



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**ENERGETICKÉ ŘEŠENÍ RODINNÉHO
DOMU S VYUŽITÍM SOLÁRNÍ ENERGIE**

SOLAR ENERGY APPLICATIONS IN HOUSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Jankůj

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ján Poláčik

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Tomáš Janků**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ján Poláčik**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické řešení rodinného domu s využitím solární energie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedním z trendů současné energetiky je decentralizace výroby elektrické energie s využitím obnovitelných zdrojů. Fotovoltaické solární panely poskytují elektrickou energii, schopnou nahradit část, případně všechnu elektrickou energii dodávanou z elektrické sítě. Taková aplikace požaduje vhodný návrh měniče, včetně akumulčního zařízení.

Tato práce popisuje jednotlivé systémy využívající solární energii, přičemž se zaměří na nové trendy v oblasti fotovoltaických a fototerických systémů.

V praktické části poskytne jednoduchý návrh rodinného domu využívající vlastní výrobu elektrické a tepelné energie.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracovat rešerši o využití fotovoltaiky, popsat jednotlivé typy fotovoltaických článků, jejich účinnosti technologie.
2. Popsat využívání solární energie pro ohřev TUV v rodinném domě.
3. Navrhnout energetické řešení moderního rodinného domu s využitím fotovoltaiky.

Seznam doporučené literatury:

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-27-3250-3.

SMOLA, Josef. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

JANKŮJ Tomáš: Energetické řešení rodinného domu s využitím solární energie.

Tato práce se zabývá fotovoltaikou a fototermikou. Jejich zdrojem je sluneční záření, které patří do kategorie obnovitelných zdrojů. V současnosti je kladen velký důraz na ekologii a ekonomii. Z tohoto důvodu se obnovitelné zdroje dostávají do popředí. V první části bakalářské práce jsou uvedeny typy fotovoltaických článků, technologie a jejich účinnost. Dále je popsán princip a konstrukce fotovoltaických a fototermických systémů. Druhá část popisuje návrh energetického řešení rodinného domu s využitím solární energie.

Klíčová slova: články, fotovoltaika, fototermika, FV, TUV,

ABSTRACT

JANKŮJ Tomáš: Solar energy applications in houses

This thesis is focused on photovoltaics and photothermics. Their source is solar radiation that belongs to the category of renewable sources. At present, great emphasis is placed on ecology and economics. For this reason, renewable sources are coming to the foreground. In the first part of the bachelor thesis, types of photovoltaic cells, technology and their efficiency are presented. Furthermore, the principle and construction of photovoltaic and photothermal systems are described. The second part describes the design of the energy solution of a family house using solar energy.

Keywords: cells, photovoltaic, photothermic, PV, HDW

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANKŮJ, T. *Energetické řešení rodinného domu s využitím solární energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ján Poláčik.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Energetické řešení rodinného domu s využitím solární energie jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jánmu Poláčikovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu během celého studia.

Obsah

Úvod	11
1 Sluneční záření	12
2 Fotovoltaika	14
2.1 Historie.....	14
2.2 Princip solárního článku	14
2.3 Typy fotovoltaických článků	15
2.3.1 Monokrystalické články	15
2.3.2 Vysoce výkonné solární články	16
2.3.3 Polykrystalické články	17
2.3.4 Polykrystalické pásové křemíkové články	17
2.3.5 Tenkovrstvé články	19
2.4 Využití fotovoltaiky	22
2.4.1 Typy domů využívající fotovoltaiku	23
3 Fototermika	24
3.1 Historie.....	24
3.2 Princip	24
3.3 Typy a konstrukce kolektoru	24
3.4 Ohřev TUV v rodinném domě	25
4 Solární systémy	28
4.1 Fotovoltaická elektrárna.....	28
4.1.1 Koncepce FV elektrárny	28
4.1.2 Rozdělení FV systémů	30
4.1.3 Realizace fotovoltaické elektrárny	33
4.2 Fototermický systém.....	34
4.2.1 Koncepce fototermického systému	34
4.2.2 Rozdělení fototermických systémů	35
4.2.3 Realizace fototermického systému.....	36
5 Návrh moderního rodinného domu s využitím solární energie	38
5.1 Návrh spotřeby energie rodinného domu.....	38
5.2 Návrh fotovoltaické elektrárny	39

5.3 Stanovení úspor.....	40
5.4 Zhodnocení	40
6 Závěr.....	43
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam grafů	
Seznam příloh	

Úvod

V současnosti si většina z nás nedovede představit život bez elektrické energie. Elektrická energie je již známá více než 200 let. Pro její výrobu se používali a ještě používají fosilní paliva (plyn, ropa, uhlí). Tyto paliva patří do kategorie neobnovitelných zdrojů energie a vlivem jejich spalování dochází k znečištění ovzduší. Největším problémem je oxid uhličitý, který má za následek ohřívání planety vlivem skleníkového efektu. U tohoto jevu prochází atmosférou více slunečního záření, to má za následek ohřívání planety a změnu klimatu.

Početnost lidské populace prudce stoupá a tím stoupá i potřeba elektrické energie. Abychom zabránili dalšímu znečištění a ohřevu planety, musíme nahradit neobnovitelné zdroje energie obnovitelnými (větrná, sluneční a vodní energie). Rozdíl v těchto kategoriích spočívá v délce vzniku, případně obnovy daného zdroje a v množství vzniklých nečistot. Neobnovitelné zdroje jsou takové zdroje, které při jejich vyčerpání se obnovují desítky či stovky milionů let a v důsledku jejich využívání vzniká velké množství nečistot. V případě obnovitelných zdrojů, mají tyto zdroje schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovit a při použití nevznikají téměř žádné nečistoty. Využití obnovitelných zdrojů můžeme snížit množství vypouštěných nečistot do okolí a tím zmírnit klimatické změny.

Tato práce se bude zabývat solární energií a to především fotovoltaikou, která právě do obnovitelných zdrojů patří. S tím souvisí technologie a účinnost fotovoltaických panelů. Fotovoltaická zařízení jsou určena k „přeměně“ solárního záření na energii elektrickou. Elektrickou energii můžeme využívat k napájení spotřebičů, přitápění nebo k ohřevu teplé užitkové vody. V případě ohřevu teplé užitkové vody, je vhodné využít fototermický kolektor, který slouží převážně k ohřevu vody. Na závěr práce bude poskytnut jednoduchý návrh rodinného domu, který bude využívat tento obnovitelný zdroj.



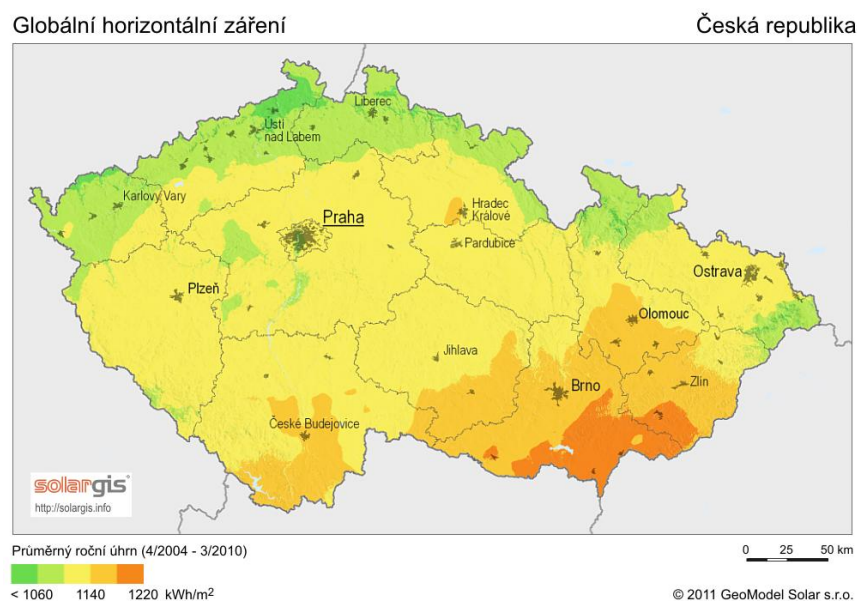
Obr. 1: *Fotovoltaický panel* [51]

1 Sluneční záření

Zdrojem pro fotovoltaické systémy je sluneční záření. V jádru slunce probíhá jaderná syntéza za vysokých tlaků a teploty 15.000.000 K. Při reakci dochází k slučování jader vodíku případně jeho izotopů deuteria a tritia, vznikají jádra helia. Tato reakce je taky nazývána termojaderná fúze. Dojde k uvolnění velkého množství energie. Pro představu při reakci jednoho gramu deuteria se uvolní 50.000 kWh. Pro uvolnění přibližně stejného množství energie je zapotřebí spálit tři tuny kvalitního černého uhlí. Energie je uvolněna v podobě velmi krátkovlnného záření gama. Tato energie se na povrch slunce částečně dostává „vedením“ a v blízkosti povrchu konvekcí. Dochází k rozptylu a pohlcení záření gama. Dojde k vyzáření širokého spektra záření. Tento děj je velmi pomalý a trvá přibližně 2.000.000 let. [7][9]

Sluneční záření je udáváno ve wattech na čtvereční metr ($W \times m^{-2}$) nebo v kilowatt-hodinách na čtvereční metr ($kWh \times m^{-2}$). Sluneční výkon je přibližně $3,8 \times 10^{26} W$, z toho na zemskou atmosféru dopadá asi $1,8 \times 10^{17} W$. Atmosféra pohltí asi 1/5 dopadajícího záření, které je tvořeno rentgenovým a ultrafialovým zářením. Tyto záření jsou životu nebezpečné a vlivem atmosféry mohl vzniknout život. Sluneční záření dopadající na Zemi se z 1/3 odráží od povrchu a atmosféry. Největší část (1/2) slunečního záření je pohlcena pevninou, oceány a mění se na teplo. Ohřev atmosféry a povrchu Země je hlavním zdrojem klimatických procesů. Vlivem tohoto může lidstvo využívat další obnovitelné zdroje jako je biomasa, vodní a větrný zdroj energie. Dále slouží dopadající sluneční záření jako zdroj pro fotovoltaické a fototermitické systémy. Ty slouží k výrobě elektrické energie nebo k ohřevu vody. [8]

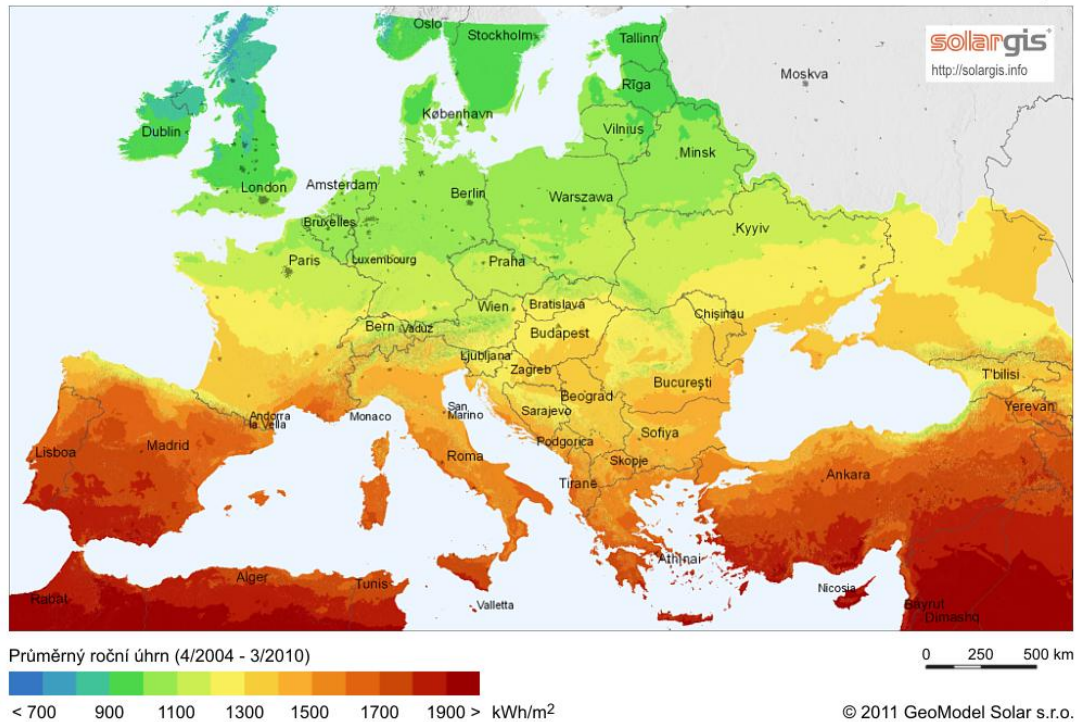
Velmi důležitými parametry pro výpočty jsou slunečné hodiny, tj. čas, po kterou dobu dopadají sluneční paprsky na danou plochu. Dalším parametrem je intenzita slunečního záření. To udává množství sluneční energie v kWh dopadající na m^2 . Intenzita je závislá na zeměpisné šířce. Vliv na intenzitu má i počasí převážně oblačnost.



Obr. 2: Mapa slunečního záření v České Republice [36]

Globální horizontální záření

Evropa



Obr. 3: Mapa slunečního záření v Evropě [36]

Na obrázku 2 lze pozorovat intenzitu slunečního záření pro libovolné lokace v ČR. Z obrázku 3 lze usoudit, že stavby blíže k rovníku mají výrazně vyšší zisk z fotovoltaických a fototermických systému. Protože na jejich povrch dopadá záření o vyšší intenzitě.

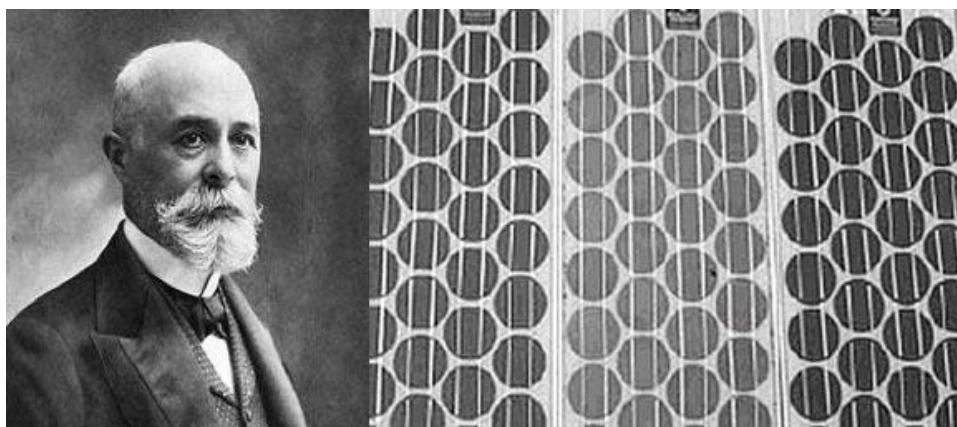
2 Fotovoltaika

Fotovoltaika patří do skupiny obnovitelných zdrojů. Jedná se téměř o nevyčerpatelné zdroje, pomocí kterých lze získat elektrická energie. V případě fotovoltaiky se sluneční záření „přeměňuje“ na elektrickou energii.

2.1 Historie

V roce 1839 Alexandre Edmond Becquerel zpozoroval proud, který procházel mezi kovovými elektrodami v roztoku při daném osvětlení. Zjistil, že intenzita proudu se mění vlivem osvětlení. Heinrich Rudolf Hertz zjistil, že elektrický výboj mezi elektrodami, vznikne snadněji při ozáření ultrafialovým světlem. První kdo popsal fotoelektrický jev, byl Albert Einstein. [11]

V roce 1876 William Grylls Adams a Richard Evans Day pozorovali fotovoltaiický jev mezi PN přechodem selenu a platiny. Při působení světla vznikl elektrický proud. V roce 1883 Charles Fritts vyrobil fotovoltaiický článek na bázi selenu, účinnost byla nižší než 1 % (obrázek 4). Roku 1940 Russell Shoemaker Ohl vyrobil PN přechod z křemíku. Účinnost fotovoltaiického článku byla kolem 1 %. První fotovoltaiický článek, který byl použitelný pro komerční využití, byl vyroben v roce 1954 a měl účinnost 6 %. Ze začátku byly použity především jako zdroj energie pro kosmické družice. [11]



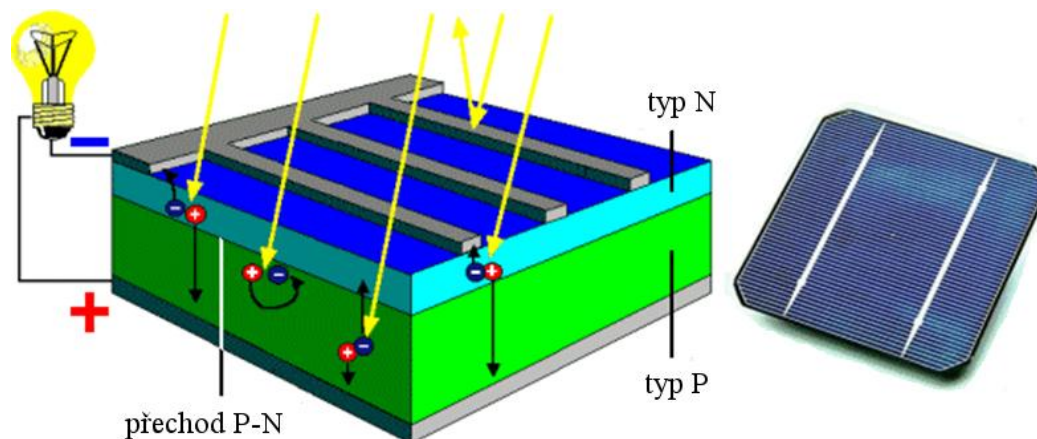
Obr. 4: Charles Fritts a jeho fotovoltaiický článek na bázi selenu [48]

2.2 Princip solárního článku

Základem klasického krystalického solárního článku jsou dvě rozdílně dotované vrstvy (polovodiče), které jsou k sobě připevněny. Polovodič je tvořen materiálem, který je vodivý a vodivost závisí na vnitřních i vnějších podmínkách. První vrstva je záporně dotovaná fosforem (polovodič typu N, má volné elektrony) a dopadá na ni sluneční světlo. Druhá vrstva se nachází pod první a je kladně dotovaná bórem (polovodič typu P, má volné „díry“). Na přední a na zadní straně článku jsou umístěny kovové elektrody, které slouží k odebrání proudu. Kovová elektroda na zadní straně článků zabírá celou plochu článku. Lze použít vrstva hliníkové nebo stříbrné pasty. Na přední straně článku je umístěna elektroda, která je z tenké kovové mřížky. Mřížka musí co nejméně zakrývat článek. Povrch článku by měl co nejméně odrazet světlo a měl by absorbovat co nejvíce fotonů. Aby se zvýšila účinnost článku, je na povrch nanášena antireflexní vrstva, která zabraňuje fotonům vycházet z článku zpět do okolí.

