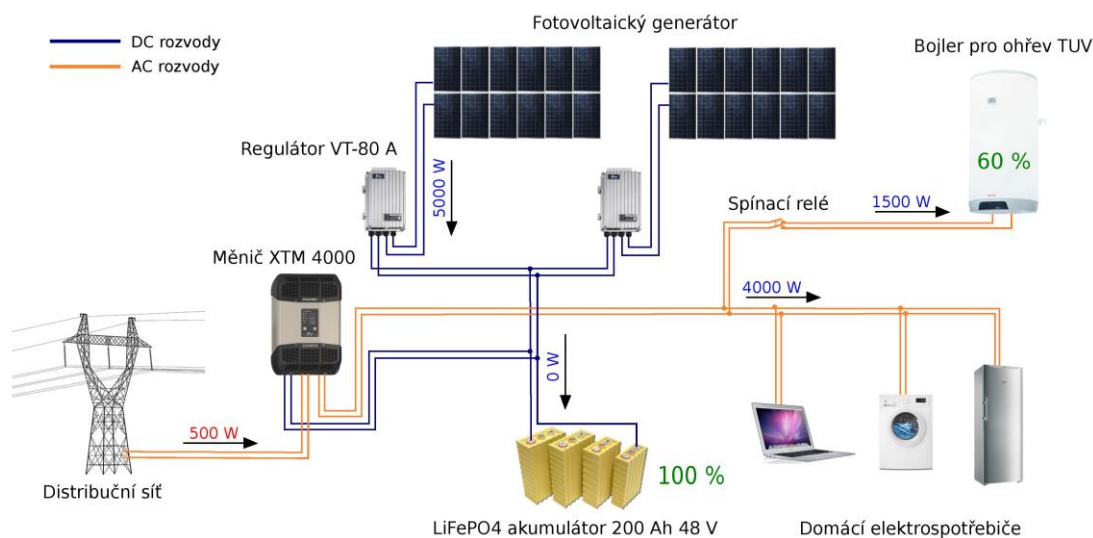
Dopoledne



Obrázek 33 Funkční schéma systému v dopoledních hodinách [11], [12], [13], [14]

V dopoledních hodinách může být při dobrých světelných podmínkách již využitelný výkon z fotovoltaického generátoru 4500 W, který bude převážně využit pro dobíjení akumulátoru a samozřejmě pro pokrytí běžné spotřeby domu. Jelikož je v ranních hodinách předpokládána zvýšená spotřeba teplé vody (uvažují odběr 3,8 kWh), poklesla zásoba tepla v akumulacím ohřivači.

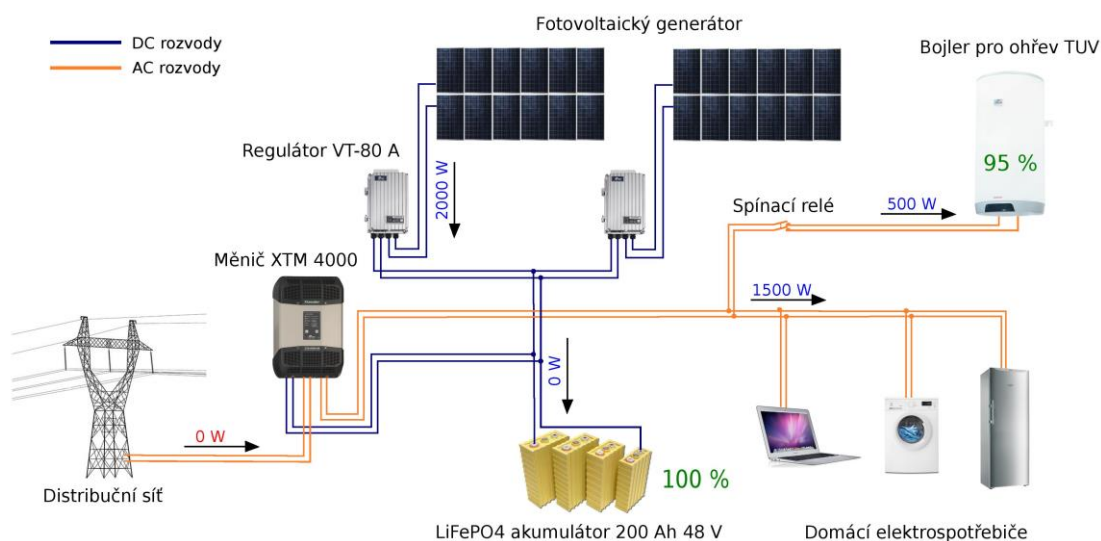
Odpoledne



Obrázek 34 Funkční schéma systému v odpoledních hodinách [15], [16], [17], [18]

V poledních a brzkých odpoledních hodinách, kdy generátor zvládá vyrábět nejvíce energie, je vhodné nastavit automatické spuštění některých domácích spotřebičů (např. myčka, pračka), pro efektivní přímé využití vyrobené energie. Akumulátor je v této fázi již zcela nabit a přebytky vyrobené energie jsou směřovány do ohřevu TV. Odběrové špičky kryje síť.

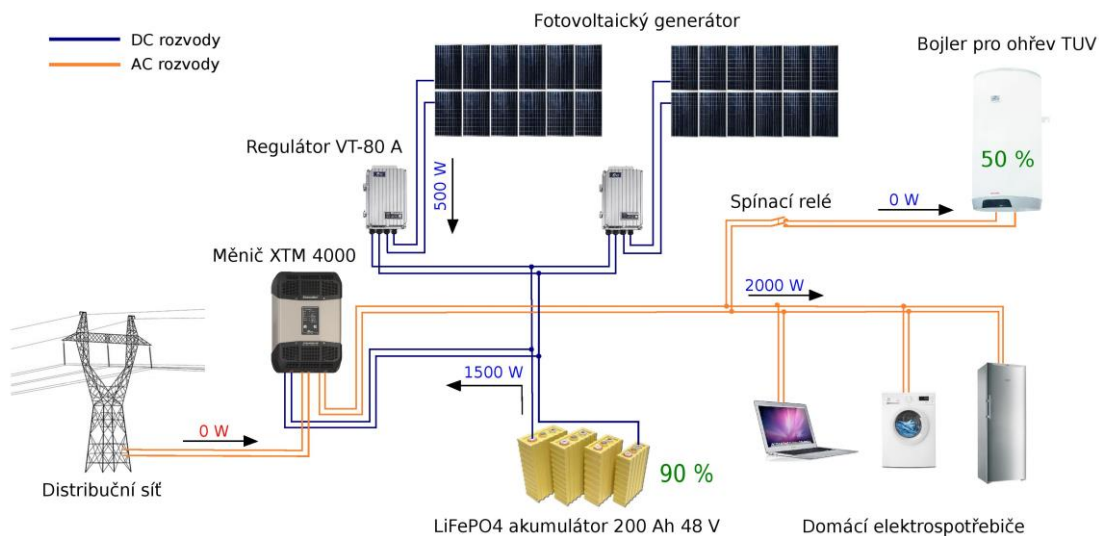
Podvečer



Obrázek 35 Funkční schéma systému podvečer [19], [20], [21], [22]

Generátor je stále schopný vyrábět dostatek energie pro přímou spotřebu domu a v případě odběru většího je možné využít energii z akumulátoru. Za pomoci přebytků se voda v bojleru dohřeje na požadovanou maximální teplotu 80 °C nastavenou na druhém termostatu. Obě akumulční zařízení se tedy budou nacházet ve stavu plné kapacity, což je ideální před předpokládaným večerním zvýšeným odběrem teplé vody (uvažují 9kWh) a elektřiny.

