VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV
ENERGY INSTITUTE

DOMOVNÍ FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA
HOME PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Kryštof Brázda
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Kryštof Brázda**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok:	2018/19

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:

Domovní fotovoltaická elektrárna

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na reálné hodnocení provozních parametrů a ekonomické návratnosti instalace fotovoltaické elektrárny na zvoleném rodinném domě.
V rámci práce bude zpracován podrobný přehled spotřeby energií zvoleného RD. Proveden bude návrh fotovoltaické elektrárny pro zvolený objekt. Zhodnoceny budou možné varianty řešení systému s ohledem na využití akumulace, prodeje přebytků el. energie, řízení priorit odběru. Pro hodnocené varianty bude zpracováno technicko – ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

1) Konkretizovat charakter spotřeby el. energie zvoleného objektu.
2) Návrh fotovoltaické instalace na vybraném objektu.
3) Provést technicko–ekonomické zhodnocení instalace.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

KANDLIKAR, S., Masahiro, S. a DHIR, V., Handbook of phase change: boiling and condensation. Philadelphia, PA: Taylor, xlvii, 738 p., 1999. ISBN 15-603-2634-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na reálné hodnocení provozních parametrů a ekonomické návratnosti instalace fotovoltaické elektrárny na zvoleném rodinném domě. V rámci práce je zpracován podrobný přehled spotřeby energií zvoleného rodinného domu. Je proveden návrh fotovoltaické elektrárny pro zvolený objekt. Jsou zhodnoceny dvě varianty řešení systému s ohledem na využití akumulace, prodeje přebytků elektrické energie a řízení priorit odběru.

ABSTRACT

This thesis is focused on evaluation of operational parameters and economic return of photovoltaic power plant installation on chosen family house. In thesis there is elaborated a detailed overview of energy consumption of selected house. The photovoltaic power plant is designed for the selected object. Two possible variants of the system solution with regard to the use of accumulation, sale of surplus electric energy management and procurement priorities.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaika, akumulace, elektrická energie, fotovoltaický systém, baterie, spotřeba

KEYWORDS

Photovoltaics, accumulation, electrical energy, photovoltaic system, battery, consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRÁZDA, Kryštof. Domovní fotovoltaická elektrárna [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117308. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Domovní fotovoltaická elektrárna“, vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24. května 2019 .....

Kryštof Brázda

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které byly nápomocné při psaní této bakalářské práce. Vděčnost patří i mé rodině za podporu při studiu. A velký dík Nele Zapletalové za podporu a korekturu.

OBSAH

1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ ... 12
1.1 STRUČNÁ HISTORIE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ ... 14
2 FYZIKÁLNÍ PRINCIP POLOVODIČOVÉHO FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU ... 17
2.1 JEDNOTLIVÉ GENERACE ČLÁNKŮ ... 19
2.2 KOMERČNĚ POUŽÍVANÉ FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY ... 21
2.3 VÝROBA KŘEMÍKOVÝCH MONOKRYSTALICKÝCH ČLÁNKŮ ... 22
2.3.1 VÝROBA KŘEMÍKOVÝCH POLYKRYSTALICKÝCH ČLÁNKŮ ... 22
2.3.2 VÝROBA KŘEMÍKOVÝCH AMORFNÍCH ČLÁNKŮ ... 23
2.4 NOVÉ TRENDY A SMĚRY VÝVOJE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ ... 24
3 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ ... 26
3.1 SOLÁRNÍ FOTOVOLTAICKÉ PANELY A ZVYŠOVÁNÍ JEJICH ÚČINNOSTI ... 26
4 POMOCNÁ ZAŘÍZENÍ A KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ ... 28
4.1 AKUMULACE ... 28
4.2 MĚNIČE ... 30
5 PRAKTICKÁ ČÁST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE ... 31
5.1 UMÍSTĚNÍ ... 31
5.2 SPOTŘEBA RODINNÉHO DOMU ... 32
5.3 VÝBĚR FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU ... 33
5.3.1 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM S AKUMULACÍ ... 34
5.3.2 FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM BEZ AKUMULACE ... 38
5.4 VÝPOČET MNOŽSTVÍ DOPADAJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA DANÝ OBJEKT ... 40
5.4.1 VLIV ORIENTACE STŘECHY OBJEKTU KE SVĚTOVÝM STRANÁM ... 41
5.5 VYROBENÁ ENERGIE ... 42
5.6 ZHODNOCENÍ BATERIÍ ... 44
5.7 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ ... 44
6 ZÁVĚR ... 47
SEZNAM OBRÁZKŮ ... 49
POUŽITÉ ZDROJE: ... 50
POUŽITÉ ZNAKY A SYMBOLY: ... 52

Úvod

Úkolem této bakalářské práce bude zhodnocení fotovoltaické instalace na rodinný dům, její technicko-ekonomické posouzení nejlepšího využití a vysvětlení definic pojmů a procesů potřebných pro popis principu fungování fotovoltaických článků.