Tato vrstva zbarvuje šedé křemíkové články na černou u monokrystalických článků a u polykrystalických článků na modrou barvu. [1]

Při dopadu světelného záření na solární článek dochází k oddělování nábojů (vznikne kladný a záporný náboj). Kladné náboje z polovodičů typu N putují k zadní kovové elektrodě a záporné náboje putují k přední kovové elektrodě, jak je naznačeno na obrázku 5. Je-li připojený elektrický spotřebič, poteče elektrický proud. Solární článek není dokonalý a při jeho provozu dochází ke ztrátám. Vlivem zastínění článku předním kontaktem, rekombinace nábojů a při odrazu (reflexi) záření. Nejvíce energie se ztrácí nevyužitím dlouhovlnného a krátkovlnného záření. [1]



Obr. 5: Fotovoltaický článek [37]

2.3 Typy fotovoltaických článků

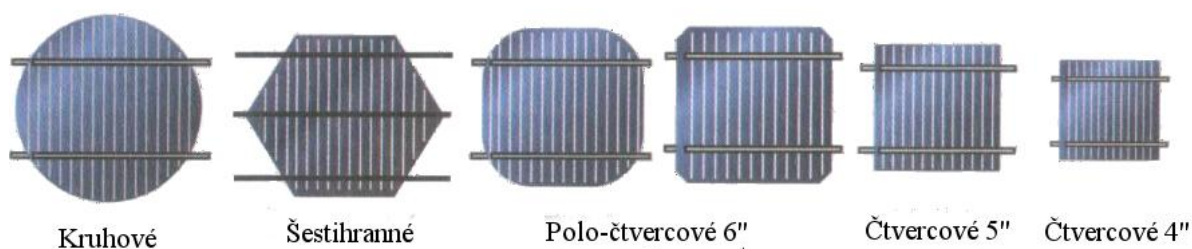
V současné době je na trhu mnoho druhů solárních článků. Vyrábějí se z různých materiálů, které mají rozdílné vlastnosti. Liší se barvou a tvarem, ale hlavně výkonností. V této kapitole budou popsány nejpoužívanější články. Křemík je jeden z nejrozšířenějších prvků na Zemi. Proto mají solární články na bázi krystalického křemíku hlavní zastoupení na trhu. Pro výrobu křemíkových solárních článků se využívá převážně křemíkový odpad elektronického průmyslu. Pro fotovoltaické články musí být křemík velice čistý, jeho čistota dosahuje téměř 100 %. Z takto čistého křemíku se vyrábějí různými metodami monokrystalické nebo polykrystalické solární články.

2.3.1 Monokrystalické články

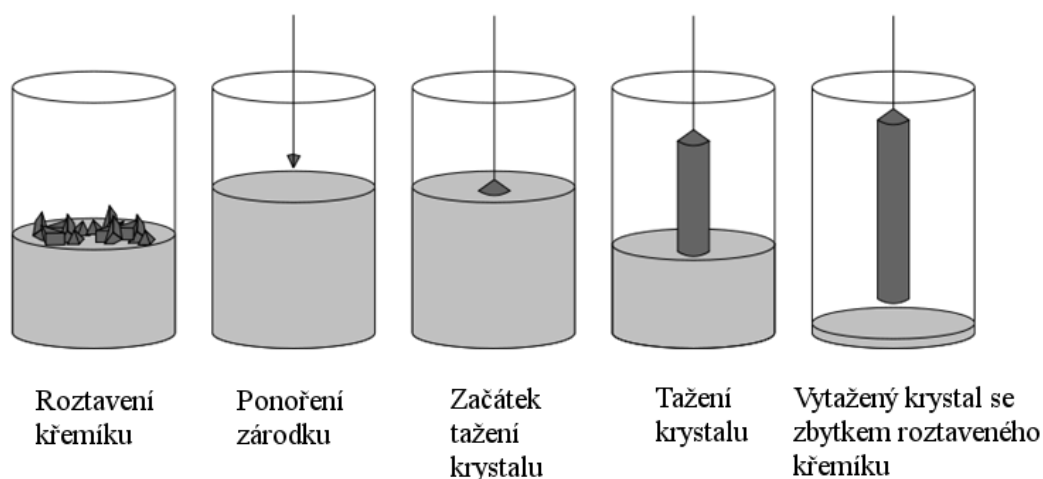
Monokrystalické články jsou z křemíku a jsou tvořeny jedním krystalem. Barva krystalu je homogenně tmavomodrá až černá. Tvar je zpravidla čtvercový někdy se zaoblenými případně zkosenými rohy tzv. poločtvercové články (viz obrázek 6). Rozměry článků mohou být 100, 125 a 150 mm. V mezinárodním měřítku je v solárním průmyslu obvyklé udávat rozměry v palcích. Výše uvedené rozměry jsou v palcích 4, 5 a 6. V současnosti se vyrábějí poločtvercové články s hranou o délce 156 mm a se třemi sběrnými. Na trhu jsou i kruhové moduly. Ty mají menší účinnost, protože plocha, na kterou dopadají fotony je menší než u poločtvercových článků. Články jsou charakteristické velmi velkou účinností. Dosavadní dosažená maximální účinnost článku je 25,6 %. Obvyklá účinnost se pohybuje mezi 15 a 17 %. Tvar článku je určen výrobním procesem, při výrobě monokrystalického krystalu se používá

převážně Czochralského proces (obrázek 7). Ten je založen na roztavení křemíku při teplotě vyšší než 1420 °C (teplota tání křemíku). Roztavení a následná krystalizace je ve fotovoltaice energeticky nejnáročnější proces při výrobě článků. Základem metody je rotace kelímku jednotky $\text{ot} \times \text{min}^{-1}$ a krystalu desítky $\text{ot} \times \text{min}^{-1}$. Rotující krystal odčerpává vysoce čistou křemíkovou taveninu a postupně se vytahuje kulatá monokrystalická tyč o průměru do 300 mm a délky několika metrů. [1][12][13]

Tyč kulatého průřezu je upravena na čtvercový průřez, dále se nařeže na destičky (wafery) o tloušťce 0,3 mm. Při úpravě destiček vzniká velké množství odpadu. Destičky lze nadále upravovat buď na kruhový, polo-čtvercový případně čtvercový průřez článku. Destička je dotována příměsí, která vytváří polovodič typu P. Na destičku je nanесena tenká vrstva fosforu, která tvoří polovodič typu N. Na zadní stranu článku je umístěna kontaktní vrstva, kontaktní palce a antireflexní vrstva. Tato vrstva slouží k zmenšení odrazu světla a tím se zvýší efektivita a tedy i množství získané energie. Dále lze zmenšit odraz světla mikroskopickými strukturami, které můžeme vytvořit pomocí laseru, mechanickým případně chemickým zpracováním. Tyto struktury pohlcují světlo a snižují odraz světla, tzn. zvyšují množství získané energie. [1]



Obr. 6: Monokrystalické články [1]



Obr. 7: Czochralského proces [49]

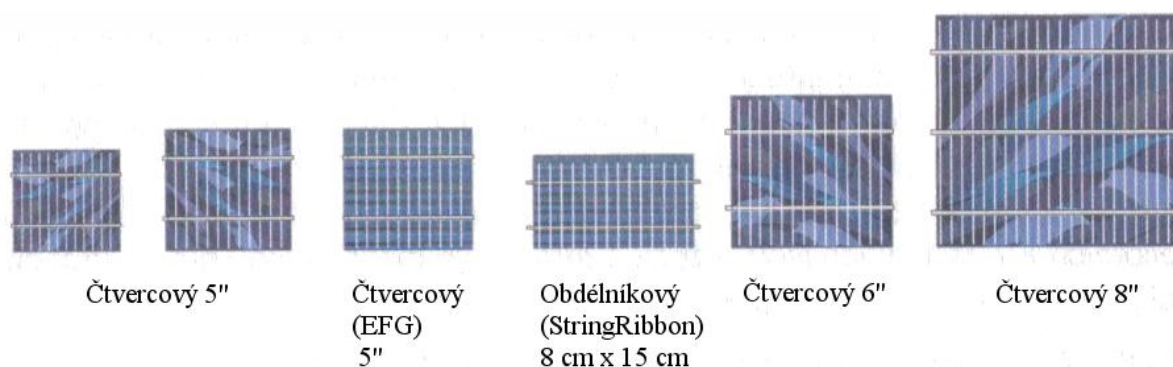
2.3.2 Vysoce výkonné solární články

K výrobě vysoce výkonných solárních článků na bázi krystalického křemíku je nezbytné, aby polovodičové materiály měly vysokou čistotu. Metoda zonální tavby umožňuje vyrobit čistější kvazi-monokrystal křemíku. Tyč z vysoce čistého polykrystalického křemíku

s monokrystalickým křemíkovým zárodkem na hrotu je obehnuta elektromagnetickou cívkou. V ní proudí vysokofrekvenční magnetické pole, které postupně natavuje tyč polykrystalického křemíku. Při ochlazování dochází k vytváření monokrystalické struktury v celém objemu tyče. Touto úpravou materiálu se účinnost článku zvýší o 1 až 2 %. Nevýhodou je pracnost, z toho plyne vyšší náklady na výrobu solárního článku. [1]

2.3.3 Polykrystalické články

Polykrystalické články jsou složeny z mnoha malých krystalů. Na rozdíl od monokrystalických článků, které jsou složeny z jednoho krystalu a má v celém objemu stejnou barvu. Polykrystalické články mají různé odstíny modré. Články jsou čtvercové podstavy s hranou o délce přibližně 100, 125, 150, 156 nebo 210 mm. Jak už bylo zmíněno, pro lepší přehlednost se rozměry uvádějí v palcích (4, 5, 6 a 8). Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí od 13 do 16 %. Maximální dosažená účinnost je 21,3 %. Výroba křemíku pro polykrystalické články je jednodušší a tedy i levnější než monokrystalické články. Pro výrobu se používá metoda blokového lití, vznikají krystaly s různou orientací krystalické struktury. Při dopadu světla se vlivem různých orientací krystalické struktury odráží světlo a při pohledu jsou vidět jednotlivé krystaly. Při výrobě se nejprve křemík ve vakuu zahřeje na 1500 °C. Po zahřátí se roztavený křemík v grafitovém kelímku ochlazuje vhodnou rychlostí až na teplotu bodu tání (1420 °C). U výroby polykrystalických článků nevznikají tyče kruhového průřezu, ale bloky 400 × 400 mm a výšky 300 mm. Bloky se nařezou na tyče čtvercového průřezu vhodných velikostí a dále na destičky neboli wafery. Při výrobě nevzniká velké množství odpadu, proto je výroba levnější. Následující výrobní proces je stejný jako při výrobě monokrystalických článků. [1][14]



Obr. 8: Polykrystalické články [1]

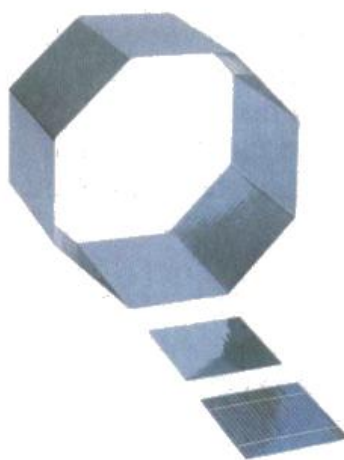
2.3.4 Polykrystalické pásové křemíkové články

U výše zmíněných metod výroby solárních článků dochází ke vzniku velkého množství odpadu. Pro ušetření materiálu, byly vyvinuty různé metody tažení pásů. Při tažení dochází k vytahování tenkých folií o tloušťce až 0,1 mm. Křemíkové pásy při vytahování mají již tloušťku výsledných destiček a nemusí se nadále řezat. Tím se ušetří energie i materiál. To vede ke snížení nákladů na výrobu článků. [1]

Pro výrobu článků se využívá několik metod tažení pásů. Nejvíce používanou metodou je metoda EFG (Edge-defined Film-fed Growth). Byla vyvinuta firmou ASE. Je založena na vytahování osmi-úhlového grafitového nosiče, který je ponořen v křemíkové tavenině.

Vzniknou osmihranné trubky o délce jednoho metru (obrázek 9). Hrana délky 125 mm a střední tloušťku 0,28 mm. Z každé hrany se vyříznou obdélníkové nebo čtvercové destičky. Rozměry článků vyrobené metodou EFG mají zpravidla rozměry 100 × 100 mm, 100 × 125 mm případně 125 × 125 mm. [1]

Další využívanou metodou je metoda string ribbon, která je znázorněna na obrázku 10. Byla vyvinuta americkou firmou Evergreen Solar. Solární články vyrobené touto metodou mají velmi málo zrn a připomínají spíše monokrystalické než polykrystalické články. Při této metodě dochází k protahování dvou křemenných vláken křemíkovou taveninou. Vlákná jsou od sebe vzdálená 80 mm a mezi nimi vzniká křemíkový pás. Ten je rozřezán na obdélníky o rozměru 80 × 150 mm. Účinnost článků vyrobené metodou string gibbon je až 17,8 %. [1][15]



Obr. 9: Osmihranné (oktaedr) křemíkové trubky k výrobě článků EFG [1]



Obr. 10: Princip výroby článků typu string ribbon [1]

2.3.5 Tenkovrstvé články

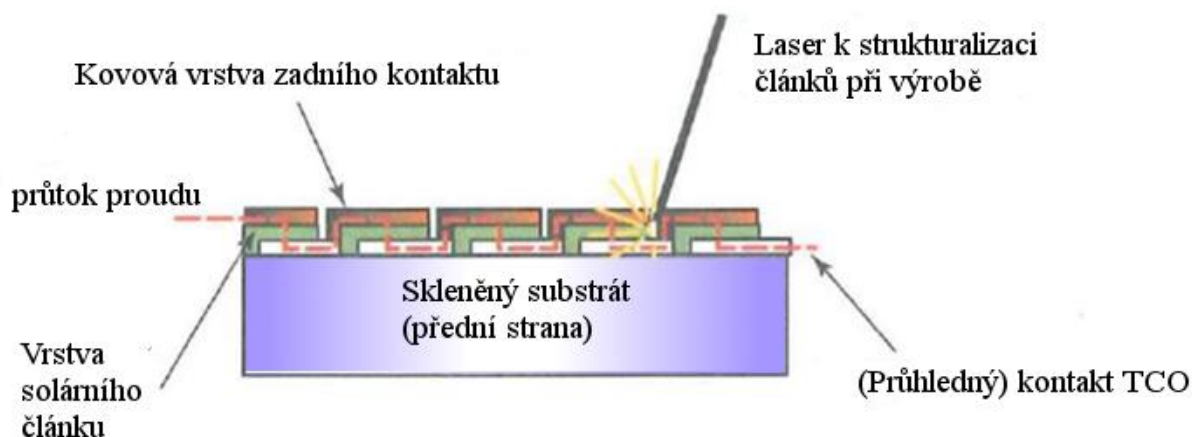
V důsledku poptávky levnějších článků, byly vyvinuty velice tenké články (obrázek 11). Jejich tloušťka se pohybuje od 1 do 6 μm . V porovnání s krystalickými články, které mají tloušťku od 120 do 250 μm . Lze usoudit, že při použití tenkovrstvých článků, dochází k ušetření velkého množství materiálu. To má za následek snížení ceny. Použití tenkovrstvých článků nabízí spoustu výhod. Jsou méně citlivé na teplotu a stín. U krystalických článků dochází při částečné zastínění plochy k výraznému poklesu výkonu. V případě tenkovrstvých je změna celkového výkonu „zanedbatelná“. Lepší využití spektra slunečního záření, flexibilita, homogenní vzhled, lepší integrace do budov a průhlednost. Značnou výhodou článků je výrobní jednoduchost z toho vyplívá i snadnější automatizace. Rozdíl v cenách FV (fotovoltaických) zařízení mezi krystalickými a tenkovrstvými články u malých elektráren se stejnými výkony jsou srovnatelné. Tenkovrstvé články jsou méně efektivní. Srovnáním s krystalickými články asi o polovinu. Aby se výkony vyrovnaly, musí být jejich plocha větší.