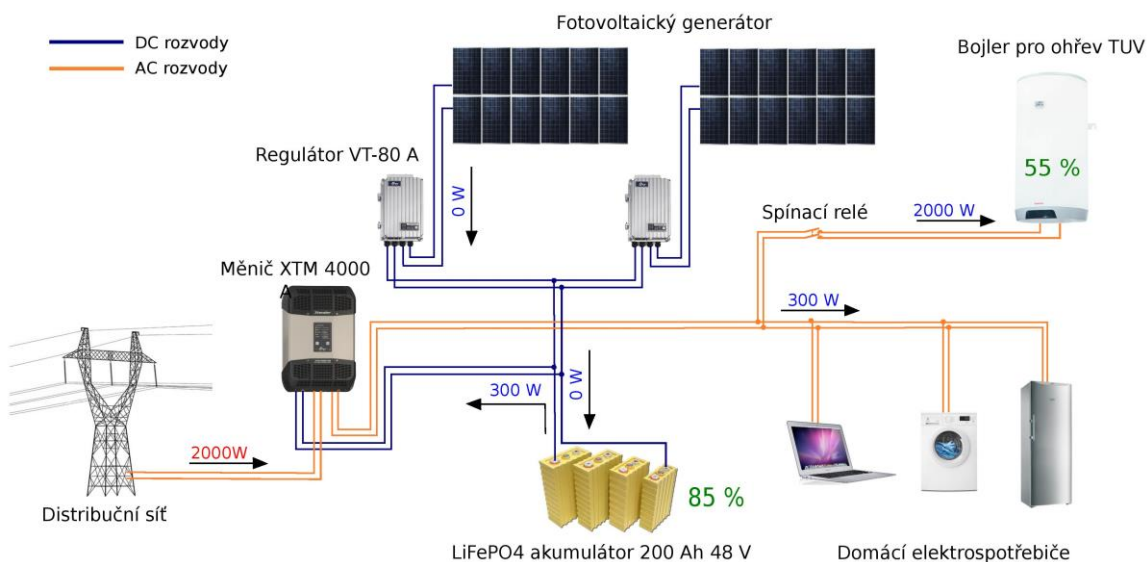
Večer



Obrázek 36 Funkční schéma systému ve večerních hodinách [23], [24], [25], [26]

Pokrytí spotřeby elektrospotřebičů ve večerních hodinách bude zajišťovat akumulátor. Teplota vody v bojleru klesne díky většímu večernímu odběru na 45 °C. Elektrický ohřívač čeká na přepnutí pomocí HDO na nízký tarif.

Noc



Obrázek 37 Funkční schéma systému v noci [27], [28], [29], [30]

Během noci bude nízký odběr elektrospotřebičů zajišťovat akumulátor a pro ohřev vody v bojleru bude využito energie ze sítě během nízkého tarifu elektřiny. Tento nucený ohřev ze sítě je nastaven proto, aby i v brzkých ranních hodinách bylo dostatek teplé vody k dispozici. Teplá voda bude během noci ohřívána na minimální požadovanou hodnotu 50° C dle nastavení prvního termostatu.

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU HFVE

Ekonomické zhodnocení realizace a provozu fotovoltaické elektrárny je důležitým ukazatelem pro investora, kterého zajímá celková investiční návratnost projektu a doba jejího dosažení. V případě plně autonomních ostrovních systémů v aktuálním období (rok 2015) bez jakékoli státní podpory, vzhledem k ekonomicky náročné výrobě energie v zimních měsících, např. prostřednictvím záložního diesel agregátu, je návratnosti systému dosaženo jen velmi zřídka. Ostrovní systém má však nespornou, avšak těžko penězi vyčíslitelnou výhodu, kterou je možnost využívat elektrické energie na odloučených místech.

Hybridní systém sice nedisponuje touto vlastností, může však být ekonomicky zajímavější, a to především proto, že v zimních měsících jsou nedostatky energie z fotovoltaického generátoru kryty podstatně levnější energií ze sítě. Návratnost i těchto systémů je však bez aktuálně žádné dotační podpory poměrně dlouhá a důvody pořízení spočívají spíše ve výhodách částečné nezávislosti na distributorovi energie, funkce systému jako záložního zdroje při výpadcích či stránka ekologická atd.

Návratnost investice nejvíce ovlivňují následující faktory:

- pořizovací a provozní náklady,
- efektivní využití vyrobené energie,
- výše a pohyby ceny elektrické energie,
- kvalita a životnost komponentů.

8.1 Vstupní náklady návrhu

Tabulka 19 Vstupní náklady na stavbu HFVE

Použité komponenty a služby	Počet	Cena s DPH
Fotovoltaické panely München Solar MSP250AS-30	21 ks	97 650 Kč
Akumulátor LiFePO4 16 x 3,2V 200Ah 9,6 kWh	1 ks	144 050 Kč
Aktivní balancovací systém UTP 16 x 7,5 A pro LiFePO4	1 ks	16 990 Kč
Hybridní měnič XTM 4000 – 48V	1 ks	73 200 Kč
Regulátor nabíjení VT – 80A	2 ks	33 780 Kč
Monitorovací jednotka RCC-02	1 ks	4 600 Kč
Řídící modul RCM 10	1 ks	895 Kč
Procesor stavu baterie BSP 500	1 ks	8 700 Kč
Teplotní čidlo baterie BTS - 01	1 ks	1 350 Kč
Systém pro upevnění 21 panelů		26 250 Kč
Elektroinstalační a elektromontážní materiál		13 500 Kč
Solární kabel 60 m		2 100 Kč
MC4 konektory a paralelní spojky		2 350 Kč
Bleskojistky		1 300 Kč
Montáž, doprava a nastavení elektrárny		29 000 Kč
Cena celkem		455 715 Kč

Tabulka zahrnuje náklady na technické vybavení kompletního hybridního fotovoltaického systému, včetně elektroinstalačních a elektromontážních materiálů a nákladů za práci spojenou s kompletní montáží a nastavení elektrárny. Komponenty jsou dostupné na českém trhu a jejich ceny odpovídají aktuálním nabídkám (květen 2015) specializovaných společností.

Dále je do pořizovacích nákladů nutné zahrnout náklady na elektrický akumulční ohřívač DZ Dražice OKCE 200 a jeho instalaci. Pro nákup tohoto ohřívače bude využita akční nabídka společnosti E.ON, která na tento výrobek, pro svoje zákazníky, aktuálně poskytuje slevu 40 %.

Tabulka 20 Vstupní náklady na výměnu akumulčního ohřívače

Elektrický akumulční ohřívač ZD Dražice OKCE 200	1 ks	6 885 Kč
Termostat DZ Dražice Eika v01	1 ks	195 Kč
Montáž a doprava ohřívače		2 500 Kč
Cena celkem		9 580 Kč

Celkové náklady na pořízení, dopravu, instalaci, zprovoznění a nastavení kompletního systému HFVE 5,25 kW_p, využívající pro přebytky vyrobené elektrické energie elektrický akumulární ohříváč DZ Dražice OKCE 200 činí **465 295 Kč**.

8.2 Predikce výše vyrobené energie dle fotovoltaického GIS

Tabulka 21 Zadané hodnoty do geografického informačního systému PVGIS

Místo	49°15'09.1"N 16°55'38.7"E
Nadmořská výška	305 m nm
Databáze slunečního záření	PVGIS-CMSAF
Jmenovitý výkon FV systému	5,25 kW (krystalický křemík)
Odhad. ztráty v důsledku teploty a nízké intenz. záření	7,9% (z místních okolních teplot)
Odhad. ztráty v důsledku úhlových vlivů odrazivosti	3,0%
Další ztráty (kabely, měniče atd.)	9,00%
Kombinované ztráty FV systému	18,70%
Pevný systém	35 °
Orientace	24 °

Tabulka 22 Získané hodnoty z do geografického informačního systému PVGIS [61]