V dnešní době, kdy většinu elektrické energie vyrábíme z fosilních paliv, hledáme další stabilní zdroje, které by byly přátelštější k našemu okolí. Fosilní paliva, kromě významného dopadu na životní prostředí, mají další nevýhodu, a sice spotřebu, jež je za čas větší než množství, které se jich za stejnou dobu vytvoří. Sice již vzniklo mnoho technologií, zmenšujících ekologický dopad využívání fosilních paliv, avšak žádná nebyla schopná eliminovat jej na sto procent. Kromě využívání nerostného bohatství pak velké ekologické problémy způsobuje i jehich těžba, kdy se uvolňuje do atmosféry značné množství metanu. Tento plyn se významně podílí na skleníkovém efektu spolu s dalšími plyny, které vznikají při získávání a využívání fosilních paliv.

Tyto problémy s využívámín fosilních paliv se snaží řešit technologie využívání energie větru, vody, dále spalování biomasy, při jehož procesu sice vzniká oxid uhličitý, ale v rámci koloběhu v přírodě je jeho vznik účinkem neutrální.

Dále k těmto technologiím patří fotovoltaické články, které jsou schopné přeměnit energii slunečního záření na elektrickou energii, tento princip bude více rozveden v kapitole 1.1. Na naši planetu trvale dopadá záření o výkonu přibližně 1,4 kW/m^2, což je nezanedbatelné množství energie. Avšak potřebujeme vyvinout technologii, která dokáže přeměnit energii záření na energii elektrickou s dostatečně velkou účinností, aby byla schopná ekonomicky konkurovat velkým tepelným elektrárnám. Ve vývoji je velké množství typů fotovoltaických článků, v této bakalářské práci o nich bude menší zmínka, avšak hlavní zaměření bude na konvenční fotovoltaické články, které jsou dostupné na trhu.

V dohledné době bude snaha prosazovat novější obnovitelné zdroje energie a zbavovat se starých výrazně znečišťujících zdrojů. Je jen otázkou času, než se technologie dostanou na takovou úroveň, kdy budou stroje vyrábějící elektrickou energii z obnovitelných zdrojů pracovat s výrazně větší účinností.

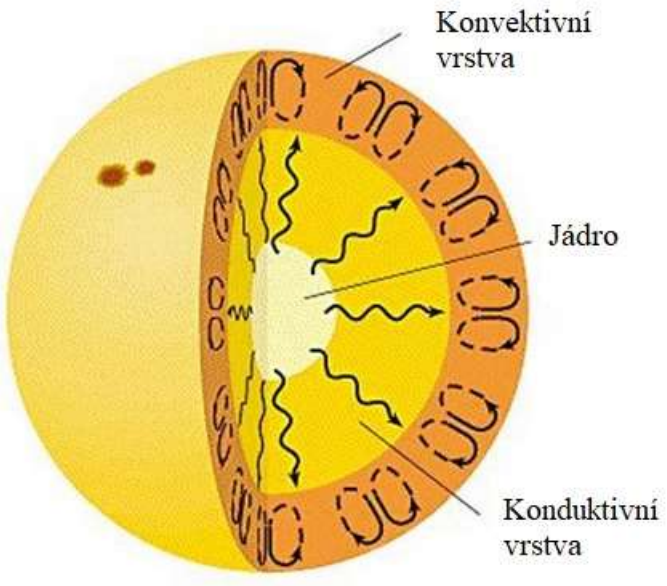
1 Sluneční záření

Tato kapitola vychází z literatury [1],[2]

Fotovoltaické články přeměňují energii záření o určitých vlnových délkách na elektrickou energii. Toto záření se na Zemi dostává ze Slunce. Primárním zdrojem energie této hvězdy je jaderná fúze, kdy se spojují atomy vodíku za vzniku hélia a gamma záření za teploty $1{,}4 \times 10^7$ K. Vzniklé gamma záření se sráží s okolními částic dokud nedosáhne povrchu. Zbylé produkty fúze mají určitou kinetickou energii a stejně jako fotony se srážení s okolní hustou hmotou jádra. Těmito srážkami se mění rychlost i směr elektricky nabitých částic a zrychlení elektrického náboje rovněž způsobuje vznik elektromagnetických vln. Vlivem zmíněných procesů se udržuje vysoká teplota jádra a energie se šíří do dalších vrstev.