[1]



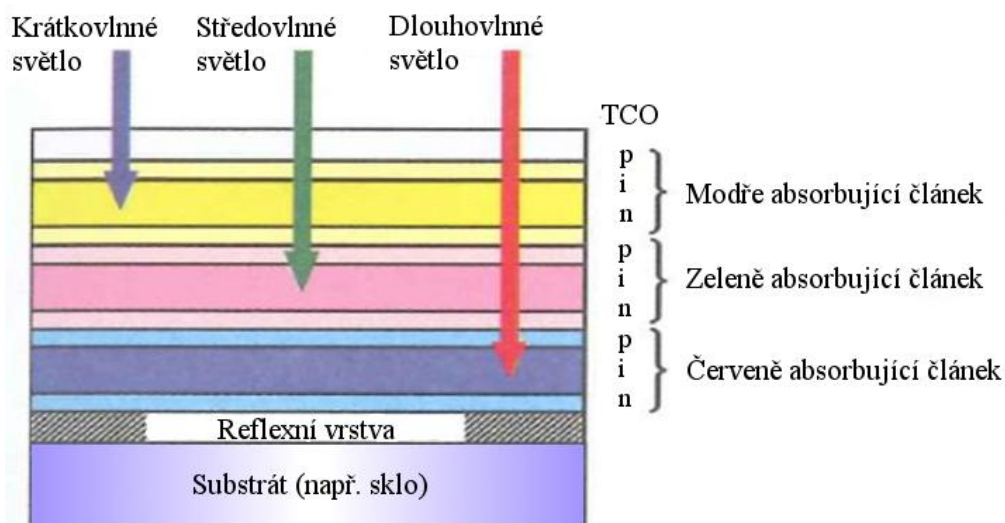
Obr. 11: Tenkovrstvý solární článek [50]

Výroba tenkovrstvých článků (obrázek 12) je oproti výše zmíněným metodám rozdílná. Tenké vrstvy o tloušťce několika mikrometrů se nanáší na nosný materiál. Ten je tvořen sklem, umělou hmotou nebo kovovou folií. Teplota pro výrobu článků se pohybuje od 200 °C do 500 °C. Další rozdíl je ve vzájemném propojování článků. U krystalických solárních článků se musí jednotlivé články k sobě propojovat pájením. Tenkovrstvé solární články se elektricky propojují přímo ve výrobě. Tento článek je tvořen předním kontaktem z tzv. TCO (Transparent Conductive Oxide) vrstvy. Tato vrstva se vyznačuje velkou vodivostí. Materiály vrstvy jsou: oxid cínčitý, oxid indium-cínčitý, atd. Aby nedošlo k poškození, využívá se kompozitní materiál, do kterého je článek zapouzdřen. Jedná se o materiál kopolymer etylén – vinylacetát, který se zkráceně označuje EVA. [1]



Obr. 12: Princip výroby tenkovrstvých článků [1]

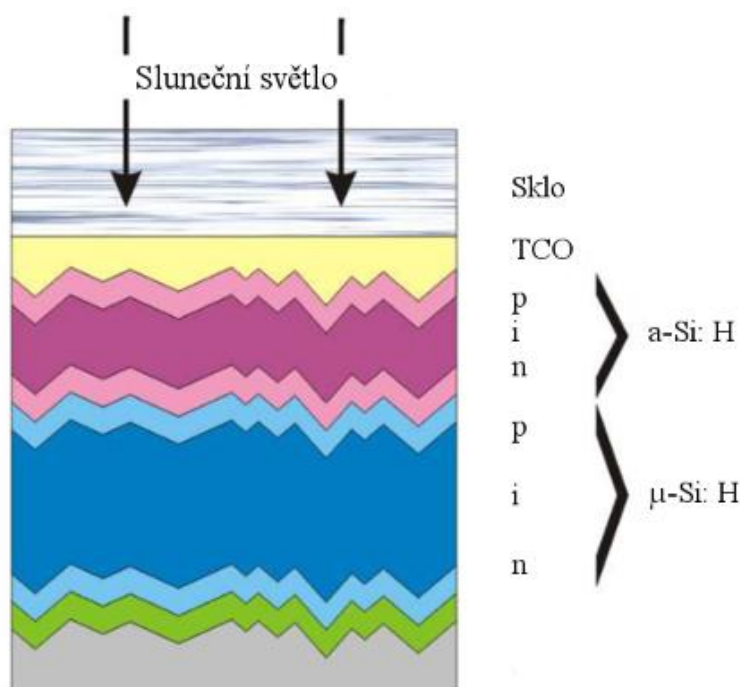
Tradičním materiálem pro výrobu tenkovrstvých článků je amorfni křemík, který je tvořen neuspořádanou sítí. Vyrábí se vlivem chemického odlučování z plynného silanu při teplotě 200 °C. Amorfni křemík má velmi malou difuzní vzdálenost. Proto je mezi vrstvy p a n vložena nedotovaná vrstva i, která nám zvyšuje výrobu proudu. V důsledku absence této vrstvy by docházelo k rychlé rekombinaci mezi volnými nosiči náboje. To by mělo za následek snížení výroby energie. V nedotované vrstvě se absorbuje světlo a vznikají zde náboje. Vrstvy p a n vytvářejí elektrické pole, které působí na nosiče náboje a odděluje je. Pro tuto strukturu se používá označení pin. Nevýhodou článku je snížení účinnosti vlivem světla, během 6 až 12 měsíců. Po uplynutí této doby se účinnost ustálí na stabilní hodnotě. Při použití více vrstev pin se zvyšuje účinnost článků. Na obrázku 13 je znázorněna trojce přechodů pin. Maximální dosažená účinnost je 10,2 %, obvykle se pohybuje kolem 4 až 7 %. [1][12]



Obr. 13: Struktura vrstev amorfniho třívrstvého článku [1]

Dalším typem tenkovrstvých článků jsou **mikromorfni solární články**. Je to spojení mikrokrytalické struktury a amorfniho článku v tandemový článek. Příkladem tandemového článku je struktura složená z pin přechodu amorfniho křemíku (a-Si:H) a pin přechodu mikrokrytalického křemíku (μ -Si:H). Popis pin přechodu je u tenkovrstvého článku z amorfniho

křemíku. Amorfnní křemík má vysokou absorpci modré, zelené a žluté části slunečního spektra. Mikrokrystalický křemík absorbuje červenou, ale i infračervenou část slunečního spektra. Výroba článků je podobná jako u amorfnních článků. Při výrobě se společně se silanem vyrobí i plazma při stejné teplotě 200 °C. Plazma daná parametry (teplotou, tlakem a mikrovlnou frekvencí) napomáhá nanášet amorfnní vrstvu o tloušťku přibližně 0,3 μm na skleněný materiál. Při změně daných parametrů plazmy začne vznikat na odvrácené straně skleněného materiálu mikrokrystalická struktura. Tato struktura má tloušťku 0,25 μm. Vlivem změny parametrů působící plazmy, dochází k přeměně amorfnní struktury křemíku na strukturu mikrokrystalickou. Na obrázku 14 je znázorněna struktura mikromorfnního článku. K vytvoření efektivnějších článků je zapotřebí, aby se část amorfnního křemíku nepřeměnila. Vzniklé vrstvy připomínají pyramidový tvar. Ta zlepšuje optické a elektrické vlastnosti. Výhodou oproti amorfnním článkům je menší degradace. Dále má i větší účinnost, která se pohybuje kolem 11 %. [1][10]



Obr. 14: *Struktura mikromorfnního tandemového článku [38]*

Další z této kategorie článků jsou **tenkovrstvé články CIS** neboli Copper-Indium-diSelenid česky dvojselenid mědi-india. Barva CIS je tmavošedá až černá. Výroba probíhá při teplotě 500 °C. Ve vakuové komoře je na nosné sklo nanášena tenká kontaktní vrstva. Na tuto vrstvu je nanášena absorpční vrstva CIS. Vrstva CIS je charakterizovaná vodivostí typu p. Další vrstvu tvoří sulfid kadmia s vodivostí typu n. Tato vrstva snižuje ztráty, které vznikly chybami v krystalické mřížce. Články nepodléhají stárnutí, které je způsobeno působením světla. Problém používání těchto článků je snížení stability vlivem zvýšení teploty a vlhkost v prostředí. Aby se tomu zabránilo, musí se články dobře zapouzdřit. Při výrobě je nutné rovnoměrně nanášet vrstvy na celou plochu článku. Tuto technologii využívá stále více firem, protože má velký potenciál. Účinnost se pohybuje kolem 11 %. Vrstvy CIS lze nanášet na kovové folie, tím vzniknou ohebné články. [1]

Za zmínku stojí **tenkovrstvé články CdTe** na bázi teluridu kadmnatého. Barva článku je tmavozelená až černá. CdTe články jsou vyráběny vakuovou metodou při teplotě 700 °C. Maximální dosažená účinnost článku je 21.5 %. Nejenže má velmi vysokou účinnost, ale i velmi jednoduchou výrobu a tedy i nízkou cenu. Zásadní problém u tohoto typu článků je kadmium, protože se jedná o toxický kov. [1]

Vzhledem k tomu, že se solární energie stává pro lidstvo důležitým zdrojem energie. Je nezbytné, aby náklady na výrobu fotovoltaických článků byly nízké a jejich účinnost byla vysoká. Výše uvedené solární články mají relativně malou účinnost a se zvyšující teplotou klesá. Pro tyto panely jsou nejvíce vhodná místa s nižší okolní teplotou a vysokým počtem slunečních dní. Další nevýhodou je výroba velmi čistého křemíku, jehož výroba je velmi náročná. Z tohoto důvodu se vědci zaměřili na vývoj **vícepřechodových solárních článků** (multijunction solar cells) pro koncentrovanou fotovoltaiku (CPV). Účinnost článků využívající CPV klesá méně při vyšší okolní teplotě, než je tomu u nekoncentrovaných FV článků (monokrystalických, polykrystalických, amorfních, apod.). Teoretická účinnost těchto článků přesahuje 70 %. Experimentální III–V více-přechodové solární články dosahují účinnost přes 40 %. Koncentrované se od nekoncentrovaných fotovoltaických článků liší tím, že sluneční záření je koncentrováno optikou, zpravidla optickou spojnou čočkou nebo zrcadlem. Paprsky jsou koncentrovány do velmi malé oblasti. V této oblasti zvané ohnisko je umístěn malý fotovoltaický čip. K výrobě jsou využity sloučeniny na bázi GaAs, případně InGaP nebo Ge. Zásadní výhody těchto čipů jsou malé rozměry a možnost využít větší část slunečního spektra. Velikost čočky a čipu udává hodnota optické koncentrace, která je určena poměrem plochy čočky a plochy čipu. Hodnota poměru se pohybuje v rozmezí od 200 do 1000. Například pokud bude hodnota poměru 200, tak plocha čočky je 200 krát větší než plocha čipu. Pro zajištění ochrany je čip umístěn v pouzdře, které je vyrobeno z pevného materiálu např. z korundové keramiky. Tento čip je hermeticky uzavřen, jelikož je náchylný na vlhkost a vlivem jejího působení by se čip mohl poškodit. Poškození by mělo za následek snížení výkonu v důsledku snížení účinnosti a životnosti. Paprsky jsou koncentrovány na čip pomocí čočky, většinou Fresnelovy čočky. Tento druh čočky má oproti klasické čočce menší hmotnost, vyšší koncentraci světla na fotovoltaický čip. CPV má zásadní nevýhodu, neustále musí být natočena na světelný zdroj. Aby byly panely neustále namířeny ke slunci, jsou vybaveny zařízením tzv. trackerem. Toto zařízení sleduje pohyb slunce a natáčí panely kolmo ke slunci. Malé odklonění by vedlo k snížení výkonu solární elektrárny. Při zastínění panelů nedochází k výrobě elektrické energie. Pro tyto panely je vhodné umístění v teplejších oblastech s menší oblačností. [16][17]

2.4 Využití fotovoltaiky

Fotovoltaika má v dnešní době širokou škálu využití. Fotovoltaické články se nacházejí na domech, průmyslových podnicích, ale i vesmírných stanicích či na velmi malých zařízeních jako jsou např. kalkulačky. Fotovoltaické panely přeměňují světelné záření na elektrickou energii. To znamená, že veškerá elektrická zařízení mohou být touto energií napájena.

Pomocí elektrické energie vyrobené z fotovoltaických panelů mohou být provozovány veškerá zařízení v bytových jednotkách. Zařízení jako jsou televize, počítače, osvětlení, kuchyňské zařízení apod. Z elektrických zařízení jako jsou zásobníkové ohřivače či průtokové

ohříváče, lze získat TUV (teplá užitková voda). V kapitole 3.4 jsou popsány zmíněná zařízení. Firmy umístěním fotovoltaických panelů na střešní plochy, mohou značně snížit své náklady na osvětlení a provoz strojů.

Fotovoltaika nalezne své uplatnění i v dopravním průmyslu. Automobily či motokáry vybaveny baterií, která je napájena solárními články. Tyto baterie mohou sloužit i jako úložiště přebytečné energie, která byla vyprodukována solárními panely umístěnými na obytném domě. Velké zaoceánské lodě mohou využívat fotovoltaiku k výrobě elektrické energie místo velkých generátorů. V leteckém průmyslu se objevují první letadla, která jsou poháněna výhradně fotovoltaickou energií. Například letoun Solar Impulse jako první solární letoun obletěl svět. Při této cestě urazil vzdálenost přes 40 000 km. Letoun byl vybaven 17 248 solárními články o tloušťce 135 μm . Letoun měl 4 motory o výkonu 13,5 kW. Celková váha letounu činila 2 300 kg. Fotovoltaika má uplatnění i v kosmickém průmyslu. Již v roce 1958 byla vypuštěna první družice (Vanguard 1), která byla napájena solární baterií. V dnešní době je největší provozovanou vesmírnou stanicí ISS (International Space Station – Mezinárodní vesmírná stanice). Tato stanice získává energii na svůj provoz pomocí 262 400 solárních článků. Články pokrývají oblast o rozloze 2500 m^2 . Výhodou použití solárních článků ve vesmírném průmyslu, je nepatrně vyšší účinnost. Dopadající paprsky na zemský povrch jsou z části absorbovány atmosférou. U solárních článků použitých ve vesmíru tomu tak není. Nevýhodou jsou letící mikrometeority, které mohou články poškodit. [18][19][20]

Fotovoltaika se zavádí i do běžných věcí. Jako jsou kalkulačky, solární lampy, solární nabíječky či solární lavičky apod. Některé z těchto věcí lze využít na dovolených, horských túrách a všude tam, kde se nenachází elektrická síť.

2.4.1 Typy domů využívající fotovoltaiku

Domy využívající fotovoltaiku se dělí podle spotřebované energie. Běžné domy získávají energii převážně z veřejné sítě, případně z malé části ze solárních panelů. Nízkoenergetické a pasivní domy větší část svojí spotřeby pokryjí solárními panely. Energie u nulových domů se získává ze solárních panelů a dalších zařízení využívající obnovitelné zdroje.

Nízkoenergetické domy jsou přechodem mezi běžnými domy a pasivními domy. Jsou charakterizovány nízkou spotřebou tepla na vytápění. Uvádí se, že tyto domy mají měrnou spotřebu tepla na vytápění obytného prostoru do 50 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$ za rok. K dosažení úspory tepla se využívá izolace umístěná na vnějších zdích domu, kvalitní okna a jejich počet, izolace horní části domu, aby teplo neunikalo střechou, natočení domu. [21]

Pasivní domy jsou charakteristické velmi nízkou spotřebou energie. Domy jsou velmi podobné nízkoenergetickým domům, při jejich provozu měrná spotřeba tepla na vytápění nepřesáhne 15 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$ za rok. Využívají teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla (zpětné získávání tepla), velmi kvalitní izolaci. [22]

Nulové domy a aktivní domy využívají na vlastní činnost energii z obnovitelných zdrojů a to převážně ze solárních panelů. U nulového domu je měrná spotřeba tepla na vytápění do 5 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$ za rok. Rozdíl mezi nulovým a aktivním domem je, že aktivní dům vyrobí více energie, než spotřebuje a přebytečnou energii může poskytnout veřejné síti. [23]

3 Fototermika

Jedná se o přeměnu energie solárního záření na energii tepelnou. Tato přeměna se nazývá fototermická přeměna a je velmi jednoduchá.

3.1 Historie

Anglický malíř Benjamin Waddy Maughan vynalezl v roce 1868 první průtokový ohřivač vody. Na ohřev se nevyužívala tuhá paliva. V jeho vynálezu proudila studená voda potrubím, které bylo ohříváno pomocí horkých plynů z hořáku. Ohřátá voda byla dopravena do umyvadla či vany. Zásadní nevýhodou byly spaliny. Neexistoval přístroj, který by byl schopen odvést spaliny pryč s místnosti. Toto zařízení pojmenoval gejzír podle islandského tryskajícího horkého pramene. Ve Velké Británii se v současnosti používá pro ohřivač vody pojem „gejzír“. Maughanův vynález ovlivnil norského inženýra Edwina Ruuda, který kolem roku 1889 vynalezl první automatický zásobník typu plyn voda. Voda v zásobníku byla ohřívána ze spodní strany plynovým hořákem. Edwin Ruud založil firmu Ruud, která existuje i dnes. [24]

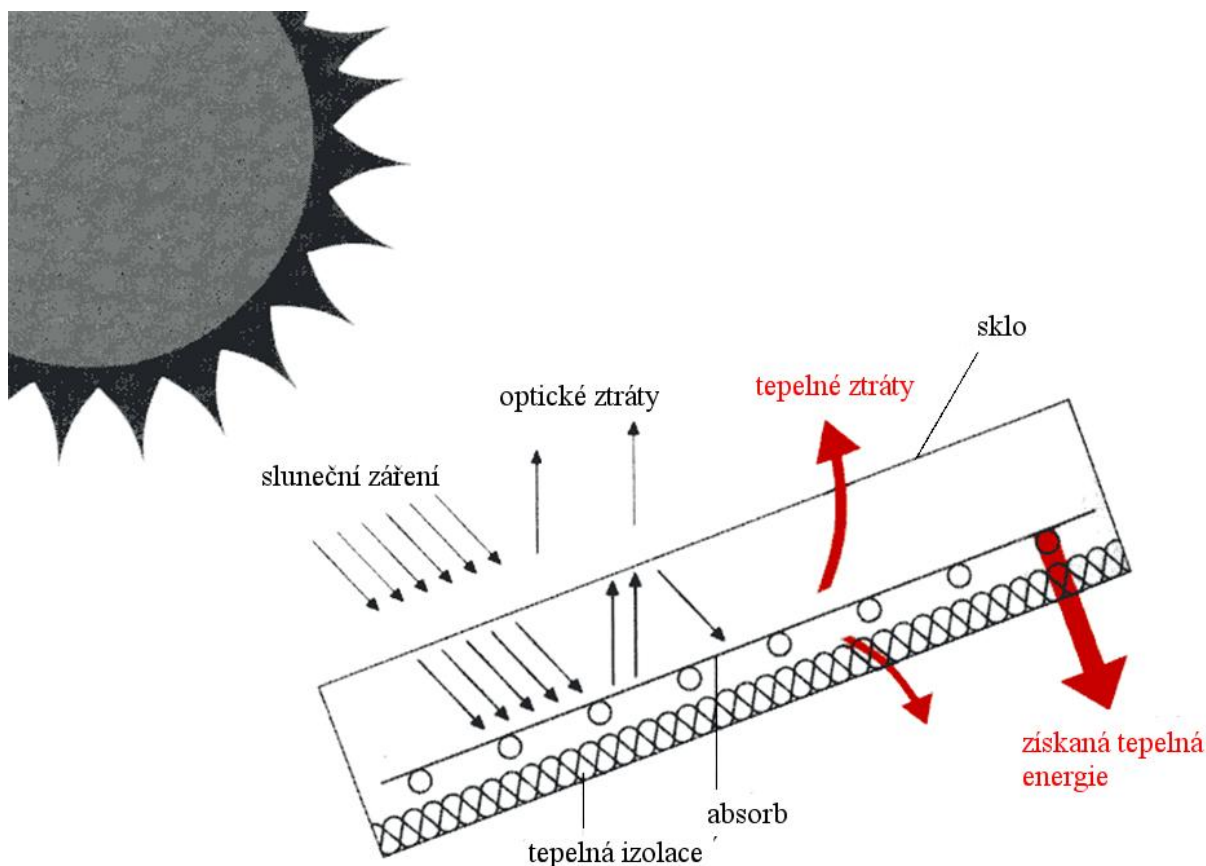
3.2 Princip

Princip (obrázek 15) spočívá v pohlcování slunečního záření na povrchu daných materiálů. Proud letících fotonů se při dopadu mění na teplo. Pohlcování slunečního záření je u různých materiálů a daných barev jiné. Například tmavější barvy pohlcují více světla než světlé. Vlivem většího pohlcování dochází k ohřevu materiálu. Základem fototermického zařízení je solární kolektor, který mění sluneční záření na teplo. Toto teplo je z místa kolektoru odvedeno pomocí proudící kapaliny nebo vzduchu k místu jejího využití případně uložení. Sluneční záření dopadající na povrch Země se udává ve $W \times m^{-2}$ jak již bylo zmíněno v první kapitole. Při dopadu záření o intenzitě $1000 W \times m^{-2}$, by se toto záření přeměnilo v solárním kolektoru na teplo o 1000 J na čtvereční metr při 100 % účinnosti. V reálu je tato účinnost o něco menší. Získaná energie závisí na ploše kolektoru. Čím větší plocha, tím kolektor absorbuje více energie pro ohřev. [6]