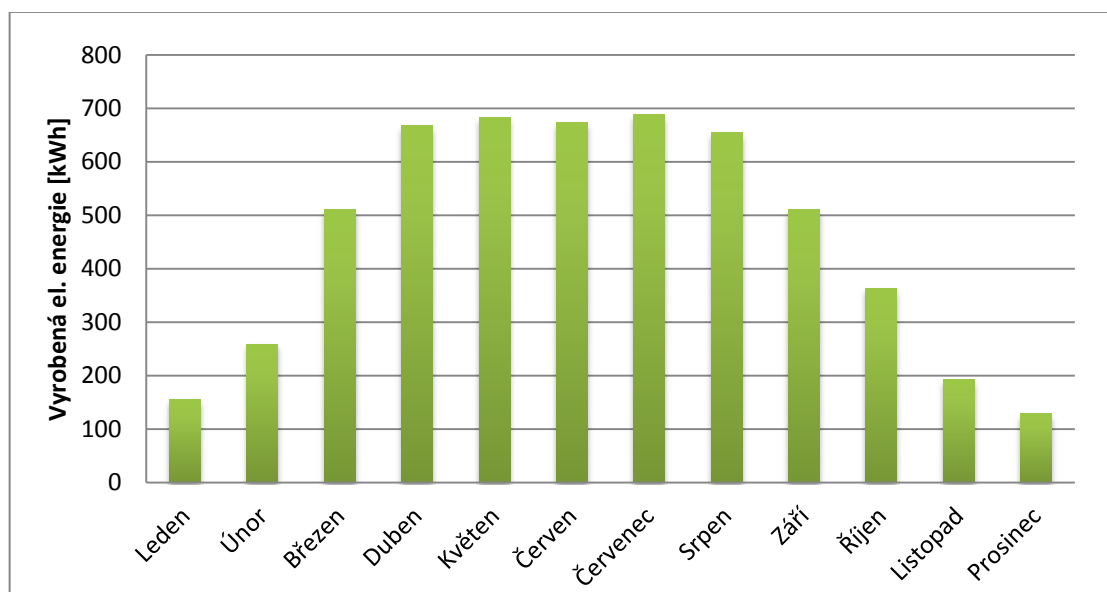
Měsíc	E_d [kWh]	E_m [kWh]	H_d [kWh / m ²]	H_m [kWh / m ²]
Leden	5,01	155	1,07	33
Únor	9,24	259	2	55,9
Březen	16,5	511	3,68	114
Duben	22,2	667	5,2	156
Květen	22	683	5,29	164
Červen	22,5	674	5,47	164
Červenec	22,2	688	5,45	169
Srpen	21,1	655	5,15	160
Září	17	511	4,03	121
Říjen	11,7	363	2,67	82,6
Listopad	6,44	193	1,41	42,4
Prosinec	4,16	129	0,89	27,5
Průměr	15	457	3,53	107
Celkem		5490		1290

E_d : Průměrná denní produkce elektřiny systému

E_m : Průměrná měsíční výroba elektřiny systému

H_d : Průměrná denní suma globálního záření na čtvereční metr

H_m : Průměrný součet globálního záření na čtvereční metr za měsíc



Obrázek 38 Graf roční výroby elektrické energie dle získaných dat z PVGIS [61]

Tato data byla získána prostřednictvím geografického informačního systému PVGIS, projektu Join Research Centre podpořeného EU. Webová služba pro výpočty odhadované produkce vyrobené el. energie a intenzity globálního záření je veřejně dostupná na adrese <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

8.3 Míra energetické nezávislosti

Tabulka 23 Porovnání potřebných a vyrobených hodnot energie – míra nezávislosti

Měsíc	Celková spotřeba el. energ. [kWh]	Celková vyrobená el. energ. [kWh]	Přebytky/nedostatky el. energ. [kWh]
Leden	820,8	155	-665,8
Únor	730,1	259	-471,1
Březen	660,4	511	-149,4
Duben	597,5	667	69,5
Květen	543,3	683	139,7
Červen	529,1	674	144,9
Červenec	529,1	688	158,9
Srpen	546	655	109
Září	604,2	511	-93,2
Říjen	657	363	-294
Listopad	726,7	193	-533,7
Prosinec	812,7	129	-683,7
Celkem	7757	5488	-2269

Ve výše uvedené tabulce je označeno období, během kterého vyrobená energie převyšuje energii potřebnou (přibližně od poloviny března do poloviny září), dům tedy může být, v těchto necelých **6 měsících v roce**, zcela nezávislý na energii z distribuční sítě.

Predikovaná roční výše vyrobené energie 5488 kWh pokryje 70,75 % celkové spotřeby domu. Zbytek potřebné energie 2269 kWh je nutné pokrýt odběrem ze sítě.

Tabulka 24 Výpočet roční ceny el. energie po instalaci HFVE dle ceníku E.ON 2015, sazba D25d

	Cena [Kč]	Spotřeba [MWh]	Období [měsíce]	Náklady za příkon či období [Kč]
Platba za dodávku elektřiny				
VT	1655	0,4538	-	751,04
NT	959	1,8152	-	1740,78
Stálý měsíční plat	58	-	12	696
Daň z elektřiny	28,3	2,269	-	64,21
Platba za distribuci elektřiny				
VT	1518,43	0,4538	-	689,06
NT	29,99	1,8152	-	54,44
Měsíční plat za hlavní jistič				
3x25A	95	-	12	1140
Cena za související služby				
Systémové služby	105,27	2,269	-	238,86
Podpora výkupu el. Z OZE, KVET a DZ	495	2,269	-	1041,47
Činnost OTE	6,94	2,269	-	15,75
Roční náklady za elektřinu z DS bez DPH [Kč]				6431,61
Roční náklady za elektřinu z DS včetně DPH [Kč]				7782,25

Ve výpočtu uvažuji, vzhledem k inteligentnímu řízení spotřeby, 80 % využití nízkého tarifu (1815,2 kWh) a 20 % tarifu vysokého (453,8 kWh).

Náklady za elektřinu a plynový ohřev TV

$$18\,649 \text{ Kč} + 7\,722,13 \text{ Kč} = 26\,371 \text{ Kč}$$

Výpočet představuje součet původních ročních nákladů na spotřebu elektrické energie a spotřebu plynu pro ohřev teplé vody. Od této částky je třeba odečíst náklady spojené s nákupem zbytku energie, který není fotovoltaický systém schopen pokrýt, tedy částku 7782 Kč.

$$26\,371 \text{ Kč} - 7\,782 \text{ Kč} = 18\,589 \text{ Kč}$$

Vypočtená hodnota představuje roční úsporu nákladů za energie, které jsou díky navrženému systému ušetřeny.

8.4 Doba návratnosti

Tabulka 25 Výpočet doby finanční návratnosti instalace

Rok	Roční úspora	Rozdíl investice - úspora	Počet let
2015 výstavba	0	-465 295 Kč	
2016	18 589 Kč	-446 706 Kč	1. rok
2017	18 831 Kč	-427 875 Kč	2. rok
2018	19 075 Kč	-408 800 Kč	3. rok
2019	19 323 Kč	-389 476 Kč	4. rok
2020	19 575 Kč	-369 902 Kč	5. rok
2021	19 829 Kč	-350 073 Kč	6. rok
2022	20 087 Kč	-329 986 Kč	7. rok
2023	20 348 Kč	-309 638 Kč	8. rok
2024	20 613 Kč	-289 025 Kč	9. rok
2025	20 881 Kč	-268 145 Kč	10. rok
2026	21 152 Kč	-246 993 Kč	11. rok
2027	21 427 Kč	-225 566 Kč	12. rok
2028	21 705 Kč	-203 860 Kč	13. rok
2029	21 988 Kč	-181 873 Kč	14. rok
2030	22 273 Kč	-159 599 Kč	15. rok
2031	22 563 Kč	-137 036 Kč	16. rok
2032	22 856 Kč	-114 180 Kč	17. rok
2033	23 153 Kč	-91 026 Kč	18. rok
2034	23 454 Kč	-67 572 Kč	19. rok
2035	23 759 Kč	-43 812 Kč	20. rok
2036	24 068 Kč	-19 744 Kč	21. rok
2037	24 381 Kč	4 637 Kč	22. rok
2038	24 698 Kč	29 335 Kč	23. rok
2039	25 019 Kč	54 354 Kč	24. rok
2040	25 344 Kč	79 699 Kč	25. rok

Vstupující faktory ovlivňující návratnost investice do HFVE

- Předpokládaná doba životnosti systému 25 let
- Degradace panelů (pokles jmenovitého výkonu za rok) 0,7 %
- Inflace (růst cen energií) 2 %

Tabulka 26 Výsledky výpočtů

Celkem investováno	465 295 Kč
Celkem ušetřeno	544 994 Kč
Výnos	79 699 Kč
Doba návratnosti	22 let

Z výsledků je zřejmé, že při aktuálních podmínkách týkajících se realizace fotovoltaického systému, především při pozastavení státní finanční podpory, nepředstavuje investice nijak zvlášť výraznou finanční úsporu. Při bezporuchovém provozu po celou dobu životnosti 25 let, bez investic na opravy poruch, je systém schopen ušetřit kolem 80 000 Kč, což k výši vstupní investice nepředstavuje výrazný profit. Doba životnosti 25 let je hraniční dobou životnosti především akumulátoru, který je v navrhovaném systému využíván co nejméně, aby byl této dlouhé doby provozu schopen.

System tedy minimálně pokryje svými výnosy náklady za jeho pořízení. Naskýtá se tedy otázka proč si systém vůbec pořizovat. Důvody pořízení si fotovoltaické elektrárny, vyrábějící energii pro vlastní spotřebu vychází v dnešní době spíše z výhod provozu. Tím může být např. funkce systému jako záložního zdroje UPS, při výpadcích dodávky energie ze sítě, snížená míra závislosti na distributorovi elektrické energie, šetrná výroba elektrické energie vzhledem k životnímu prostředí a další.

Podmínky provozu fotovoltaických systémů se však budou během následujících let jistě měnit. Vzhledem k tomu, že v Národním akčním plánu ČR se předpokládá růst podílu energie z obnovitelných zdrojů (i zdrojů fotovoltaických) na hrubé konečné spotřebě energie, bude třeba v blízké době provést určitá opatření pro znovuoobnovení zájmu o toto odvětví.

V následující kapitole práce se budu věnovat možným faktorům ovlivňující dobu návratnosti realizace navrženého systému a výši ušetřených nákladů.

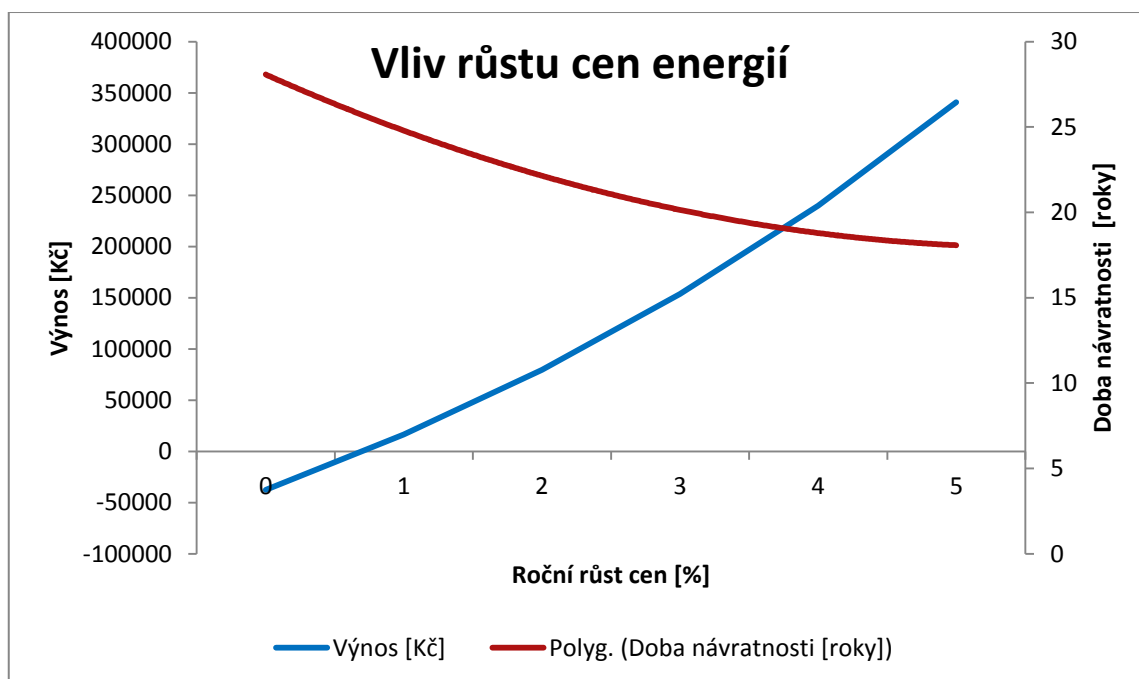
9 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA NÁVRHU HFVE

9.1 Vliv růstu cen energií

Jelikož se finanční návratnost investice odvíjí od ušetřených nákladů za energie, hraje zde pohyb cen významnou roli. Cena el. energie je nyní poměrně nízko a dá se předpokládat její budoucí nárůst. Cena energie plynu každoročně mírně roste. Tab. 26 představuje výsledky vypočtených hodnot pro uvažovaný roční nárůst cen energií od 0 do 5 %

Tabulka 27 Vliv růstu cen energií na finanční návratnost systému

Roční růst cen [%]	Investice [Kč]	Úspora [Kč]	Rozdíl investice - úspora [Kč]	Doba návratnosti [roky]
0	465 295	427 705	-37 590	28
1	465 295	481 846	16 551	25
2	465 295	544 994	79 699	22
3	465 295	618 766	153 471	20
4	465 295	705 079	239 784	19
5	465 295	806 196	340 901	18



Obrázek 39 Graf vlivu růstu cen energií na finanční návratnost systému

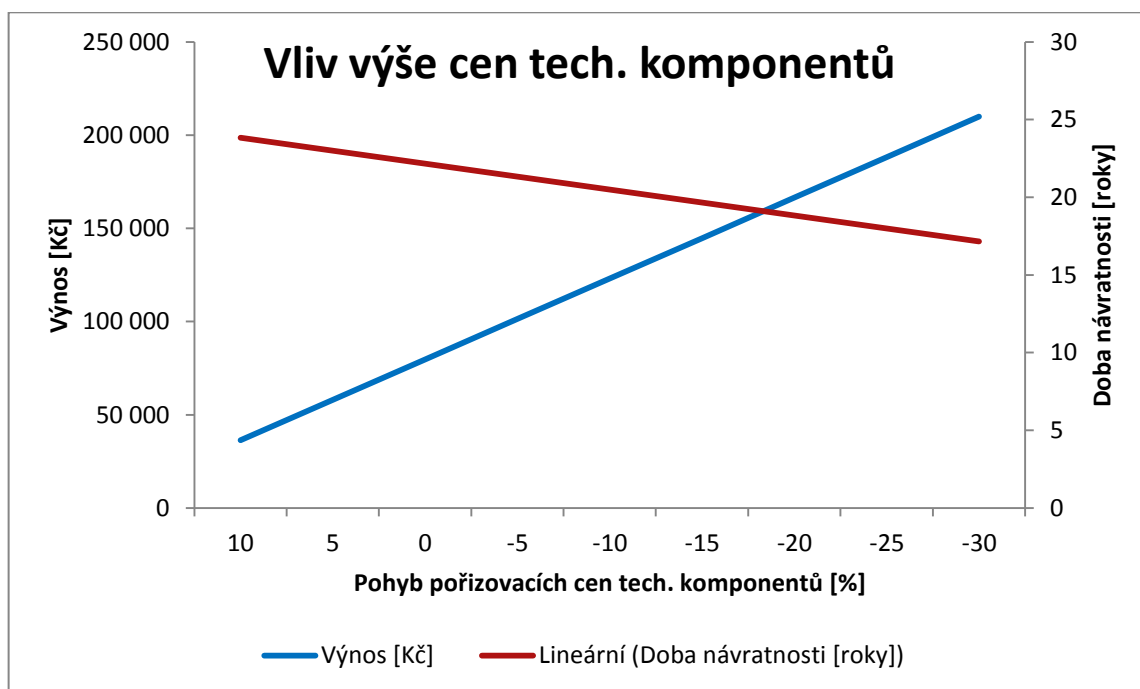
Z výsledného grafu je patrný vliv výše ročního nárůstu cen energií na finanční návratnost systému. Při pětiprocentním ročnímu nárůstu cen, se finanční návratnost sníží na 18 let. Naopak při nulové inflaci se instalace systému finančně nevyplatí.

9.2 Vliv výše cen technických komponentů

Cena technických komponentů představující převážnou část vstupních nákladů, je také velmi důležitým faktorem, ovlivňující dobu návratnosti systému. Vzhledem k neustálému trendu klesajících cen fotovoltaických panelů a předpokladu vývoje stále efektivnějších technických prvků systému (např. vývoj nových efektivnějších a levnějších akumulčních zařízení) je předpokladem spíše cenový pokles. V analýze však uvažují i nárůst cen.