3.3 Typy a konstrukce kolektoru

Vyrábí se spousta druhů solárních kolektorů, které se liší tvarem a způsobem přenosu tepla. Vzhledem k tvaru se rozlišují ploché, trubicové a koncentrační. Dále pak podle způsobu přenosu tepla na kapalinové, teplovzdušné a kombinované. Nejpoužívanější je plochý kapalinový kolektor, který se skládá z absorbéru, skříně, izolace a krycího skla. Absorbér je vyroben z měděného nebo hliníkového plechu. K němu jsou ze zadní strany připevněny měděné trubice. Z těchto trubic se odvádí vzniklé teplo vodou nebo nemrznoucí kapalinou. Jelikož absorbér musí absorbovat co nejvíce slunečního záření. Je proto opatřen nátěrem pro lepší pohlcení a minimální odraz záření z kolektoru. Absorbér a další komponenty jsou uloženy ve skříně. Zpravidla je vyrobena z kovu, plastu či dřeva. Skříň slouží k uchycení solárního kolektoru ke stěně nebo na střechu. Dále chrání vnitřní komponenty proti nepříznivým vlivům, které by mohli být těmito vlivy poškozeny. Další důležitou součástí je izolace, která brání

úniku tepla z absorberu do okolí. Kvalita izolace značně ovlivňuje účinnost kolektoru. Běžně se k izolaci používají materiály jako polyuretan nebo minerální vlna. Na přední straně kolektoru se nachází krycí sklo. Jeho úkolem je propouštět světlo dovnitř a nepropouštět ven z kolektoru. Dalším úkolem krycího skla je omezit tepelné ztráty přední stěnou kolektoru. Na obrázku 15 jsou uvedena jednotlivá rozmístění součástí kolektoru a je zde naznačen názorný princip funkce. [6]



Obr. 15: Princip a konstrukce fototermického kolektoru [39]

3.4 Ohřev TUV v rodinném domě

Na rozdíl od fotovoltaiky je fototermika určena převážně pro ohřev vody. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, TUV se dá „získat“ i pomocí fotovoltaického systému. Zvyšováním životního komfortu roste i potřeba mít včas a dostatečné množství TUV. S tím souvisí i spotřeba energie na její ohřev. V současnosti je kladen velký důraz na snížení této energie, a tedy i celkových nákladů na ohřev TUV. V praxi se spotřebovaná energie na ohřev TUV pohybuje kolem 7 až 30 % z celkové spotřeby energie. Tento rozsah závisí na druhu domů. Pár typů domů je uvedeno v kapitole 2.4.1. [2]

Jak již bylo zmíněno, teplou vodu nalezneme téměř v každé domácnosti. Na její přípravu jsou kladeny určité požadavky: bezpečnost, lehká obsluha, splnění hygienických podmínek. Dále minimalizování tepelných ztrát z místa ohřevu do místa spotřeby. To znamená doprava nejkratší cestou. [2]

Existuje několik způsobů ohřevu vody. Při výběru zařízení pro tento ohřev, je nutností zvážit množství potřebné teplé vody (tabulka 1 znázorňuje průměrné množství spotřebované vody za jeden den na jednu osobu), čas její spotřeby případně velikost technické místnosti. Na základě těchto parametrů lze stanovit nejvhodnější systém pro ohřev TUV. Zařízení se rozdělují na průtokové, zásobníkové neboli akumulární ohřivače, elektrické nebo plynové. Tyto zařízení mohou být společně s fototermickými či fotovoltaickými systémy velmi úsporné. Je nutné vybrat správné zařízení, jelikož každý z nich má své výhody i nevýhody. [2]

Tab. 1: Rozdělení průměrné denní spotřeby vody pro byty [44]

Činnost	Q_{pd} [$l \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$] Skutečná	Teoretická
Splachování WC	40	18
Velká hygiena (sprchování, koupání)	80	40
Malá hygiena (mytí rukou)	20	16
Praní prádla v AP	18	18
Vaření, pití	10	10
Mytí nádobí	12	10
Ostatní činnosti	10	10
Celkem	190	122

Akumulární ohřivač ohřívá vodu do zásobníku. Výhodou akumulárního ohřivače je dodávat velké množství vody o stabilní teplotě za krátký čas. Jeli správně nastavený a udržovaný je tento způsob ohřevu vody velmi ekonomický. Důležité je jeho umístění kvůli ztrátám, které by vznikly dopravou vody. Vhodné je zaizolovat potrubí, které teplou vodu dopravuje k spotřebiči. Při ohřevu vody v boileru, dochází k úniku tepelné energie přes jeho stěny. Je tedy nutné snížit tyto ztráty na minimum, aby jeho účinnost bylo co nejvyšší. Nejdůležitějším parametrem při výběru boileru je hodnota koeficientu měrných tepelných ztrát. Tento koeficient udává množství tepla, které ztratil 1 l vody po 24 h, kdy byl ohřán. Nejúčinnější spotřebiče jsou označeny třídou A. Jejich izolace je tvořena polyuretanovou pěnou. Tepelné ztráty jsou až třikrát menší oproti zařízením, které byly vyrobeny před rokem 1983. Při výběru správného akumulárního ohřivače je nezbytné zvolit jeho správnou velikost. Záleží na počtu osob, které jeho funkci budou využívat. Obvykle je využito pro jednu až dvě osoby 80 l zásobník. Pro tři až čtyři osoby 120 l a pro pět až šest osob 180 l zásobník. Vzhledem k tomu, že každá osoba má jiné využití teplé vody. Můžou být tyto hodnoty nepatrně jiné. Zásobníkové ohřivače mají velkou výhodou a to velmi dobrou kompatibilitu s obnovitelnými zdroji energie. Jako jsou solární kolektory či tepelná čerpadla, která jsou zásobována elektrinou z fotovoltaických systémů. Tyto ohřivače se dělí na elektrické, plynové a kombinované. [2]

Pro **elektrické zásobníkové ohřivače** je nejvhodnější ohřívání vody přes noc. Protože je cena elektrické energie v noci snížena. V případě zvýšení spotřeby teplé vody je pro rychlejší ohřev vody využito přídavné tepelné těleso. Nevýhodou těchto ohřivačů je tvorba vodního kamene. Ten je usazován na tepelné těleso a dochází k zvýšení spotřeby energie a pomalejšímu ohřevu. Ideální teplota vody se pohybuje mezi 55 až 60 °C. U těchto zařízení je nutné zabezpečit pravidelný servis, aby nedošlo k poškození topné spirály vlivem nánosů

vodního kamene. Ohřivače můžou využívat ke své činnosti energii vyrobenou z fotovoltaických panelů. [2]

Plynové zásobníkové ohřivače ohřívají vodu pomocí tepla vzniklého spalováním plynu. Dělí se na přímo výhřevné a nepřímo výhřevné. Přímo výhřevné nejsou závislé na plynovém kotli a mají vlastní zdroj tepelné energie. Nepřímo výhřevné nemají vlastní zdroj tepelné energie. Jsou spojeny s plynovým kotlem a bývají v jeho blízkosti. Teplo je z plynového kotle „přenášeno“ pomocí výměníku tepla do nádrže. Tento způsob je vhodný v topném období, protože kotel pracuje nepřerušovaně. V letních měsících tento systém není vhodný. Jelikož dochází k vypínání a zapínání kotle kvůli ohřevu vody. Tím dochází k opotřebování kotle, a tudíž i jeho dřívější výměny či opravy. [2]

Kombinované zásobníkové ohřivače využívají nejen plyn, ale i elektrickou energii. Jsou v nich zabudované tepelné tělesa a tepelná spirála. V této spirále proudí ohřátá kapalina, která byla zehřána pomocí plynové kotle. Tento druh zásobníku se dá využít jak v zimě, tak v létě. V zimě je využito teplo ze spalování plynu a v letních měsících teplo z elektrického ohřevu. [2]

Výše zmíněné ohřivače mají zásobníky na teplou vodu. Jsou vhodné pro ohřev většího množství teplé vody. **Průtokové ohřivače** vodu zpravidla neohřívají do zásobníku, ale je přímo využita pro dané účely. Na trhu se objevují i průtokové ohřivače s vyrovnávací nádobou nebo s malou zásobní nádrží. Elektrické průtokové ohřivače potřebují ke své činnosti elektrický proud. Tento proud lze odebírat ze sítě, ale i z fotovoltaických systémů. Průtokové ohřivače jsou vhodné pro ohřev menšího množství teplé vody a pro místa, která jsou vzdálená od hlavního zásobníkového ohřivače. Výhodou jsou i jejich malé rozměry. Můžou se klidně umístit nad umyvadlo, pod kuchyňský dřez apod. Rozdělují se na tlakové a beztlakové průtokové ohřivače. Beztlakové slouží k odběru vody pouze z jednoho místa. Jsou rozpoznatelné pomocí speciální baterie, která je k jejich správné funkci potřebná. Nevýhodou zařízení je nutnost vyššího příkonu. Tlakové slouží k odběru vody z jednoho, ale i více odběrných míst. Tento typ je zpravidla umístěn na větev TUV. Spotřebiče využívající tuto teplou vodu, by měli být co nejbližší tomuto zařízení. Protože zvyšováním vzdálenosti rostou tepelné ztráty. Existují i plynové průtokové ohřivače. Při jejich použití je nutné dávat pozor na odvod spalin u ohřivačů s vyšším výkonem. [2][25][26]

Solární systémy jsou velmi zajímavé pro ohřev TUV. Bohužel záleží na jejich umístění a v ČR jejich funkce je v zimě velmi omezená. Proto je výhodnější, je využívat společně s dalšími zařízeními, jako je kotel na pelety, kotel na plyn apod. Touto kombinací lze značně snížit náklady na ohřev TUV.

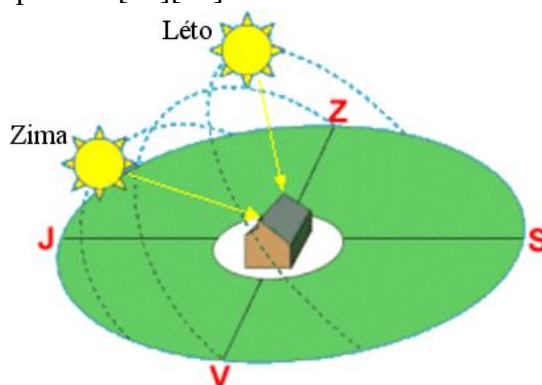
4 Solární systémy

Tato kapitola bude pojednávat o fotovoltaické elektrárně a fototermickém systému. V případě fotovoltaické elektrárny budou zmíněny její nejdůležitější součásti, rozdělení elektrárny podle připojení k síti. U fototermických systémů se bude jednat o důležité součásti a druhu systému.

4.1 Fotovoltaická elektrárna

4.1.1 Koncepce FV elektrárny

FV elektrárna je složena z mnoha komponentů. Je nutností správně zvolit všechny součásti. Při zvolení jediné nevhodné komponenty, by došlo k ovlivnění funkce celé elektrárny. Hlavní součástí FV elektrárny jsou **FV panely**, které přetváří sluneční záření na elektrickou energii. Při instalaci záleží na jejich orientaci a sklonu. Solární panely by neměli být zastíněny žádnou překážkou, protože by došlo k snížení jejich výkonnosti. V ideálním případě by panely měly být orientovány na jih. Při menším odklonu do 20° od ideální pozice buď na západ, nebo na východ se sníží výkon elektrárny o 5 %. Další na čem záleží je sklon FV panelů. Při nevhodném sklonu se snižuje jejich účinnost. V ČR je nejvhodnější instalovat panely se sklonem kolem 33° . Je to kvůli střídání letního a zimního období (obrázek 16). V letním období je slunce vysoko nad horizontem. V zimním období je nízko nad horizontem. Tudíž musí být zvolen určitý kompromis, aby získaná celková roční energie byla co nejvyšší. Pro panely vyrobené z krystalického křemíku je ideální, když sluneční paprsky dopadají kolmo na panely. Na pevně nainstalované panely o sklonu kolem 33° nedopadá světlo pod kolmým úhlem, ale je mírně vychýlené. Dále platí, že při instalaci panelů v rozmezí sklonu od 10° do 60° je pokles výkonu do 10 %. Amorfní panely mají nižší účinnost než krystalické panely. Jejich výhodou je možnost natočení, jelikož nejsou tak citlivé na potřebu kolmého slunečního světla. Například umístění panelů o ploše cca 7 až 8 m² na šikmou střechu o výkonu 1 kW je pro stejný výkon na rovné střeše potřeba panely o ploše cca 20 m². Rozdíl je z důvodu sklonu krystalických panelů, které při umístění na rovnou plochu mají nižší výkonnost. Výkon FV panelů se uvádí ve Watt-peak (Wp). Jedná se o maximální hodnotu výkonu, kterou může panel docílit za ideálních podmínek. Záření směřuje kolmo na panel, na panelu nejsou žádné nečistoty a pracuje za ideální teploty. Životnost panelů je zpravidla uváděna na 25 let se zárukou. A dále neklesne účinnost za 10 let pod 90 % a po 25 letech pod 80 %. Příloha A znázorňuje určité typy FV panelů. [27][28]



Obr. 16 : Slunce v letním a zimním období [6]

Solární regulátor nebo **MPPT měnič** slouží k stabilizaci napětí. Solární panely mají na výstupu nominální napětí 12 V nebo 24 V, výjimečně 48 V. Stabilizátory napětí se využívají kvůli výstupnímu napětí z panelu, které bývá zpravidla výrazně vyšší než nominální napětí. Dále se používají, kvůli oblačnému počasí. Protože při oblačném počasí poklesne výkon FV panelů na cca 30 % a při úplném zatažení klesne na cca 10 %. Z tohoto důvodu je použití stabilizátoru a akumulátoru nezbytné pro ostrovní systém. Ostrovní systém je u domů, které jsou výhradně napájeny energií z obnovitelných zdrojů a nikoliv z veřejné sítě. Obvyčejný solární regulátor je stabilizátor napětí a současně automatická nabíječka akumulátoru. Účinnost tohoto zařízení se pohybuje kolem 80 %. Solární regulátory jsou vybaveny i dalšími obvody, které napomáhají optimalizovat využití solární energie. Moderní typ solárního regulátoru je označován jako MPPT měnič. Je v něm zabudován vysokofrekvenční DC-DC měnič, který mění vstupní stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční střídavé napětí. To je následně transformováno na stejnosměrné napětí o jiné hodnotě než vstupní stejnosměrné napětí. Účinnost tohoto měniče se pohybuje kolem 95 % až 98 %. Vzhledem k vyšší účinnosti je i pořizovací cena mnohonásobně vyšší oproti „klasickému“ solárnímu regulátoru. [3]



Obr. 17: Měnič MPPT [40]

Velmi důležité zařízení je **akumulátor (baterie)**, který slouží jako úložiště elektrické energie. Slouží jako zdroj elektrické energie pro většinu spotřebičů během noci či nepříznivého počasí. Důležitou roli akumulátoru je napájet spotřebiče s velkou aktuální spotřebou energie. Protože solární elektrárna by velkou spotřebu energie nedokázala v daný okamžik dodat. [3]

Z důvodu stejnosměrného proudu, který je na výstupu ze solárního regulátoru, MPPT měniče nebo akumulátoru je do obvodu zapojen **měnič napětí (střídač)**. Jeho úkolem je přeměnit stejnosměrné napětí 12 V, 24 V nebo 48 V na střídavé napětí („síťové napětí“) o velikosti 230 V. Toto napětí je běžně v zásuvce. [3]

Další nutné součásti FV elektrárny jsou propojovací **vodiče a konektory**. Pro připojení jednoho nebo dvou panelů se může využít běžného vodiče. Ty musí mít dostatečně dimenzovaný průřez pro elektrický proud z FV panelů. Více panelů se propojuje pomocí speciálního vodiče. Malé panely do výkonu 50 Wp mají pro připojení kabelů integrovanou

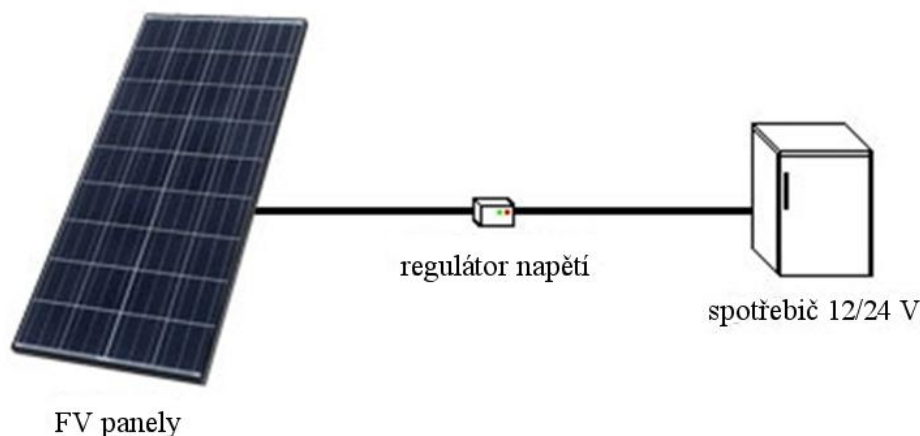
svorkovnici. Panely s výkonem nad 50 Wp mají pro připojení kabelů speciální solární konektory. Kabely z panelů se připojují do regulátoru pomocí šroubovacích svorek, které jsou integrované v solárním regulátoru. Pro ochranu FV elektrárny jsou do obvodu nainstalovány ochranné prvky. **Napět'ové svodiče** slouží jako ochrana proti úderu blesků. **Jističe** slouží jako ochrana proti zkratu. Další vhodnou součástí je elektrocentrála. Toto zařízení není nutné, ale je vhodné pro domácnosti využívající FV panely jako hlavní zdroj elektrické energie. V zimním období kdy FV panely nedodávají potřebné množství energie, může elektrocentrála dodat potřebnou energii. [3]

4.1.2 Rozdělení FV systémů

FV panely působením slunečního záření produkují stejnosměrný proud. Pro využití proudu ve spotřebičích je zapotřebí ho regulovat, případně přeměnit na střídavý. To zajišťují výše zmíněná zařízení. Vzhledem k využití, se systémy dělí na off – grid a on – grid.