Tabulka 28 Vliv pohybu cen technických komponentů na finanční návratnost systému

Pohyb pořizovacích cen technických komponentů [%]	Investice [Kč]	Úspora [Kč]	Rozdíl investice - úspora [Kč]	Doba návratnosti [roky]
+10	508 675	544 994	36 319	24
+5	486 985	544 994	58 009	23
0	465 295	544 994	79 699	22
-5	443 605	544 994	101 388	21
-10	421 916	544 994	123 073	20
-15	400 226	544 994	144 768	20
-20	378 536	544 994	166 458	19
-25	356 846	544 994	188 147	18
-30	335 157	544 994	209 837	17



Obrázek 40 Graf vlivu pohybu cen technických komponentů na finanční návratnost systému

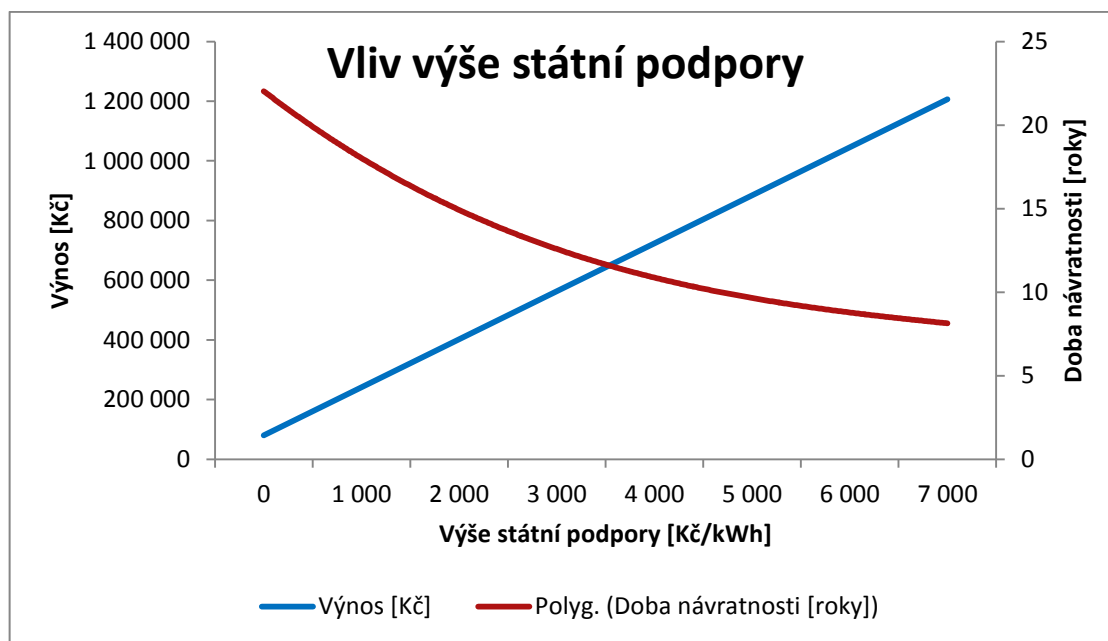
Z grafu je patrný vliv výše vstupních nákladů za technické vybavení systému ovlivňující finanční návratnost. Při třicetiprocentním poklesu cen se návratnost sníží na 17 let.

9.3 Vliv případné výše státní podpory

Aktuálně (rok 2015) je státní podpora pro nově vzniklé fotovoltaické systémy pozastavena, to však neznamená, že tomu tak bude i nadále. Výše státní provozní podpory představuje nejvíce ovlivňující faktor finanční návratnosti systému. Tato podpora (formou zelený bonus) se pro systémy uvedené do provozu do konce roku 2013 pohybuje mezi 1,879 až neuvěřitelnými 15,146 Kč/kWh. Ve své analýze uvažuji o možné budoucí výši podpory od 0 do 7 Kč/kWh.

Tabulka 29 Vliv výše státní podpory na finanční návratnost systému

Výše státní podpory (zelený bonus) [Kč/kWh]	Investice [Kč]	Úspora [Kč]	Výnos [Kč]	Doba návratnosti [roky]
0	465 295	544 994	79 699	22
1	465 295	705 891	240 596	18
2	465 295	866 789	401 494	15
3	465 295	1 027 687	562 392	13
4	465 295	1 188 584	723 289	10
5	465 295	1 349 482	884 187	10
6	465 295	1 510 379	1 045 084	9
7	465 295	1 671 227	1 205 932	8



Obrázek 41 Graf vlivu výše státní podpory na finanční návratnost systému

Vliv výše státní provozní podpory je dle výsledků hlavním faktorem finanční návratnosti systému. Při výši podpory 7 Kč/kWh je návratnosti dosaženo již za 8 let. V takovém případě by při bezproblémovém chodu systému, bez větších provozních nákladů, představovala instalace výhodnou investici s významným profitem.

ZÁVĚR

V předkládané diplomové práci jsem se věnoval malým fotovoltaickým elektrárnám určeným pro provoz na střechách rodinných domů. Konkrétně jsem se zaměřil na hybridní fotovoltaické systémy, které v současnosti představují - vzhledem k aktuálním podmínkám v ČR - z mnoha pohledů ideální druh instalace střešních fotovoltaických systémů.

V teoretické části jsem přiblížil historii fotovoltaických systémů, jednotlivé fáze při objevování fyzikálních principů fotoelektrického jevu, princip fungování fotovoltaického článku, respektive fotovoltaické přeměny s využitím PN přechodu. Taktéž jsem vytvořil přehled jednotlivých druhů fotovoltaických systémů vhodných pro střešní instalace.

Zaměřil jsem se na hybridní solární systémy - funkčnost, skladba, optimální provoz, přednosti a možnost kombinace hybridní elektrárny s elektrickým bojlerem pro optimalizaci spotřeby vyrobené energie. Popsal jsem hlavní komponenty a jejich účelnost v rámci systému. V další kapitole práce jsem se věnoval aktuálnímu legislativnímu rámci řešené problematiky a přiblížil jsem hlavní právní předpisy, rozhodnutí a pravidla provozovatelů distribučních soustav. Neopomněl jsem ani jednotlivé formy podpory fotovoltaických systémů, ať už provozní dotace či jiné. Věnoval jsem se i podmínkám pro připojení nové výroby do distribuční soustavy a podmínkám pro provoz ostrovních a hybridních systémů.

Jako hlavní cíl této práce jsem si stanovil sestavení vhodného návrhu hybridní fotovoltaické elektrárny pro konkrétní rodinný dům. V současnosti tento rodinný dům spotřebovává průměrně 4 MWh elektrické energie a 30 MWh energie ze zemního plynu za rok. Tyto spotřeby jsem rozdělil do několika energetických úseků spotřeby domu a rozčlenil dle jednotlivých měsíců v roce. Zhodnotil jsem možnosti a vyměnil plynový ohřívač teplé vody za ohřívač elektrický. V této souvislosti jsem přepočítal změny ve spotřebě, které výměna ohřívače vyvolala. Elektrický ohřívač je pro hybridní fotovoltaický systém vhodnější, protože lze efektivněji využívat přebytky vyrobené elektrické energie k ohřevu vody. Zhodnotil jsem výši navrhovaného výkonu systému odvíjejícího se od zjištěných hodnot spotřeby a také od výkonových řad hybridních měničů napětí a regulátorů nabíjení s ohledem na jejich cenu.

Na tomto základě jsem navrhnul konkrétní složení a parametry hybridní fotovoltaické elektrárny o výkonu 5,25 kW_p. Elektrárna využívá 21 ks polykrystalických panelů o jednotkovém výkonu 250 kW_p, zapojených do sedmi paralelních větví po třech sériově seřazených panelech, dva MPPT regulátory Studer Innotec VT – 80A, hybridní měnič Studer Inno-

tec XTM 4000 – 48V s nominálním výkonem 3 500 VA, akumulátor LiFePO₄ o kapacitě 200 Ah a jmenovitém napětí 48 V, bojler Dražice OKCE 200 a další drobná elektronická ovládací či kontrolní zařízení. Následně jsem zakreslil návrh rozložení panelů na střechu domu a vytvořil funkční schémata znázorňující možný scénář toku energie v navrženém systému v jednotlivých částech dne.

V rámci ekonomického zhodnocení návrhu jsem provedl kalkulaci vstupních nákladů, jejichž výši jsem vyčíslil na 465 295 Kč. Pro výpočet úspory jsem využil webové služby fotovoltaického geografického informačního systému PVGIS, který odhaduje roční produkci energie fotovoltaického systému, a vypočítal množství energie, jež bude třeba každý rok dokoupit z distribuční sítě. Roční úspora hybridní fotovoltaické elektrárny oproti konvenčnímu zdroji elektrické energie činí 18 589 Kč.

Doba návratnosti téměř půl milionové investice se pohybuje okolo 22 let (při meziroční inflaci 2 %) a v případě bezproblémového provozu a bez dalších investic je systém schopen za dobu své životnosti ušetřit téměř 80 000 Kč. Faktory, jež by mohly ovlivnit dobu návratnosti a výši úspory patří inflace, pohyb cen technických komponentů a vliv státních dotací (zelený bonus). Čím vyšší inflace, tím rychleji se investice vrátí: například při 5 % růstu cen se investice navrátí za 18 let. Obdobně, klesnou-li ceny komponentů například o 30 %, doba návratnosti dosáhne 17 let. Nezanedbatelný vliv na návratnost investice mají státní provozní dotace: při podpoře pouhých 2 Kč za každou vyrobenou kWh, klesne návratnost na 15 let a při podpoře 7 Kč/kWh klesne až na 8 let provozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BECHNÍK, Bronislav. 2014. Fotovoltaika: Stručná historie fotovoltaiky. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [2] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. 2000. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. české vyd. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
- [3] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. 2010. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 165 s. ISBN 978-809-0431-157.
- [4] Větrné elektrárny: Princip větrné elektrárny. [b.r.]. *Alternativní zdroje* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz/vetrne-elektrarny.htm>
- [5] MARTINÁSKOVÁ, Hana. 2007. *Vývoj představ o světle a možnosti jeho využití v gymnaziálním kurzu fyziky* [online]. Brno, 106 l. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/78026/prif_m/. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- [6] BARÁKOVÁ, Miluše. [b.r.]. *Základy kvantové fyziky. Gymnázium, Brno, Křenová 36: Předměty* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.gymkren.cz/studium/predmety/>
- [7] Interakce rentgenového a gama záření s prostředím. [b.r.]. *Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogickacinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/fyzikalni-zaklady/interakce-rentgenoveho-a-gama-zareni-s-prostredim/>
- [8] Technické využití fotoefektu. 2008. *Techmania* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4b76616e746f76e12066797a696b61h&key=1053
- [9] GRÓFOVÁ, Jitka. 2009. *Studium vybraných aspektů fotovoltaického systému* [online]. Brno [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/135862/pedf_m/Diplomova_prace.doc. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.

- [10] Polovodiče: Polovodiče typu N a P. 2015. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm>
- [11] Introduction to PV Manufacture in Cleanroom: PV Cells. 2014. *Questarnv* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://questarnv.blogspot.cz/2014/09/introduction-to-pv-manufacture-in.html>
- [12] Princíp fotovoltiky: Fotoelektrický jav. 2015. *Solartec* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.solartec.sk/sk/male-instalacie/informacie-o-fotovoltike/princip-fotovoltiky>
- [13] MOŘKOVSKÝ, Robert.: předneseno na *Off-Grid v ČR 2015: Budoucnost ostrovních a hybridních systémů*. Amper 2015, BVV, Brno. 24.3.2015 [cit. 2015-05-16].
- [14] DOLEŽEL, Michal. 2014. Hybridní fotovoltaická elektrárna – časem bude v každém domě. *Nazeleno* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/hybridni-fotovoltaicka-elektrarna-casem-bude-v-kazdem-dome.aspx>
- [15] Porovnání ohřevu vody pomocí fotovoltaických panelů a termických kolektorů. 2014. *DZ Dražice: Fotovoltaická řešení* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.dzd-fv.cz/images/Porovnani_ohrevu_vody/Porovnani_ohrevu_vody.pdf
- [16] QUASCHNING, Volker. 2010. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [17] POULEK, Vladislav a Martin LIBRA. 2010. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. (3) [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>
- [18] VOJÁČEK, Antonín. 2009. Začínáme s fotovoltaickými panely. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6068-zaciname-s-fotovoltaickymi-panely>
- [19] Fotovoltaika: FV technológie. 2014. *Fotovoltika* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.fotovoltika.sk/fotovoltika/>
- [20] Volba technologie: Tenkovrstvé panely – a-Si, CIS, CIGS. 2011. *Abot* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.abot.cz/cs/vase-investice/volba-technologie>

- [21] Kdy padne meta 50% účinnosti solárních CPV článků? 2015. *Solarninovinky* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015011303/kdy-padne-meta-50-ucinnosti-solarnich-cpv-clanku&rw=ADMTZ123&rt=46+%25#.VVaDViGvH3g>
- [22] VAŠÍČEK, Petr. 2014. Nové solární články: Mimořádně velká účinnost na obzoru? In: *Cdr* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://cdr.cz/clanek/nove-solarni-clanky-mimoradne-velka-ucinnost-na-obzoru>
- [23] Best Research - Cell Efficiencies. 2015. *NREL* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg
- [24] Nové: Panasonic HIT hybridní solární panely: Hit pro malé střechy. 2013. *Krannich Solar* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://cz.krannich-solar.com/cz/firma/novinky/article/article/neu-im-programm-das-panasonic-hit-hybrid-solarmodul2-1.html>
- [25] NPD SolarBuzz: Jak se změní technologie výroby panelů do roku 2018? 2014. *Solarninovinky* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2014102006/npd-solarbuzz-jak-se-zmeni-technologie-vyroby-panelu-do-roku-2018>
- [26] Solární fotovoltaické panely. 2015. *Isolar* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.isolar.cz/solarni-panely.html>
- [27] STRAKA, Michal. 2012. *Využití fotovoltaických systémů v OFF-grid aplikacích*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [28] Hybridní měniče napětí. 2015. *Solární panely: E-shop* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/e-shop/hybridni-menice-napeti>
- [29] KIJOVSKÝ, František. 2012. *Fotovoltaický ON-grid systém s akumulací*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [30] HNILICA, Pavel. [b.r.]. Solární regulátor a MPPT měnič: Solární regulátor. *Deramax* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>

- [31] *Ostrovní elektrárny* [online]. 2015. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/>
- [32] BRABENEC, Petr. *Systémy správy baterií pro mobilní robotiku*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [33] KRATOCHVÍL, Tomáš. *Akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [34] BAE Secura PVS BLOCK solar: Number of cycles as function of Depth of discharge. *Kolff* [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.kolff.com.ar/?page_id=8597
- [35] Traction Batteries: Exide Marathon Classic EPzB Series (BS). *Tuncmatik* [online]. 2011 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.tuncmatik.com/?page=/en/eac/urunler/id/276/exide-marathon-classic-epzb-series-bs.html>
- [36] Li-Ion baterie. *Sobětice solar* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solarni-systemy.eu/li-ion-baterie-c40>
- [37] DOLEŽEL, Michal. Lithium-železo-fosfátové akumulátory - budoucnost domácí výroby a spotřeby elektřiny. *Nazeleno* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/lithium-zelezo-fosfatove-akumulatory-budoucnost-domaci-vyroby-a-spotreby-elektriny.aspx>
- [38] Solárne batérie, Batérie LiFePO4. *Jakama: Green energy* [online]. [b.r.] [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.jakama-ge.sk/jakama-ge/eshop/9-1-Solarne-baterie/33-2-Baterie-LiFePO4-LiFeYPO4>
- [39] TOŠER, Pavel, Sebastian VACULÍK a Petr BAČA. Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích: Porovnání. *Tzbinfo* [online]. 2013 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elektriny-v-sekundarnich-clancich>
- [40] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. 2012, 103 s. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: <http://download.mpo.cz/get/48181/54290/599682/priloha001.pdf>
- [41] BECHNÍK, Bronislav. Rozvoj OZE – jinak než v Evropě. *Biom* [online]. 2010 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rozvoj-oze-jinak-nez-v-evrope>

- [42] Legislativa. *Aeko* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solarnivyroba.cz/legislativa>
- [43] *Ekonomický model FVE*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [44] DOLEŽEL, Michal. V rámci Nové zelené úsporám nejspíš získáte dotaci také na fotovoltaiku. *Nazeleno* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/aktualne/v-ramci-nove-zelene-usporam-nejspis-ziskate-dotaci-take-na-fotovoltaiku.aspx>
- [45] Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. 2012. 2012.
- [46] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření* [online]. 2014, 15 s. [cit. 2015-05-16].
- [47] Vyhláška č. 81/2010 Sb., kterou se mění vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. 2010. 2010.
- [48] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. *Pravidla provozování distribučních soustav: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy* [online]. 2014, 66 s. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_Dodatek_4_2014.pdf
- [49] Udělení licence: Všeobecné předpoklady pro udělení licence. *ERÚ: Energetický regulační úřad* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/udeleni-licence>
- [50] Společné stanovisko MPO a SEI k dodržování ustanovení § 10d zákona o hospodaření energií. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument154762.html>
- [51] Zákon č. 103/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. 2015. 2015.