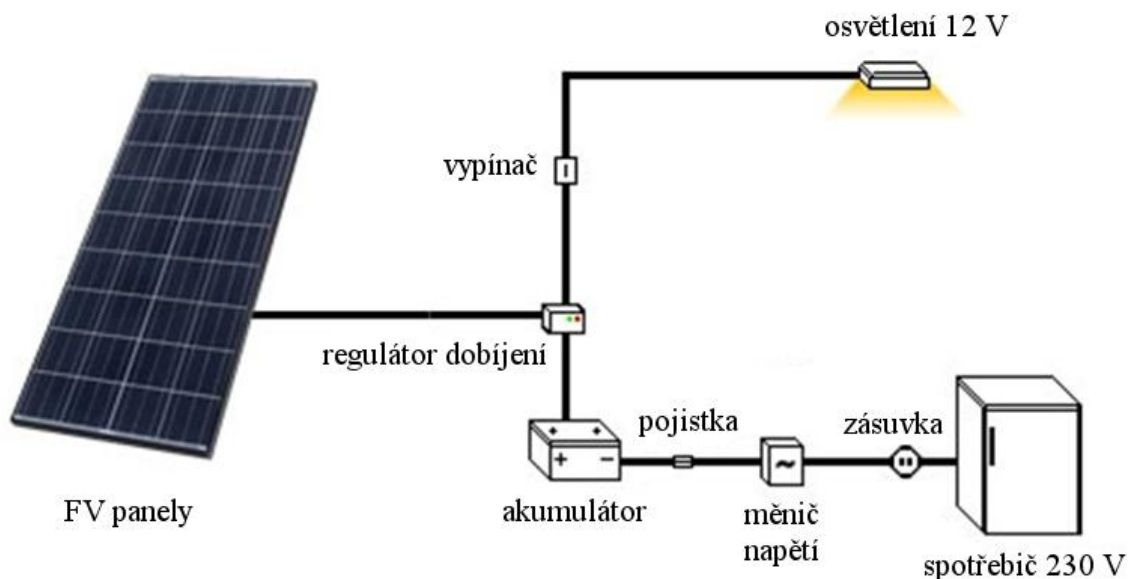
Off – grid systémy se využívají tam, kde je potřeba střídavé napětí 230 V a není v blízkosti elektrická síť. Jde především o ostrovní systémy, jako jsou chaty, karavany, domy vzdálené od veřejné sítě atd. Tento systém se dále rozděluje na systém s přímým napájením, systém s akumulací elektrické energie a na hybridní systém. [4]

Pokud je v systému zapojen spotřebič přímo na fotovoltaický panel či panely, je nazýván systém s přímým napájením. Obrázek 18 znázorňuje toto zapojení. Do systému je zapojen regulátor napětí, aby nedošlo k přetížení spotřebiče a následně jeho poškození. Výhodou je jednoduchost a nízké pořizovací náklady. Nevýhoda tohoto systému spočívá v tom, že při nižší intenzitě slunečního záření může dojít k omezení výroby elektrické energie. Proto je vhodné do tohoto systému zapojovat „méně náchylná“ zařízení na změnu proudu. [4]



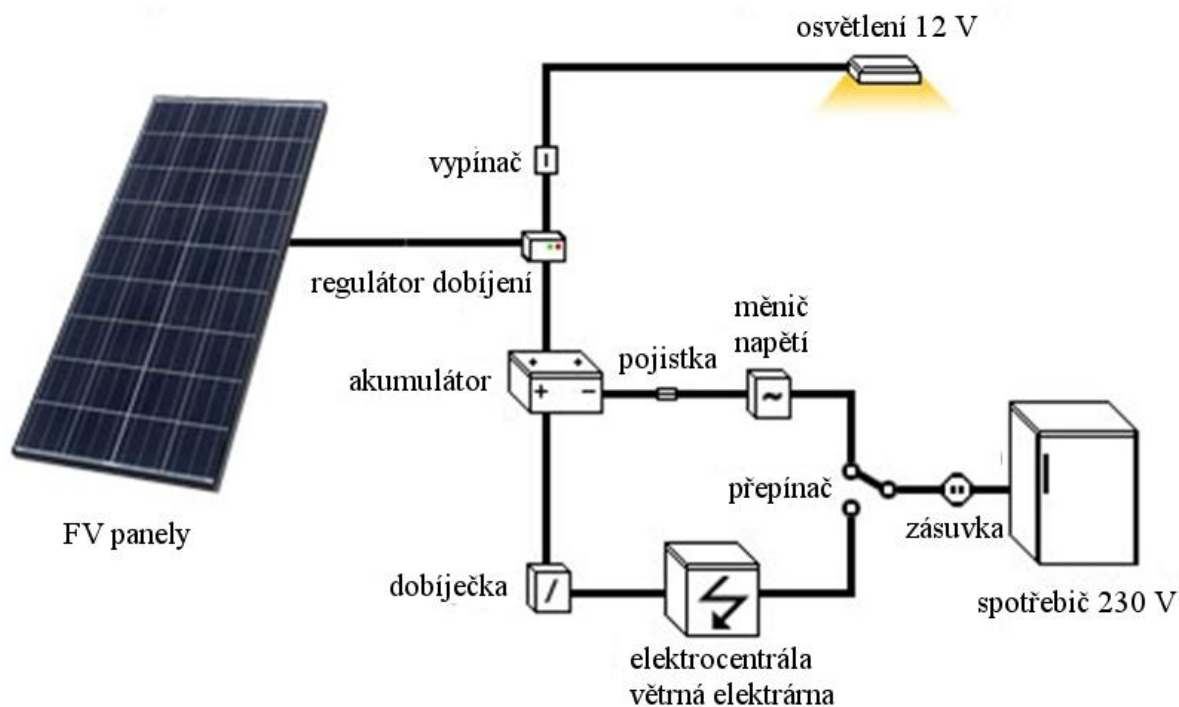
Obr. 18: *Systém s přímým napájením* [41]

Systém s akumulací elektrické energie odstraňuje zásadní nevýhodu předchozího systému. Spotřeba elektrické energie bývá zpravidla největší ráno a navečer. V tuto dobu je výroba energie z FV panelů minimální. Protože intenzita slunečního záření je velmi nízká. Spotřebu pokryje akumulátor, ve kterém se během dne „uloží“ energie získaná z FV panelů. Zvýšení životnosti akumulátoru zajišťuje regulátor dobíjení. Ten optimalizuje nabíjení a vybití akumulátoru. Z obrázku 19 je patrné, že systém může poskytovat napětí 12 V, tak i 230 V. Pro přeměnu napětí z 12 na 230 V je do systému zařazen měnič napětí (střídač). [4]



Obr. 19: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [41]

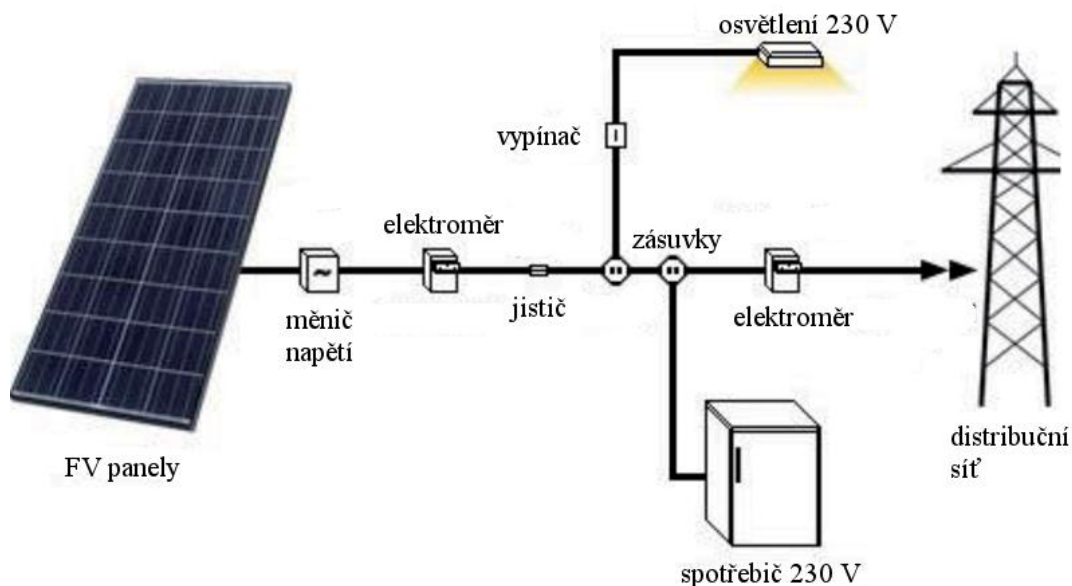
Posledním typem off – grid systémů je hybridní systém. Tento systém je vhodný pro domy s vyšší spotřebou elektrické energie. Jelikož je v zimním období slunečního záření nedostatek, a tím i méně energie ze solárních panelů. Je tedy nutné nějak dodat potřebnou energii pro funkci domácnosti. Jeden způsob je zvýšit počet solárních panelů. Tím by se kompenzoval nedostatek energie v zimním období, ale v letním období by panely vytvářely značný přebytek elektrické energie. Značně by se zvýšily počáteční náklady. Další možností je doplnit FV systém o alternativní zdroj elektrické energie, jako je elektrocentrála, vodní nebo větrná elektrárna apod. Znázornění tohoto systému je na obrázku 20. [4]



Obr. 20: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [41]

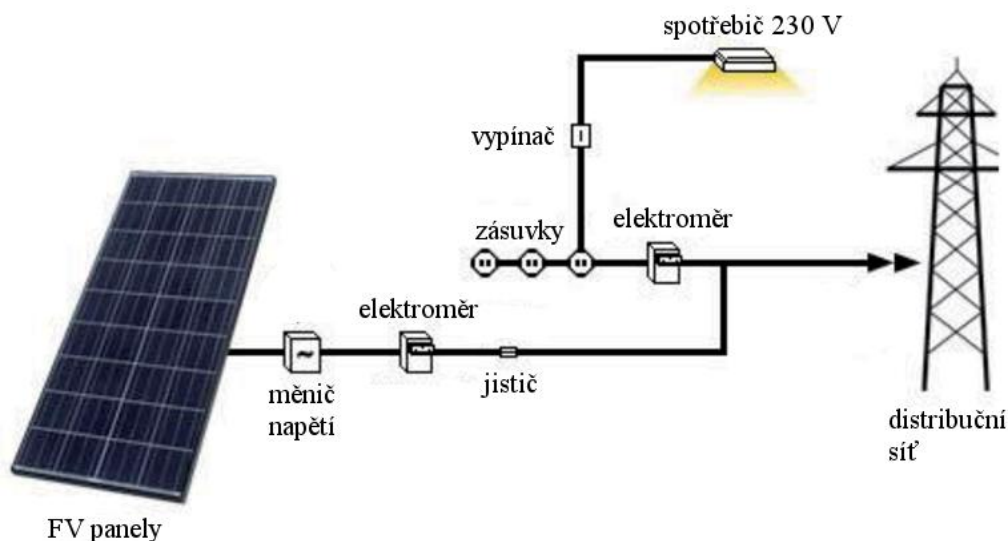
On – grid systémy se využívají v místech s veřejnou sítí. V případě dostatečného slunečního záření se elektrická energie vyrobená FV systémem přímo spotřebuje v budově a přebytečná energie je prodána za výkupní cenu do veřejné sítě. Je-li nedostatek slunečního světla, je energie čerpána z veřejné sítě.

Prvním systémem z této skupiny je systém, který dodává energii do budovy a přebytečnou energii prodává do sítě. Systém je znázorněn na obrázku 21. Stejnoseměrný proud ze solárních panelů je přeměněn v měniči napětí na střídavý. Následuje elektroměr a samostatný jistič. Solární systém je připojen na hlavní elektroměr. Proud lze dodávat k ostatním spotřebičům v budově nebo v případě přebytku energie, lze prodat do veřejné sítě. [4]



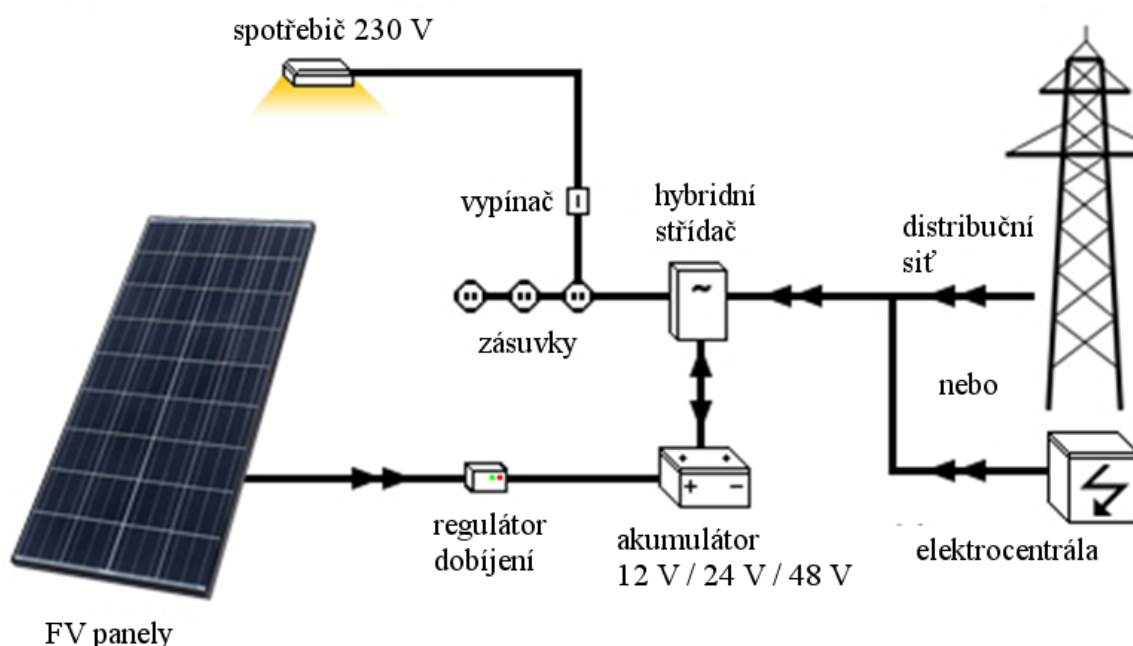
Obr. 21: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [42]

Další variantou jsou systémy, které vyrobenou energii prodávají do veřejné sítě za výkupní cenu. K panelům je připojen měnič napětí, elektroměr a pro ochranu jistič. Dále energie „putuje“ do distribuční sítě, jak je naznačeno na obrázku 22. [4]



Obr. 22: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě [42]

Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem (obrázek 23) může pracovat paralelně s distribuční sítí. Systém dokáže plynule využívat energii z akumulátoru a distribuční sítě. Při výpadku veřejné sítě může hybridní systém fungovat jako klasický ostrovní systém. Panely napájejí akumulátor, který dodává energii do daných zařízení. Při delším výpadku sítě je vhodné hybridní systém vybavit dalším záložním zdrojem, jako je elektrocentrála apod. Úkolem hybridního systému je šetřit náklady na energii a zálohovat energii v případě výpadku pro zařízení, jako jsou oběhová čerpadla, telekomunikační zařízení apod. Hybridní systém je vhodný pro budovy integrovaného záchranného systému. Při výpadku může energie z hybridního systému napájet telekomunikační zařízení, garážová vrata, zařízení na operačním sále atd. [29]



Obr. 23: Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem [29]

4.1.3 Realizace fotovoltaické elektrárny

Realizace správné velikosti fotovoltaické elektrárny závisí na několika parametrech. Při výběru nejprve záleží na požadavcích investora a jeho finančních možnostech. Pořizovací náklady FV elektrárny jsou vysoké, proto je vhodné ji správně navrhnout. Její výkonnost určují různé parametry, jako jsou: poloha domu, orientace, sklon a rozměry střešní plochy, na kterou bude FV elektrárna umístěna. Bližší informace ohledně orientace a sklonu jsou v kapitole 4.1.1.

Pro snížení nákladů za FV elektrárnu, je potřeba snížit celkovou spotřebu energie v domácnosti. Domácnost by měla být vybavena úspornými zařízeními. K těmto zařízením patří úsporné led osvětlení, kuchyňské a další spotřebiče označené energetickou třídou A+, A++ nebo A+++ . Porovnáním klasické žárovky o příkonu 60 W a led žárovky o příkonu 9 W. Led žárovka má vyšší svítivost, životnost až 50 krát vyšší a menší spotřebu energie oproti klasické žárovce. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Využití těchto zařízení, lze docílit značného uspoření elektrické energie. [30][31]

4.2 Fototermický systém

4.2.1 Koncepce fototermického systému

Fototermický systém je složen z mnoha komponentů. Pro správnou funkci systému je nutností správně zvolit všechny součásti. Hlavní součástí fototermického systému je **kolektor**, ve kterém se dopadající záření přeměňuje na teplo. Složení kolektoru viz kapitola 3.3. Účinnost kolektorů závisí na orientaci a sklonu plochy, na kterou dopadá sluneční záření. Informace o orientaci a sklonu jsou uvedeny v kapitole 4.2.3. [5]

Nedílnou součástí fototermického systému je **zásobník** neboli boiler. V tomto zařízení je uložena TUV. Podle umístění se dělí na boilery stojaté (jsou postaveny přímo na zemi) nebo závěsné (jsou umístěny na zeď). Dále se můžou dělit na speciální solární a bivalentní či trivalentní. Úkolem speciálně solárního je pouze akumulovat teplou vodu. U bivalentního či trivalentního je jeden zásobník ohříván s více zdrojů. Tato zařízení jsou v praxi nejvíce používána. Protože při nedostatku tepelné energie ze solárních kolektorů se může voda v boileru ohřát pomocí dalšího zařízení (kotel na plyn, kotel na pelety apod.) na požadovanou teplotu.

Potrubní rozvody zajišťují dodávku TUV přímo k spotřebiči. Bývají zpravidla měděné a pro omezení tepelných ztrát je zapotřebí je „obalit“ vhodnou izolací. Potrubní rozvody ústí do **výměníku**. Ten slouží k předání tepelné energie mezi teplotonosnou kapalinou a vodou v zásobníku. V praxi se používají výměníky přímo vložené v zásobníku nebo externí výměníky. Proudění teplotonosné kapaliny mezi solárním kolektorem a místem jejího uložení (boiler), případně využití (bazén) zajišťuje **oběhové čerpadlo**. To musí mít přesné charakteristiky pro jeho správný chod v systému. Je zvoleno na základě požadovaného průtoku a celkových ztrát potrubního systému. [5]

Zpětná kladka zabráňuje zpětné cirkulaci kapaliny v primárním okruhu (mezi zásobníkem a solárním kolektorem). Je využita převážně v čase, kdy jsou solární kolektory mimo činnost, například v noci. Protože v noci by teplotonosná kapalina odebírala teplo ze zásobníku a na principu samotížné soustavy by stoupala ke kolektoru. Z něhož by se teplo „ztrácelo“ do okolí. [5]

Řízení oběhového čerpadla zajišťuje **elektronická regulace**. Funkce spočívá v porovnávání teploty v solárním kolektoru a v zásobníku či místě jejího využití. Je-li dosaženo určitého rozdílu (kapalina v solárním kolektoru má vyšší teplotu než voda v zásobníku), zapne se oběhové čerpadlo. Ohřátá kapalina putuje do místa jejího využití, kde dojde k předání tepelné energie. Dojde-li k vyrovnání teplot, oběhové čerpadlo se vypne. [5]

Fototermický systém má několik pojistných prvků, jako je **expanzní nádoba**, **pojistný ventil** a **odvzdušňovací ventil**. Expanzní nádoba slouží k vyrovnávání tlaků v primárním okruhu fototermického systému. Vlivem změny teploty kapaliny dochází k změně objemu a tím se mění i tlak v systému. Expanzní nádoba zabráňuje poškození komponentů nebo rozvodného potrubí vlivem nevhodného tlaku v systému. Pro její správnou funkci musí být navržena na velikost systému a druh teplotonosné kapaliny (záleží na roztažnosti kapaliny). Expanzní nádoba je obvykle nastavena na tlak 3,5 baru (0,35 MPa). Pojistný ventil slouží k odpuštění kapaliny, je-li v systému zvýšený tlak. Může se nacházet na střeše budovy nebo

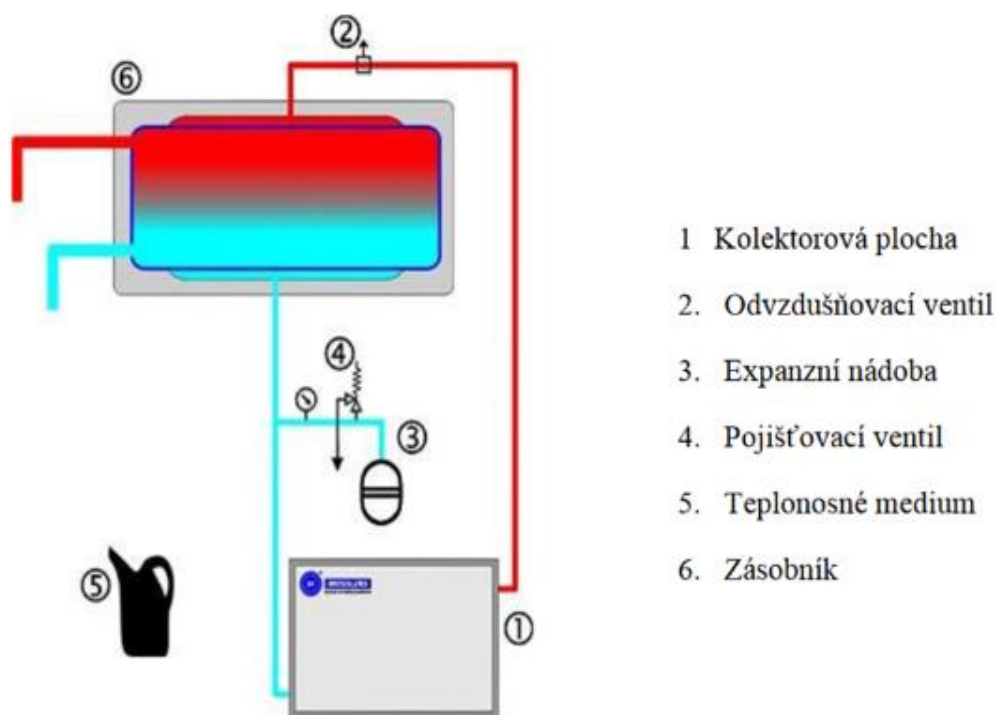
v jejím vnitřku. Odvzdušňovací ventil slouží k automatickému odvzdušnění primární části systému. Je umístěn v nejvyšší části fototerického systému. [5]

Kapalina v primárním okruhu je zpravidla tvořena nemrznoucí směsí. Zajišťuje přenos tepelné energie ze solárního kolektoru do místa využití. Tato kapalina má nízký bod tuhnutí obvykle - 32 °C. Je-li teplota nižší, vznikne emulze, která nepoškodí rozvodné potrubí. Pokud je v systému tato kapalina, můžou kolektory v zimním období „částečně“ fungovat. [5]

4.2.2 Rozdělení fototerických systémů

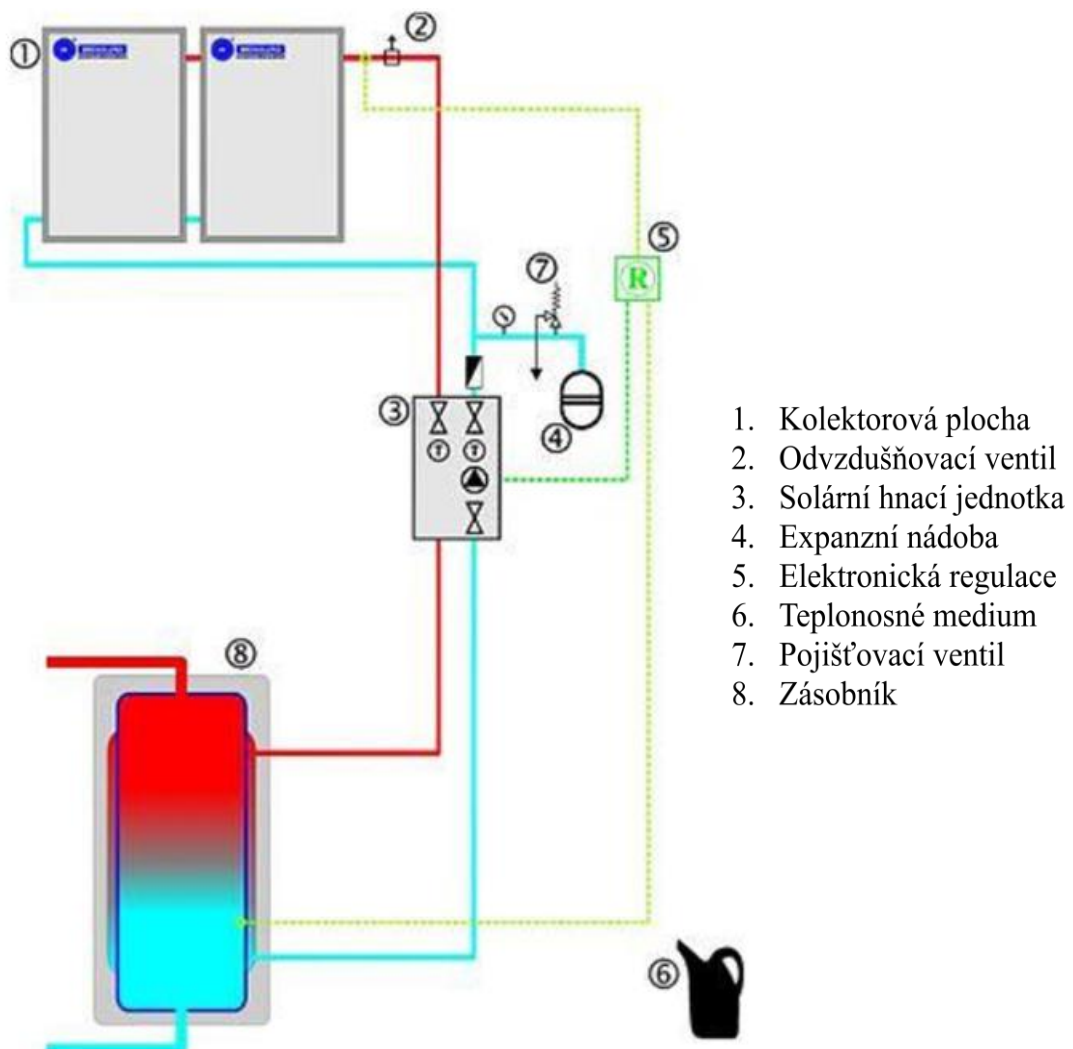
Fototerické systémy se dělí do mnoha kategorií. Základní rozdělení je podle doby použití, které se dělí na sezonní (letní období) a celoroční období. V případě systémů se sezonním provozem se využívají především k ohřevu vody v bazénu (zvýší se provozní doba). Dalším využitím nachází tento systém v místech, která nejsou celoročně využívána a kde je potřeba TUV, to jsou například chaty. Systémy s celoročním provozem nacházejí využití u většiny domácností, které jsou celoročně obydleny. Můžou sloužit k ohřevu TUV, dále pak k vyhřívání vody ve vnitřním v případě letní sezóny venkovním bazénu. Tento systém lze využít i k topení, ale je velmi omezen. Jelikož v zimním období výrazně klesne jeho účinnost a je nutné využít další vytápěcí zdroj, jako je třeba plynový kotel či kotel na pelety. Dále se fototerické systémy dělí na samotížné a hnací.

Princip **samotížného systému** (obrázek 24) spočívá v ohřívání teplotné kapaliny a jejího postupného roztahování. Kapalina postupně stoupá v trubkách solárního kolektoru k zásobníku s vodou. Zde dochází k předání energie z teplotné kapaliny do vody. Tato voda je nadále označována jako TUV. Ochlazená kapalina klesá zpět dolů do kolektoru, kde je znovu ohřívána. Tento systém nepotřebuje ke své funkci elektronickou regulaci ani solární hnací jednotku. Nutností systému je mít zásobník s vodou výše než kolektor. Jinak by daný systém nefungoval. [5]



Obr. 24: Schéma samotížného systému [43]

Princip **hnaného (nuceného) systému** (obrázek 25) spočívá v ohřevu nemrznoucí kapaliny. Jestliže je dosaženo daného teplotního rozdílu mezi kapalinou v kolektoru a zásobníku, dojde k cirkulaci ohřáté teplotnosné kapaliny pomocí solární hnací jednotky. Kapalina proudí z kolektoru k zásobníku. Zde je tepelná energie předána pomocí tepelného výměníku vodě v zásobníku. Ochlazená kapalina proudí zpět do kolektoru, aby mohla být znovu ohřána. [5]



Obr. 25: Schéma hnaného systému [43]

4.2.3 Realizace fototermického systému

Realizace správné velikosti fototermické elektrárny závisí na mnoha parametrech. Především závisí na požadavcích investora a jeho finančních možnostech. Dále pak podle místa umístění, a to na zemi nebo na střeše. S tím souvisí orientace, sklon případně rozměry střechy.

Solární kolektory mohou být umístěny na rovné či šikmé střeše, ve volném terénu nebo na fasádě. Při výběru umístění je nutné minimalizovat vzdálenost mezi kolektorem a místem využití, aby se zamezilo tepelným ztrátám v potrubí.

Zajištění nejvyšší účinnosti solárního kolektoru, je zapotřebí ho správně nainstalovat. Nejvhodnější natočení kolektoru je směrem k jihu s mírným odklonem přibližně 15°. Je to proto, že slunce svítí odpoledne déle než dopoledne. V létě je ideální sklon kolektoru kolem

20°, protože slunce v létě je vysoko nad horizontem. V zimě se slunce pohybuje blízko horizontu a vhodnější sklon je mezi 60° a 90°. Proto u systémů s celoročním provozem se volí kompromis, a to sklon mezi 35° až 45°. [5]

Jelikož výše zmíněná zařízení nejsou zdaleka nejlevnější, je vhodné pro ušetření nákladů za fototermický systém snížit spotřebu teplé vody. Při použití zařízení s energetickým označením A+ a výše, lze ušetřit elektrickou energii i energii na ohřev vody. Tím se sníží i pořizovací náklady na fototermický systém. Velikost kolektorů je dána počtem osob v domácnosti a využitím ohřáté vody. Při pouhém ohřevu vody by velikost měla být kolem 1 až 1,5 m² na osobu. Jestliže fototermický systém je využit i na vytápění, měla by se velikost kolektoru pohybovat mezi 3 až 7 m² na osobu. Je to dáno podle skutečné spotřeby, která se může velmi lišit. V tabulce 1 je uvedena přibližná spotřeba vody na osobu. [2]

5 Návrh moderního rodinného domu s využitím solární energie

Rodinný dům se nachází v okolí Zlína, a tedy sluneční podmínky jsou pro jeho okolí. Solární panely budou umístěny na střechu orientovanou na jih a její sklon bude 35°. Tyto hodnoty budou důležité při určení skutečného celkového výkonu. Pro správný výběr FV elektrárny je zapotřebí znát celkovou spotřebu energie v domácnosti.