- [52] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Sdělení ERÚ k problematice ostrovních systémů fotovoltaických elektráren* [online]. 2010 [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/487540/Sdeleni+ERU_FVE_ostrovní+provoz+2.pdf/b98c1cee-9399-493d-aeb1-f8e4086e90d1
- [53] Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). 2000. 2000.
- [54] Energetický zákon. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Energetick%C3%BD_z%C3%A1kon
- [55] 5 důvodů, proč se blýská na lepší časy pro českou fotovoltaiku. *Solarninovinky* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2015043002/5-duvodu-proc-se-blyska-na-lepsi-casy-pro-ceskou-fotovoltaiku#.VVe8qiGvH3g>
- [56] *Mapy* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=16.9273889&y=49.2525588&z=20&base=ophoto&q=lule%C4%8D>
- [57] Ü(Überlegen) Series. *Munchensolar* [online]. 2014 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://munchensolar.de/en/products/>
- [58] *Studer Innotec* [online]. 2012 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.studer-innotec.com/>
- [59] Ing. Martin Kolařík: *ostrovní fotovoltaické elektrárny* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.ostrovní-elektrarny.cz/>
- [60] *Mall* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/>
- [61] Photovoltaic Geographical Information System: Interactive Maps. *Join Research Centre: Institute for Energy and Transport (IET)* [online]. 2012 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér.
AC	Alternate current – střídavý proud.
Ah	Ampér-hodina.
a-Si	Amorfní křemík.
C	Kapacita.
CdTe	Cadmium telluride.
CIGS	Copper indium gallium selenide.
CIS	Copper indium selenide.
DC	Direct Current – stejnosměrný proud.
D.O.D.	Depth of discharge – hloubka vybití.
DS	Distribuční soustava.
DZ	Družstevní závody.
ERÚ	Energetický regulační úřad.
EVA	Etyl vinyl acetát.
FV	Fotovoltaické.
FVE	Fotovoltaická elektrárna.
HDO	Hromadné dálkové ovládání.
HFVE	Hybridní fotovoltaická elektrárna.
Hz	Hertz.
IP	Stupeň krytí.
kW	Kilo-watt.
kWh	Kilo-watt-hodina.
LiFePO	Lithium-železo-fosfátový.
MPPT	Maximum Power Point Tracking.

NN	Nízké napětí.
NZÚ	Nová zelená úsporám.
OTE	Operátor trhu s elektřinou.
OZE	Obnovitelný zdroj energie.
Pb	Olověný.
PEN	Protect engrounded and neutral conductor.
PPD	Podmínky poskytnutí distribuce.
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy.
PVGIS	Photovoltaic geographical informattion system.
TV	Teplá voda.
U	Napětí.
UPS	Uninterruptible power supply (nepřerušitelný zdroj napájení).
UTP	Unshielded Twisted Pair (nestíněná kroucená dvojlinka).
V	Volt.
VA	Volt-ampér.
W	Watt.
W_p	Watt peak.
η	Účinnost.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Energiová bilance rozhraní kovu a vnějšího prostředí [5]	16
Obrázek 2	Vnitřní fotoelektrický jev [7]	18
Obrázek 3	Struktura atomů křemíku jako polovodiče typu P a N [11]	20
Obrázek 4	Model přechodu PN [9]	21
Obrázek 5	Princip PN přechodu na fotovoltaickém panelu [12]	22
Obrázek 6	Schéma HFVE DC-Coupling [14]	26
Obrázek 7	Uložení krystalického článku (EVA – Etylen-Vinil-Acetát) [16]	30
Obrázek 8	Trend rekordních účinností jednotlivých technologií fotovoltaických článků [23]	32
Obrázek 9	Monokrystalický (vlevo), polykrystalický (uprostřed), amorfni (vpravo) fotovoltaický panel [26]	33
Obrázek 10	Hybridní měniče napětí [28]	34
Obrázek 11	Názorný diagram regulačních hodnot napětí [29]	35
Obrázek 12	Regulátory nabíjení [31]	36
Obrázek 13	Volt-ampérová charakteristika regulovaná MPPT regulátorem [16]	37
Obrázek 14	Nabíjení a vybíjení Pb akumulátoru [33]	39
Obrázek 15	Vliv počtu cyklů na životnost Pb akumulátoru [34]	40
Obrázek 16	Trakční Pb akumulátor [35]	41
Obrázek 17	LiFePO ₄ akumulátory [38]	42
Obrázek 18	Letecký snímek řešeného domu [56]	52
Obrázek 19	Graf energetické náročnosti jednotlivých úseků spotřeby během roku	54
Obrázek 20	Graf nákladů za jednotlivé úseky spotřeby energií během roku	57
Obrázek 21	Návrh rozložení panelů na střechu domu a jejich zapojení do stringů	65
Obrázek 22	Polykrystalický panel München Solar 250 W [57]	66
Obrázek 23	Studer Innotec XTM 4000-48 [58]	68
Obrázek 24	Studer Innotec VT – 80A [58]	69
Obrázek 25	Bateriový článek LiFePO ₄ 3,2V 200Ah [59]	70
Obrázek 26	Aktivní balancovací systém UTP 16 x 7.5A [59]	72
Obrázek 27	Ovládací panel Studer Innotec RCC-02 [58]	73
Obrázek 28	Zapojení bateriového měřicího modulu Studer Innotec BSP 500 [58]	73
Obrázek 29	Studer Innotec RCM 10 [58]	74
Obrázek 30	Studer Innotec BTS-01 [58]	74

Obrázek 31 El. ohřívač DZ Dražice OKCE 200 [60]	75
Obrázek 32 Funkční schéma systému v ranních hodinách [57], [58], [59], [60]	76
Obrázek 33 Funkční schéma systému v dopoledních hodinách [57], [58], [59], [60].....	77
Obrázek 34 Funkční schéma systému v odpoledních hodinách [57], [58], [59], [60].....	77
Obrázek 35 Funkční schéma systému podvečer [57], [58], [59], [60]	78
Obrázek 36 Funkční schéma systému ve večerních hodinách [57], [58], [59], [60]	79
Obrázek 37 Funkční schéma systému v noci [57], [58], [59], [60]	79
Obrázek 38 Graf roční výroby elektrické energie dle získaných dat z PVGIS [165].....	84
Obrázek 39 Graf vlivu růstu cen energií na finanční návratnost systému	88
Obrázek 40 Graf vlivu pohybu cen technických komponent na finanční návratnost systému	89
Obrázek 41 Graf vlivu výše státní podpory na finanční návratnost systému	90

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Měření kapacity Pb akumulátoru dle napětí a hustoty kyseliny [2]	39
Tabulka 2 Porovnání lithium-železo-fosfátových a olověných článků [39].....	43
Tabulka 3 Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014 [46].....	46
Tabulka 4 Současná úseková spotřeba energií rodinného domu	53
Tabulka 5 Předpokládané náklady za elektřinu v roce 2015 dle ceníku E.ON (platného od 1.1. 2015).....	55
Tabulka 6 Předpokládané náklady za plyn v roce 2015 dle ceníku RWE (platného pro rok 2015)	56
Tabulka 7 Současné náklady za jednotlivé úseky spotřeby energií během roku.....	56
Tabulka 8 Současná celková roční spotřeba energií a její náklady	57
Tabulka 9 Úseková spotřeba energií při přechodu na ohřev TV elektřinou.....	59
Tabulka 10 Celková spotřeba energií a náklady při přechodu na ohřev TV elektřinou	60
Tabulka 11 Základní komponenty a parametry navrhovaného systému	64
Tabulka 12 Technické parametry panelu München Solar MSP250AS-30 [57]	67
Tabulka 13 Technické parametry měniče Studer Innotec XTM 4000-48 [58].....	68
Tabulka 14 Technické parametry regulátoru Studer Innotec VT – 80A [58].....	69
Tabulka 15 Technické parametry akumulátoru	70
Tabulka 16 Technické parametry článku LiFePO4 3,2V 200Ah [59].....	70
Tabulka 17 Technické parametry modulu ON4 UTP [59]	72
Tabulka 18 Technické parametry el. akumulačního ohříváče DZ Dražice OKCE 200 [60]	75
Tabulka 19 Vstupní náklady na stavbu HFVE	82
Tabulka 20 Vstupní náklady na výměnu akumulačního ohříváče	82
Tabulka 21 Zadané hodnoty do geografického informačního systému PVGIS	83
Tabulka 22 Získané hodnoty z do geografického informačního systému PVGIS [61]	83
Tabulka 23 Porovnání potřebných a vyrobených hodnot energie – míra nezávislosti	84
Tabulka 24 Výpočet roční ceny el. energie po instalaci HFVE dle ceníku E.ON 2015, sazba D25d	85
Tabulka 25 Výpočet doby finanční návratnosti instalace	86
Tabulka 26 Výsledky výpočtů	87
Tabulka 27 Vliv růstu cen energií na finanční návratnost systému	88