5.1 Návrh spotřeby energie rodinného domu

Spotřeba elektrické energie domácnosti je velmi individuální, záleží na druhu spotřebičů, množství a jejich spotřebě. V rodinném domě bydlí čtyři osoby. Průměrná roční spotřeba elektřiny při vaření na indukční varné desce pro čtyři osoby je kolem 730 kWh. Hodnota je ovlivněna dobou vaření, typem indukční desky apod. Pro snížení spotřeby je vhodné před vařením potraviny rozmraznout, použít pokličku k omezení tepelných ztrát. V tabulce 2 je uvedena průměrná roční spotřeba pro daný spotřebič. Průměrná roční spotřeba elektrospotřebičů a indukční varné desky je $Q_{spot,r} = 3046,4 \text{ kWh}$ (tabulka 2). Tato hodnota je pouze orientační, protože nelze přesně určit dobu používání daných spotřebičů. [32]

Tab. 2: Průměrná roční spotřeba domácích spotřebičů a osvětlení [32]

Spotřebič	Množství	Spotřeba za den [Wh]	Spotřeba za rok [kWh]
Lednice	1	700	255,5
Mrazák	2	400	146
Myčka nádobí	1	900	328,5
Mikrovlnná trouba	1	200	73
Indukční deska	1	-	730
Pračka	1	500	182,5
Vysavač	1	-	18
Žehlička	1	-	42
LED TV	3	720	262,8
Osvětlení	40	540	197,1
Počítač	1	1400	511
Ostatní	-	-	300
Celkem	-	-	3046,4

Pro ohřev TUV elektrickou energií je v domácnosti potřeba elektrického boileru. K ohřevu jednoho litru vody o 1 °C je zapotřebí $4186 \text{ J} \times (\text{kg} \times \text{K})^{-1}$ energie, tj. $1,163 \text{ (W} \times \text{h)} \times (\text{kg} \times \text{K})^{-1}$. Například pokud chceme ohřát vody z teploty $t_1 = 283,15 \text{ K}$ (10 °C) na teplotu $t_2 = 301,15 \text{ K}$ (28 °C) o hmotnosti $m = 1000 \text{ kg}$, je zapotřebí podle vztahu (1) celkem k ohřevu 20,9 kWh energie. [47] :

$$Q_{ohř} = 1,163 \times m \times (t_2 - t_1) = 1,163 \times 1000 \times (301,15 - 283,15) \cong 20,9 \text{ kWh} \quad (1)$$

kde: m	[kg]	Hmotnost
$Q_{ohř}$	[kWh]	Energie potřebná na ohřev vody (1000 litů)
t_1	[K]	Vstupní teplota vody
t_2	[K]	Výstupní teplota vody

Průměrná roční spotřeba boileru pro čtyři osoby bude přibližně $Q_{ohř,r} = 4\,590$ kWh. Záleží na typu boileru, provozních ztrát. Spotřeba na provoz boileru je přibližně 730 kWh za rok. Dále ztráty při ochlazování vody mezi jednotlivými zahříváními, ztráty způsobené přenosem ohřáté vody v potrubí, vlivem nedokonalé izolace či nevhodné délky potrubí. Snížení elektrické energie za ohřev vody lze docílit pomocí fototermických kolektorů. [32]

Podle přílohy B je patrné, že spotřeba elektrické energie pro vytápění je dána rozlohou vytápěné budovy. K snížení spotřeby je zapotřebí izolace. Ta je zpravidla z polystyrénu nebo izolační skelné vaty, které snižují tepelné ztráty budovy. Dále je vhodné, místo klasických dřevěných oken použít okna plastová. Pasivní či nulové domy se vyznačují svou nízkou spotřebou elektrické energie na vytápění. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4.1. U „běžných“ domů je vytápění velmi energeticky náročné. Pro energetické pokrytí celého domu by musela být FV elektrárna větší a tím i mnohem dražší. Je vhodné využít další zařízení pro vytápění, jako je tepelné čerpadlo, plynový kotel, kotel na pelety apod. Rodinný dům má spotřebou přibližně $77 \text{ kWh} \times \text{m}^{-2}$ za rok. Plocha rodinného domu činí 125 m^2 . Spotřebu energie na vytápění určíme součinem rozlohy domu a jeho spotřeba na m^2 viz vztah (2). Spotřeba energie na vytápění rodinného domu činí přibližně 9 625 kWh za rok.

$$Q_{vyt,r} = S_{domu} \times Q_{spot\ 1} = 125 \times 77 = 9\,625 \text{ kWh} \quad (2)$$

kde:	$Q_{spot\ 1}$	[kWh/m ²]	Spotřeba rodinného domu na m ² za rok
	$Q_{vyt,r}$	[kWh]	Spotřeba energie na vytápění za rok
	S_{domu}	[m ²]	Plocha rodinného domu

Celkovou roční spotřebu elektrické energie rodinného domu určíme součtem výše uvedených hodnot, vztah (3).

$$Q_c = Q_{spot,r} + Q_{ohř,r} + Q_{vyt,r} = 3046,4 + 4\,590 + 9\,625 = 17\,261,4 \text{ kWh} \quad (3)$$

kde:	Q_c	[kWh]	Celková roční spotřeba elektrické energie
	$Q_{ohř,r}$	[kWh]	Průměrná spotřeba energie boileru za rok
	$Q_{spot,r}$	[kWh]	Průměrná spotřeba elektrospotřebičů za rok
	$Q_{vyt,r}$	[kWh]	Spotřeba energie na vytápění za rok

Celková roční spotřeba elektrické energie rodinného domu je cca 17 261,4 kWh.

5.2 Návrh fotovoltaické elektrárny

FV elektrárna bude zapojena jako on – grid systém. V případě potřeby můžeme čerpat elektrickou energii ze sítě. Výkon střešní FV elektrárny pro rodinné domy může být do 10 kWp. Abychom dosáhli tohoto maximálního výkonu, volíme 37 kusů panelů Amerisolar z přílohy A. Panely jsou polykrystalické a každý s výkonem 270 Wp. Skládají se z 60 článků o rozměrech 156 × 156 mm. Celkové rozměry panelu jsou 1640 × 992 × 40. Potřebná rozloha na umístění panelů na šikmou střechu bude přibližně 65 m². V praxi je rozloha FV

elektrárny pro čtyř členný rodinný dům menší, protože střešní plocha orientovaná na jih není tak velká. Z důvodu menší FV elektrárny bychom museli více energie odebírat ze sítě. Abychom snížili potřebnou rozlohu, bylo by možné použít výkonnější panely. Celkový výkon naší elektrárny bude 9 990 Wp viz vztah (4). [1][33][34]

$$P_c = 37 \times P_p = 37 \times 270 = 9\,990 \text{ Wp} \quad (4)$$

kde: P_c [Wp] Celkový výkon FV panelů
 P_p [Wp] Výkon panelů

Skutečný celkový výkon je dán celkovým výkonem panelů, ale i klimatickými podmínkami, orientací a sklonem panelů, ztrátami v systému apod. Podle programu PVGIS (příloha F) byla určena předpokládaná roční produkce, která činí $Q_{FV} = 9\,540$ kWh. Cena fotovoltaického systému bude přibližně činit 450 000 Kč. V této ceně je zahrnuto 37 panelů Amerisolar 270 Wp, konstrukce, střídač, regulátor, elektroinstalace, ochranné prvky, práce apod. [34]

5.3 Stanovení úspor

Průměrná cena elektrické energie pro rok 2017 činí 3,71 Kč za kWh. Cena elektrické energie ze sítě je za rok 64 040 Kč (vztah 5). [35]

$$E_{sít,r} = Q_c \times 3,71 = 17\,261,4 \times 3,71 \cong 64\,040 \text{ Kč} \quad (5)$$

kde: $E_{sít,r}$ [Kč] Cena elektrické energie ze sítě za rok

Cena elektrické energie ze sítě s využitím FV elektrárny bude je za rok 28 646 Kč (vztah 6).

$$E_{FV,r} = (Q_c - Q_{FV}) \times 3,71 = (17\,261,4 - 9\,540) \times 3,71 \cong 28\,646 \text{ Kč} \quad (6)$$

kde: $E_{FV,r}$ [Kč] Cena elektrické energie ze sítě za rok
 Q_{FV} [kWh] Skutečný celkový výkon

Rozdílem těchto dvou hodnot lze snadno určit úspory, které budou docíleny využitím fotovoltaického systému (vztah 7).

$$E_{úsp,r} = E_{sít,r} - E_{FV,r} = 64\,040 - 28\,646 \cong 35\,394 \text{ Kč} \quad (7)$$

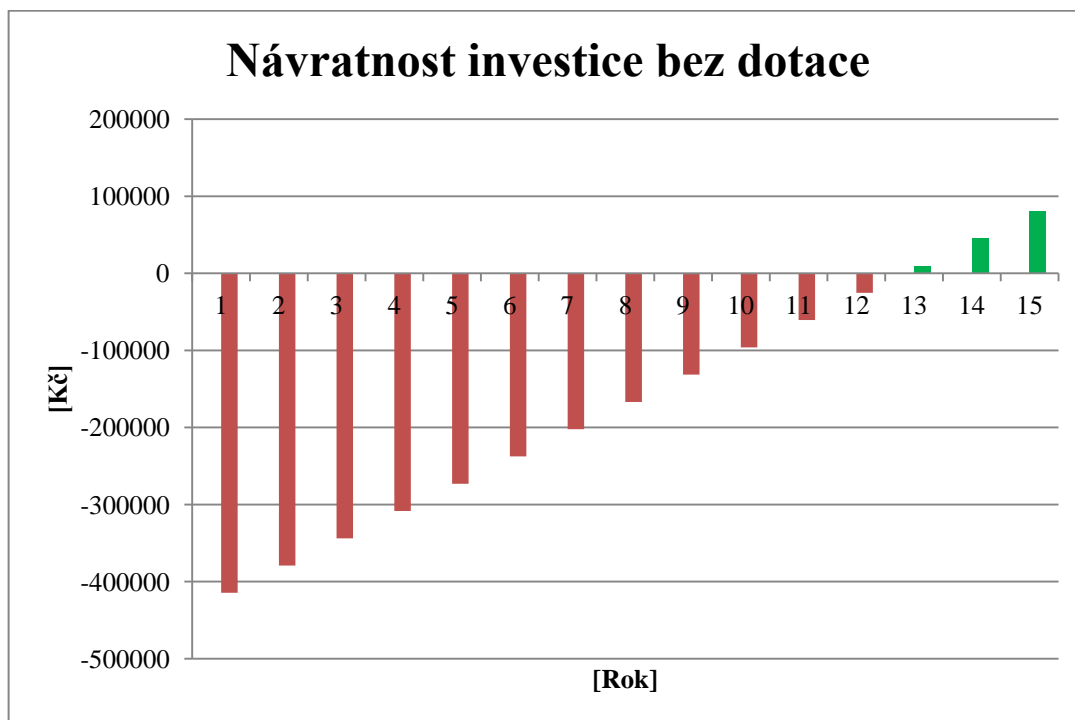
kde: $E_{úsp,r}$ [Kč] Roční úspory za elektrickou energii

5.4 Zhodnocení

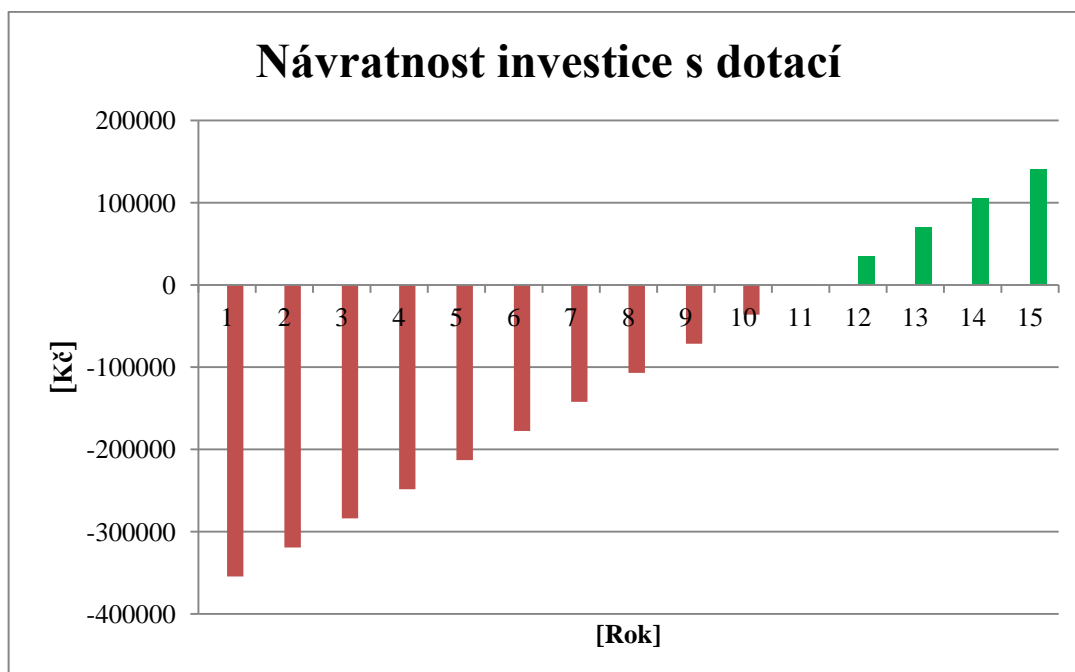
Návratnost navrženého systému je 13 let bez dotace (graf 1). Využitím dotace je návratnost přibližně 12 let (graf 2). Pro lepší funkci elektrárny, je vhodné zařadit akumulátor, viz kapitola 4.1.1. Při použití baterie LiFePO4 s možností uložení 14,4 kWh a ceně kolem 320 000 Kč, je návratnost posunuta až na 22 let (graf 3). Jak již bylo zmíněno, použitím fototerických kolektorů, lze snížit náklady na ohřev TUV. Snížila by se cena elektrické energie $E_{FV,r}$, a tím

by se zvýšili úspory $E_{úsp,r}$. Nakonec by to vedlo k dřívější návratnosti za fotovoltaickou elektrárnu. [34]

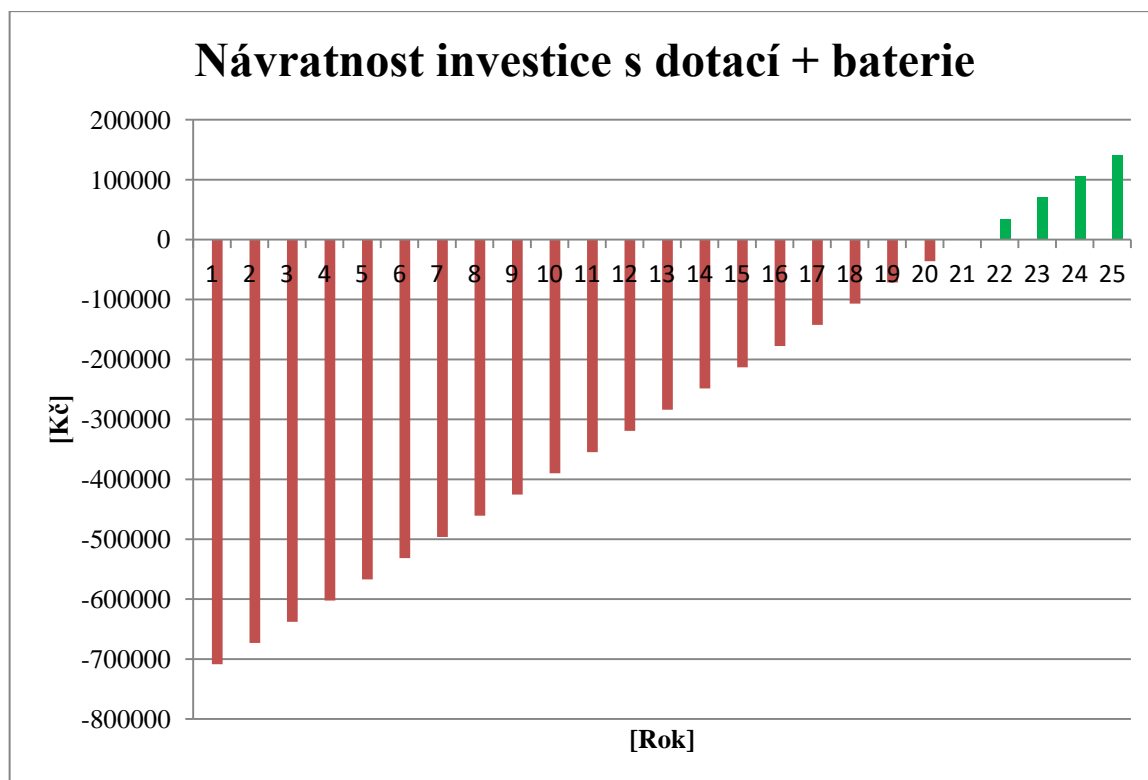
Graf 1: *Návratnost investice bez dotace*



Graf 2: *Návratnost investice s dotací*



Graf 3: Návrátnost investice s dotací + baterie



Cena navržené solární elektrárny společně s akumulátorem bude činit 770 000 Kč. Rodinný dům není soběstačný a musí být zapojený do sítě, protože solární panely neposkytnou potřebný výkon. Solární elektrárna je navržena pro výkon 10 kWp, je to z důvodu snížení spotřeby energie z distribuční sítě. V praxi se velikost fotovoltaické elektrárny pro rodinné domy pohybuje od 3 do 7 kWp. Naše FV elektrárna směřuje na jih a zabírá plochu o 65 m². Z důvodu velké plochy FV elektrárny budou panely umístěny na dům, tak i na garáž. Dále by bylo vhodné budovu dobře zaizolovat, aby se zamezilo tepelným ztrátám. To by vedlo k dřívější návratnosti za solární systém.

6 Závěr

Obnovitelné zdroje energie jsou v současnosti zajímavým tématem a právě zdroje této kategorie jsou velmi využívány v novostavbách a rekonstruovaných domech. Tato bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická a druhá praktická, která se skládá z vlastního návrhu energetického řešení rodinného domu s využitím solární energie.

První část je teoretická a pojednává o slunečním záření, to je zdrojem fotovoltaických a fototermických systémů. Dále je zde popsán princip a struktura fotovoltaického článku. Ten je tvořen dvěma spojenými polovodiči typu P a typu N. V polovodiči typu P jsou volné kladné náboje a v typu N záporné náboje. Působením slunečního záření dochází k oddělování záporných a kladných nábojů. Záporné náboje se pohybují k přední kovové elektrodě a kladné k zadní kovové elektrodě. Připojením spotřebiče k elektrodám, vznikne elektrický proud. Fotovoltaické články se dělí na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé. Maximální dosažená účinnost v laboratorních podmínkách je u monokrystalického článku 25,6 %, polykrystalického článku 21,3 %, tenkovrstvého CdTe článku 21,5 % a v případě vícepřechodových solárních článků pro koncentrovanou fotovoltaiku přesahuje účinnost 40 %. Tyto solární články se dají použít k výrobě elektrické energie a naleznou využití tam, kde je potřeba elektrická energie.

Tato práce obsahuje popis součástí fotovoltaické elektrárny a rozdělení vzhledem k síti. Dělí se na off – grid a on – grid. U off – grid není systém zapojený k distribuční síti a využívá pouze elektrickou energii z vlastních zdrojů. U on – grid zapojení je systém zapojený do distribuční sítě a může využít energii ze sítě nebo v případě přebytku energie síti poskytnout.

Pro přípravu teplé užitkové vody pomocí slunečního záření se převážně používají fototermické kolektory. V nich se dopadající fotony přeměňují na teplo, to je z kolektoru odváděno a využito pro ohřev vody. Fototermické systémy se dělí na samotížné a hnané. Samotížný systém využívá roztažnost vody. Teplá voda postupně stoupá kolektorem k zásobníku, kde se teplo předá z teplotonosné kapaliny do vody. Hnaný systém potřebuje ke své funkci solární hnací jednotku, která zajišťuje cirkulaci vody.