Tabulka 28 Vliv pohybu cen technických komponentů na finanční návratnost systému	89
Tabulka 29 Vliv výše státní podpory na finanční návratnost systému	90

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Žádost o připojení do DS část 1.
- P II Žádost o připojení do DS část 2.
- P III Žádost o udělení licence.
- P IV Katalogový list fotovoltaického panelu München Solar MSP250AS-30

PŘÍLOHA P III: ŽÁDOST O UDĚLENÍ LICENCE

12 Adresa pro doručování (vyplňte v případě, že adresa pro doručování se liší od adresy místa trvalého pobytu fyzické osoby – bod 10)

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____
j) e-mail _____
k) mobilní telefon _____

13 Kontaktní údaje žadatele o licenci – fyzické osoby

a) telefon _____
b) fax _____
c) e-mail _____

14 Předmět podnikání (druh licence)

výroba elektřiny _____
výroba plynu _____
výroba tepelné energie _____
distribuce elektřiny _____
distribuce plynu _____
rozvod tepelné energie _____
přenos elektřiny _____
přeprava plynu _____
obchod s elektřinou _____
obchod s plynem _____
činnosti operátora trhu _____
uskladňování plynu _____

15 Datum zahájení licencované činnosti (nepřítve den vzniku oprávnění k licencované činnosti nebo den pozdější)

den _____ měsíc _____ rok _____

16 Doba, na kterou je o licenci žádáno (nejdéle 25 let nebo 5 let na obchod s elektřinou, na obchod s plynem)

Žadatel, příp. jiná oprávněná jednat jménem žadatele

Jméno _____ Datum _____
Příjmení _____ Podpis _____

Příloha č. 1 k vyhlášce č. 426/2005 Sb.

01 Identifikační číslo (bylo-li přiděleno) _____
02 Číslo žádosti (vyplní ERÚ) _____
03 Rodné číslo/datum narození (nebylo-li přiděleno RC) _____
04 Titul před jménem _____
05 Příjmení _____
06 Jméno _____
07 Titul za jménem _____
08 Státní občanství _____
09 Obchodní firma, je-li žadatel zapsán v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku _____
10 Místo trvalého pobytu fyzické osoby

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

11 Místo podnikání (v souladu se zápisem v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku, je-li žadatel zapsán)

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

ŽÁDOST O UDĚLENÍ licence pro podnikání v energetických odvětvích pro fyzické osoby

Všude profesně osoba žádá podle § 7 zákona č. 458/2003 Sb. o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, o udělení licence pro podnikání v energetických odvětvích.

ŽADATEL:

04 Titul před jménem _____
05 Příjmení _____
06 Jméno _____
07 Titul za jménem _____
08 Státní občanství _____
09 Obchodní firma, je-li žadatel zapsán v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku _____
10 Místo trvalého pobytu fyzické osoby

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

11 Místo podnikání (v souladu se zápisem v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku, je-li žadatel zapsán)

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

01 Identifikační číslo (bylo-li přiděleno) _____
02 Číslo žádosti (vyplní ERÚ) _____
03 Rodné číslo/datum narození (nebylo-li přiděleno RC) _____
04 Titul před jménem _____
05 Příjmení _____
06 Jméno _____
07 Titul za jménem _____
08 Státní občanství _____
09 Obchodní firma, je-li žadatel zapsán v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku _____
10 Místo trvalého pobytu fyzické osoby

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

11 Místo podnikání (v souladu se zápisem v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku, je-li žadatel zapsán)

a) ulice _____
b) č. popisné _____
c) č. orientační _____
d) část obce _____
e) obec _____
f) PSČ _____
g) okres _____
h) kraj _____
i) sídlo _____

razítko ERÚ

A1

PŘÍLOHA P IV: KATALOGOVÝ LIST FOTOVOLTAICKÉHO PANELU



Ü Series Multicrystalline MSPxxxAS-30

ABOUT MÜNCHEN SOLAR

MÜNCHEN SOLAR is one of the most innovative, reliable, quality and value focussed companies in the entire sector thanks to its focus on solar modules and technology ranging from roof systems to full-scale power plants. With markets in Germany, Japan, China, Australia and the Americas, München Solar is truly a global provider in the field of solar power.

Whether you're picking solar modules for your residential / commercial roof system or power plant, you know you can rely on the München Solar brand. Customers who choose München Solar know we will deliver maximum performance with the highest quality product at the best value.

PERFORMANCE

Tight positive power tolerance of -0%/W to +3%/W ensures you receive modules at or above nameplate power and contributes to minimizing module mismatch losses leading to improved system yield.

Multicrystalline silicon solar cells with low-iron tempered high transmission and textured glass deliver a module efficiency of up to 15.4%, maximizing the kWh output of your system per unit area.

QUALITY & RELIABILITY

- Rigorous quality controls meet the highest international standards: ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and ISO 17025:2005
- Tested for harsh environments (salt mist and ammonia corrosion testing: IEC 61701, DIN 50916:1985T2)
- Modules independently tested to ensure conformance with certification and regulatory standards.

WARRANTIES

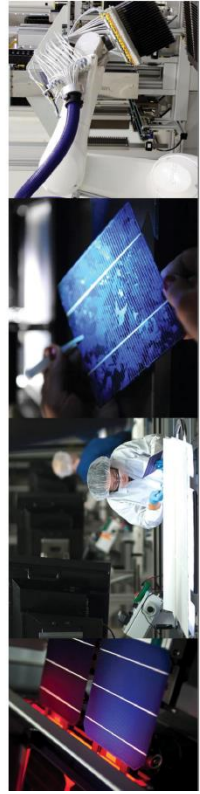
- 12 year limited product warranty
- 25 year limited power output warranty

Please refer to our Warranty, Terms and Conditions



12 year
product
warranty

25 year
power output
warranty



Ü Series Multicrystalline MSPxxxAS-30

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	MSPxxxAS-30 (xxx=P _{max})					
Power output	P _{max}	235	240	245	250	255
Power output tolerances	ΔP _{max}	0 / +3				
Module efficiency	η _{lm}	14.47	14.78	15.09	15.40	15.71
Voltage at P _{max}	V _{mp}	30.60	30.72	30.85	31.02	31.18
Current at P _{max}	I _{mp}	7.68	7.81	7.94	8.06	8.18
Open circuit voltage	V _{oc}	36.54	36.60	36.91	36.99	37.07
Short circuit current	I _{sc}	8.22	8.36	8.50	8.62	8.75

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to IEC 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 5% at 200W/m² according to IEC 60904-1.

THERMAL CHARACTERISTICS

Parameter	Value		
Nominal operating cell temperature	NOCT	47 +/-2	
Temperature coefficient of P _{max}	γ	% / °C	-0.45
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{Voc}	% / °C	-0.33
Temperature coefficient of I _{sc}	α _{Isc}	% / °C	+0.04
Temperature coefficient of V _{mp}	β _{Vmp}	% / °C	-0.35

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

OPERATING CONDITIONS

Max. System Voltage	1000VDC
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g. snow and wind)	5400Pa
Max. static load, back (e.g. wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

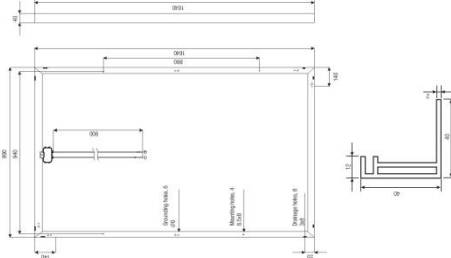
Cell (quantity / material / dimensions)	low-iron tempered glass / 3,2mm 60 / multicrystalline silicon / 6" x 6"
Encapsulant (material)	EVA
Frame material	anodized aluminum alloy
Junction box (production degree)	≥ IP65 with bypass-diode
Cable length / cross sectional area	900mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67
Fire Safety Classification (IEC 61730)	Class C

Specifications are subject to change without notice.

GENERAL CHARACTERISTIC

Dimensions	1640mm / 990mm / 40mm
Weight	18.6kg

Unit: mm



PARTNERS