Ve druhé části je poskytnut návrh energetického řešení rodinného domu s využitím solární energie. Celkovou spotřebu energie rodinného domu jsme stanovili na cca 17 261,4 kWh. Tato hodnota je orientační, protože nemůžeme určit přesnou spotřebu spotřebičů. Dále energie na vytápění je dána klimatickými podmínkami a každý rok se mohou měnit. Byla zvolena elektrárna s výkonem téměř 10 kWp. V praxi se používají menší elektrárny. Důvodem zvolení velké elektrárny, je minimalizovat energii využívanou ze sítě. Navržená fotovoltaická elektrárna s akumulátorem bude stát 770 000 Kč a každý rok nám ušetří 35 394 Kč. Předpokládaná návratnost bude za necelých 22 let.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] MACINSKÁ, Jana. Teplá voda bez kompromisov. *Mójdóm* [online]. 2013 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://mojdom.zoznam.sk/cl/10027/1338248/Tepla-voda-bez-kompromisov>
- [3] HNILICA, Pavel. 2.Složení fotovoltaické elektrárny. *Deramax* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.deramax.cz/2-slozeni-fotovoltaicke-elektrarny-2-dil-ze-serialu-clanku>
- [4] CHMEL, Ladislav a Ivo HAMERNÍK. *Fotovoltaika, fototermika: Fotovoltaické solární systémy s pevným stojanem* [online]. Verze 29. 2016 [cit. 2017-04-30]. ISBN 978-80-88058-02-1. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/04.html>
- [5] 3. A FOTOTERMICKÉ SOLÁRNÍ SYSTÉMY [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.zsseifertova.ji.cz/sites/default/files/html/slundos/ft.pdf?referrer=Safari>
- [6] Princip solárního kolektoru. *ČEZ* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [7] Jaderná syntéza. *ČEZ* [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/03/synteza_9.html
- [8] Síto slunečního záření. *ČEZ* [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/04/sito_4.html
- [9] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie. *Transformační technologie* [online]. Brno, 2015 [cit. 2017-02-26]. ISSN 1804-8293. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/02.html>
- [10] DUS, Ondřej. *Vliv zastínění na parametry solárních modulů* [online]. Brno, 2008 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve-rejne.php?file_id=8691
- [11] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [12] GREEN, Martin A., Keith EMERY, Yoshihiro HISHIKAWA, Wilhelm WARTA a Ewan D. DUNLOP. Solar cell efficiency tables (Version 45). *Wiley Online Library* [online]. 2014 [cit. 2017-03-17]. DOI: 10.1002/pip.2573. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2573/full#pip2573-bib-0006>
-

-
- [13] Kde se bere monokrystalický křemík. *Materiálová věda* [online]. 2011 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://materialovaveda.blogspot.cz/2011/07/kde-se-bere-monokrystalicky-kremik.html>
- [14] POLMAN, Albert, Mark KNIGHT, Erik C. GARNETT, Bruno EHRLER a Wim C. SINKE. *Photovoltaic materials: Present efficiencies and future challenges* [online]. 2016 [cit. 2017-03-17]. DOI: 10.1126/science.aad4424. Dostupné z: <http://www.mark-knight.nl/wp-content/uploads/2016/07/2016-Polman-et-al.-Photovoltaic-materials-%E2%80%93-present-efficiencies-and-future-challenges.pdf>
- [15] KIM, Dong Seop, Andrew GABOR, V. YELUNDER, Ajay UPADHYAYA, V. MEMONGKOLKIAT a Ashish ROHATGI. *String Ribbon silicon solar cells with 17.8 % efficiency* [online]. 2003 [cit. 2017-03-17]. DOI: 10.1109/WCPEC.2003.1306157. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/4078712_String_Ribbon_silicon_solar_cells_with_178_efficiency
- [16] KING, R. R., A. BOCA, W. HONG, et al. *Band-Gap-Engineered Architectures for High-Efficiency Multijunction Concentrator Solar Cells* [online]. 2009 [cit. 2017-03-26]. DOI: 10.4229/24thEUPVSEC2009-1AO.5.2. Dostupné z: http://www.spectro-lab.com/pv/support/Band-Gap-Engineered_Architectures_for_High-Efficiency_Multi-junction_Concentrator_Solar_Cells.pdf
- [17] SKŘIVAN, Jan. *Koncentrované fotovoltaické systémy* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2017-03-26]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/18848/1/BP_Jan_Skrivan.pdf
- [18] Around the world in a solar airplane. *Solar Impulse* [online]. c2016 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.solarimpulse.com/adventure>
- [19] Photovoltaic History. *Sunlight Electric* [online]. c2002-2013 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.sunlightelectric.com/pvhistory.php>
- [20] Solar Arrays. NASA [online]. 2013 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/structure/elements/solar_arrays.html#.WPOCxaK4aM8
- [21] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [22] Definice pasivního domu. *Slavona* [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/pasivni-domy/definice-pasivniho-domu-rozdeleni-podle-energeticke-narocnosti.html>
- [23] Pasivní, aktivní, nulový dům. Víte, co přesně tyto pojmy znamenají? *HOME bydlení* [online]. 2016 [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/ned-a-pasivni-domy/pasivni-aktivni-nulovy-dum-vite-co-presne-tyto-pojmy-znamenaji/>
-

-
- [24] Water heating. *Research OMICS Group* [online]. c2014 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: http://research.omicsgroup.org/index.php/Water_heating#History
- [25] GURYČA, Richard. Průtokové ohřivače – teplá voda rychle. *Chatař a Chalupář* [online]. 2016 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.chatar-chalupar.cz/prutokove-ohrivace-tepla-voda-rychle/>
- [26] PRŮTOKOVÉ OHŘÍVAČE - tlakové průtokové ohřivače. *Wterm energy* [online]. c2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.wterm.cz/prutokove-ohrivace/tlakove-prutokove-ohrivace>
- [27] Jak navrhnout FV elektrárnu. *Sunlux* [online]. 2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.sunlux.cz/jak-navrhnout-fv-elektrarnu/>
- [28] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. *OEnergetice* [online]. 2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [29] Hybridní fotovoltaický systém: Hybridní grid-free elektrárna. *SolarEnvi* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.solarencvi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html>
- [30] Energetická třída spotřebiče. *Wikipedie* [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetick%C3%A1_t%C5%99%C3%ADda_spot%C5%99ebi%C4%8De
- [31] Srovnání klasických a LED žárovek. *T-Led* [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.t-led.cz/blog/srovnani-klasickyh-a-led-zarovek/>
- [32] Jak odhadnout spotřebu elektřiny v domácnosti. *Dodavatel elektřiny* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://dodavatelektriny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-elektriny>
- [33] FV modul Amerisolar 270Wp. *SVP solar* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.solar-eshop.cz/p/fv-modul-amerisolar-270wp/>
- [34] Konfigurační pro rodinné domy. *Elektřina ze slunce* [online]. c2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: https://www.elekttrinazeslunce.cz/?gclid=CjwKEAajw9MrIBRCr2LPek5-h8U0SjAD3jfhT2N0A08e5QGmlwm9SlG0rxiqSa5_BYcyimfog0HLIYhoCovvw_wcB#konfigurator-pro-rodinne-domy
- [35] Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny. *Energie123* [online]. c2011-2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektřina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [36] Sluneční energie. In: *Wikipedie* [online]. 2017 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie
-

-
- [37] Solární (fotovoltaické) články. ČEZ [online]. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [38] ŠTALMACH, Jakub. *Analýza VA charakteristik jako metoda ověření parametrů FVE: Mikromorfnní solární FV články (u-Si a A-Si)* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/10052/1/Stalmach%20Jakub%20-%20Diplomova%20prace%202013.pdf>
- [39] Solární panely. OBB [online]. c2000-2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.obb.cz/produkty/solarni-kolektory-bramac/>
- [40] Inteligentní MPPT solární regulátor. Truckmall [online]. c2016 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.truckmall.cz/127675-inteligentni-mppt-solarni-regulator-nabijeni-20a-s-lcd.html?gclid=CN3JgZKis9MCFRlIGQod6kYAFA>
- [41] Fotovoltaické systémy. ELG-Electric [online]. c2008-2012 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.elgelectric.com/oblast-cinnosti/slaboproude-technologie/fotovoltaicke-systemy>
- [42] Schéma zapojení. In: *Amself.sweb.cz* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://amself.sweb.cz/fotovoltaika.htm>
- [43] CHMEL, Ladislav. *Fotovoltaika a fototermika* [online]. Brno, [2012] [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://moodle.sspbrno.cz/pluginfile.php/7472/mod_resource/content/1/d%C3%AD1%201%20-%207-101%20str%20u%C4%8D.pdf
- [44] Spotřeba vody v bytových domech v kontextu modernizace bytových jader. *TZB-info* [online]. 2006 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3767-spotreba-vody-v-bytovych-domech-v-kontextu-modernizace-bytovych-jader>
- [45] ČERVINKA, Pavel. *Porovnání výkonnosti fotovoltaických panelů v podmínkách ČR* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38010
- [46] Photovoltaic Geographical Information System. *JRC European Commission* [online]. c2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [47] Výpočet doby ohřevu teplé vody. *TZB-info* [online]. c2001-2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-vypocet-doby-ohrevu-teple-vody>
- [48] Brief History of Solar and Hawaii Photovoltaic Highlights. In: *Haleakala Solar* [online]. 2014 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.haleakalasolar.com/hawaii-solar/brief-history-of-solar-hawaii-photovoltaic-highlights/>
- [49] Czochralského metoda. *Wikiwand* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Czochralsk%C3%A9ho_metoda
-

- [50] Nie je panel ako panel. *Solarna Elekraren* [online]. 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.solarnaelekraren.sk/?spravy/2014031534/nie-je-panel-ako-panel-alebo-co-vsetko-vydrzi-novinka-medzi-panelmi-od-ascent-solar#.WR3ErMa4aM8>
- [51] Polykrystalický solární panel. *České stavby* [online]. c2001-2013 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.ceskestavby.cz/shop/dstechnik_praha/dstechnikcz-praha-csun-polykrystalicky-solarni-panel-245wp-fv-csun-245wp-solarni-panely-11143119/detail.html

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Legenda	Jednotka
$E_{FV,r}$	Cena elektrické energie ze sítě s využitím FV elektrárny za rok	[Kč]
$E_{sít,r}$	Cena elektrické energie ze sítě za rok	[Kč]
$E_{úsp,r}$	Roční úspory za elektrickou energii	[Kč]
m	Hmotnost	[kg]
P_c	Celkový výkon FV panelů	[Wp]
P_p	Výkon panelů	[Wp]
Q_c	Celková roční spotřeba elektrické energie	[kWh]
Q_{FV}	Skutečný celkový výkon	[kWh]
$Q_{ohř}$	Energie potřebná na ohřev vody (1000 litrů)	[kWh]
$Q_{ohř,r}$	Průměrná spotřeba energie boileru za rok	[kWh]
$Q_{spot 1}$	Spotřeba rodinného domu na m ² za rok	[kWh × m ⁻²]
$Q_{spot,r}$	Průměrná spotřeba elektrospotřebičů za rok	[kWh]
$Q_{vyt,r}$	Spotřeba energie na vytápění za rok	[kWh]
S_{domu}	Plocha rodinného domu	[m ²]
t_1	Vstupní teplota vody	[K]
t_2	Výstupní teplota vody	[K]

Zkratka	Legenda
AP	Automatická pračka
CIS	Copper-Indium-diSelenid – dvojselenid mědi-india
CPV	Concentrated photovoltaics – Koncentrovaná fotovoltaika
ČR	Česká Republika
EFG	Edge-defined Film-fed Growth
EVA	Kopolymer etylén – vinylacetát
FV	Fotovoltaika
ISS	International Space Station – Mezinárodní vesmírná stanice
TCO	Transparent Conductive Oxide – Průhledný vodivý oxid
TUV	Teplá užitková voda

Seznam obrázků

Obr. 1: Fotovoltaický panel [51]	11
Obr. 2: Mapa slunečního záření v České Republice [36]	12
Obr. 3: Mapa slunečního záření v Evropě [36]	13
Obr. 4: Charles Fritts a jeho fotovoltaický článek na bázi selenu [48]	14
Obr. 5: Fotovoltaický článek [37]	15
Obr. 6: Monokrystalické články [1]	16
Obr. 7: Czochralského proces [49]	16
Obr. 8: Polykrystalické články [1]	17
Obr. 9: Osmihranné (oktaedr) křemíkové trubky k výrobě článků EFG [1]	18
Obr. 10: Princip výroby článků typu string ribbon [1]	18
Obr. 11: Tenkovrstvý solární článek [50]	19
Obr. 12: Princip výroby tenkovrstvých článků [1]	20
Obr. 13: Struktura vrstev amorfního třívrstvého článku [1]	20
Obr. 14: Struktura mikromorfního tandemového článku [38]	21
Obr. 15: Princip a konstrukce fototermického kolektoru [39]	25
Obr. 16 : Slunce v letním a zimním období [6]	28
Obr. 17: Měnič MPPT [40]	29
Obr. 18: Systém s přímým napájením [41]	30
Obr. 19: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [41].....	31
Obr. 20: Systém s akumulací elektrické energie (12 V i 230 V) [41]	31
Obr. 21: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě [42]	32
Obr. 22: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě [42]	32
Obr. 23: Hybridní fotovoltaický systém s akumulací a záložním zdrojem [29]	33
Obr. 24: Schéma samotížného systému [43]	35
Obr. 25: Schéma hnaného systému [43]	36

Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení průměrné denní spotřeby vody pro byty ...[44]	26
Tab. 2: Průměrná roční spotřeba domácích spotřebičů a osvětlení [32]	38

Seznam grafů

Graf 1: Návratnost investice bez dotace	41
Graf 2: Návratnost investice s dotace	41
Graf 3: Návratnost investice s dotací + baterie	42

Seznam příloh

Příloha A – Přehled panelů [33, 45]

Příloha B – Roční spotřeba elektrické energie na vytápění [32]

Příloha C – Návratnost FV systému bez dotace

Příloha D – Návratnost FV systému s dotací

Příloha E – Návratnost FV systému s dotací + baterie

Příloha F – Roční produkce energie [46]

Přílohy A

Výrobce a typ	Amerisolar	SOLON Blue 230/07	SOLON Black 230/07	SOLON Black 300/10	NexPower NH-100AT_3A
Výkon [Wp]	270 + 1%	230 ± 3 %	230 ± 3 %	295 ± 3 %	95 ± 5 %
Svorkové napětí [V]	-	36,7	36,22	63,8	36,5
Maximální proud [A]	-	8,65	8,38	6,1	2,6
Účinnost [%]	16,3	14,02	14,02	17,4	12,5
Typ (M/P)	poly Si	poly Si	mono Si	mono Si	tenkovrstvé
Počet článků [ks]	60	60	60	96	-
Hmotnost [kg]	18,5	23,5	23,5	23,5	20,5
Rozměry [mm]	1640×992× ×40	1640×1000× ×42	1640×1000× ×42	1580×1070× ×42	1414×1114× ×35

Příloha B

Rozloha [m ²]	Nižší spotřeba [kWh]	Průměrná spotřeba [kWh]	Vyšší spotřeba [kWh]
1	77	110	143
10	770	1 100	1 430
20	1 540	2 200	2 860
30	2 310	3 300	4 290
50	3 850	5 500	7 150
75	5 775	8 250	10 725
100	7 700	11 000	14 300
125	9 625	13 750	17 875
150	11 550	16 500	21 450

Příloha C

Rok	Sít' [Kč]	Sít' + FV [Kč]	Úspora [Kč]	Návratnost [Kč]
1	64040	28646	35393	-414607
2	128080	57293	70787	-379213
3	192119	85939	106180	-343820
4	256159	114586	141574	-308426
5	320199	143232	176967	-273033
6	384239	171878	212360	-237640
7	448279	200525	247754	-202246
8	512318	229171	283147	-166853
9	576358	257818	318541	-131459
10	640398	286464	353934	-96066
11	704438	315110	389327	-60673
12	768478	343757	424721	-25279
13	832517	372403	460114	10114
14	896557	401050	495508	45508
15	960597	429696	530901	80901

Příloha D

Rok	Sít' [Kč]	Sít' + FV [Kč]	Úspora [Kč]	Návratnost [Kč]
1	64040	28646	35393	-354607
2	128080	57293	70787	-319213
3	192119	85939	106180	-283820
4	256159	114586	141574	-248426
5	320199	143232	176967	-213033
6	384239	171878	212360	-177640
7	448279	200525	247754	-142246
8	512318	229171	283147	-106853
9	576358	257818	318541	-71459
10	640398	286464	353934	-36066
11	704438	315110	389327	-673
12	768478	343757	424721	34721
13	832517	372403	460114	70114
14	896557	401050	495508	105508
15	960597	429696	530901	140901

Příloha E

Rok	Sít' [Kč]	Sít' + FV [Kč]	Úspora [Kč]	Návratnost [Kč]
1	64040	28646	35393	-708607
2	128080	57293	70787	-673213
3	192119	85939	106180	-637820
4	256159	114586	141574	-602426
5	320199	143232	176967	-567033
6	384239	171878	212360	-531640
7	448279	200525	247754	-496246
8	512318	229171	283147	-460853
9	576358	257818	318541	-425459
10	640398	286464	353934	-390066
11	704438	315110	389327	-354673
12	768478	343757	424721	-319279
13	832517	372403	460114	-283886
14	896557	401050	495508	-248492
15	960597	429696	530901	-213099
16	1024637	458342	566294	-177706
17	1088676	486989	601688	-142312
18	1152716	515635	637081	-106919
19	1216756	544281	672475	-71525
20	1280796	572928	707868	-36132
21	1344836	601574	743261	-739
22	1408875	630221	778655	34655
23	1472915	658867	814048	70048
24	1536955	687513	849442	105442
25	1600995	716160	884835	140835

Příloha F

Pevný systém: sklon = 35°, orientace = 0°

Měsíc	E_d	E_m	H_d	H_m
Leden	9,15	284	1,13	34,9
Únor	16,10	452	2,02	56,7
Březen	27,60	856	3,63	113,0
Duben	37,70	1130	5,18	156,0
Květen	38,20	1180	5,36	166,0
Červen	38,60	1160	5,50	165,0
Červenec	38,20	1180	5,52	171,0
Srpen	37,10	1150	5,32	165,0
Září	30,10	902	4,15	124,0
Říjen	21,60	668	2,85	88,5
Listopad	11,40	342	1,45	43,6
Prosinec	7,56	234	0,94	29,2
Roční průměr	26,1	795	3,6	109
Celkem za rok	9540		1310	

E_d - Průměrná denní produkce elektřiny energie [kWh]

E_m - Průměrná měsíční produkce elektrické energie [kWh]

H_d - Průměrný denní intenzita slunečního záření dopadajícího na povrch [kWh/m²]

H_m - Průměrný měsíční intenzita slunečního záření dopadajícího na povrch [kWh/m²]