Částice, které prošly hustým jádrem se srazí s částicemi následující vrstvy. Zde jsou fotony neustále absorbovány a znovu vyzářeny. Energie fotonů je předávána do dalších vrstev. Tato vrstva vně jádra se nazývá konduktivní vrstva. Energie je předávána do konvektivní vrstvy, ve které se vyskytují vzestupné a sestupné proudy plazmatu. Tyto proudy způsobují tzv.: granulaci na povrchu Slunce. Povrch konvektivní vrstvy tvoří samotný povrch Slunce, který však není pevný a není tedy ani pevně ohraničený

Částice, které se dostanou z jádra k povrchu, tvoří sluneční atmosféru, která se dělí na fotosféru, chronosféru a korónu. Fotosféra má teplotu 5800 K a dochází zde k nejintenzivnějšímu vyzařování do prostoru. Tato teplota byla zjištěna pomocí Stefanův-Boltzmannův zákona. Chronosféra ovlivňuje výsledné emisní spektrum a koróna je vnější atmosférou Slunce.



Obrázek 1: Vnitřní struktura Slunce [6]

Některé fotony, které jsou vyzářeny z povrchu Slunce dopadnou na zemský povrch. Tyto fotony, jelikož se jedná o elektromagnetické vlnění, tak mají určitou energii v závislosti na své vlnové délce. Na zemský povrch dopadá nejvíce záření ve viditelné části spektra, zbytek záření jsou infravlny a ultrafialové záření. Vlnové délky kratší než 290 nm jsou odfiltrovány ozonovou vrstvou při průchodu atmosférou.

Energie některých fotonů procházejících atmosférou je absorbována a nabité částice vyzářené Sluncem, jsou odkloněny magnetosférou Země. Jedná se o nepolarizované vlny, neboť částice, ze kterých byly fotony vyzářily nebyly v prostoru stejně orientovány.

Z čehož vyplývá, že nepolarizované žáření dopadající na povrch Země je vlivem molekul plynů absorbováno, nebo rozptýleno. Výsledná energie dopadající na povrch je menší než 1 kW a spektrum je ochuzeno o některá pásma vlnových délek.

Veškeré sluneční záření dopadající na zemský povrch se nazývá globální záření a zahrnuje záření všech vlnových délek přicházející ze všech směrů. Při praktickém měření intenzity slunečního záření se rozlišuje záření přímé a záření difuzní. Při zatažené obloze je přítomna jen difuzní složka záření.

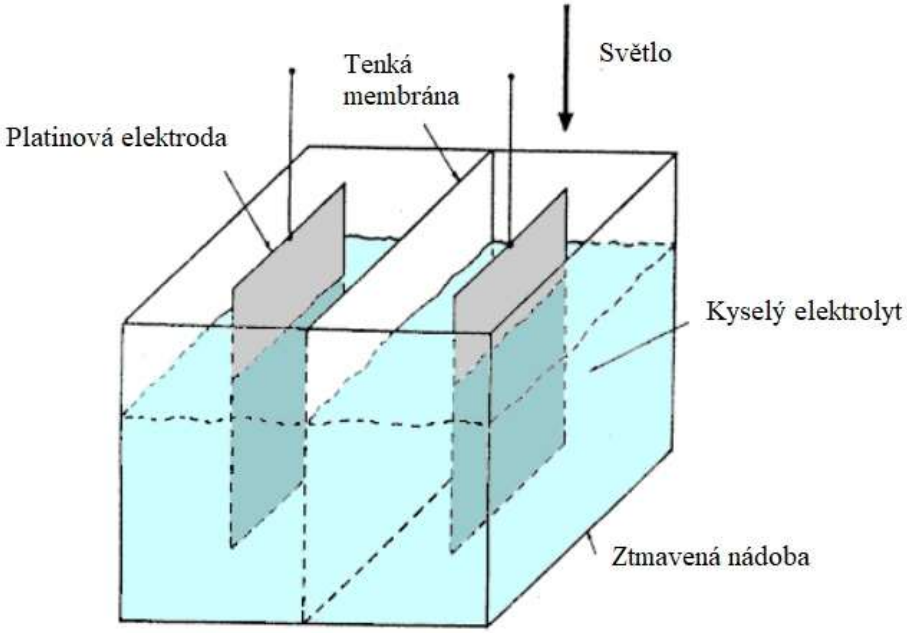
V této podkapitole je popsáno odkud a jak vzniká světlo. S ohledem na atmosféru a magnetosféru na zemský povrch dopadá sluneční záření, převážně v oblasti viditelného spektra. V další podkapitole bude popsáno, jak vznikly první fotovoltaické články, které tuto energii záření byly schopné přeměnit na elektrickou energii.

1.1 Stručná historie fotovoltaických článků

Tato kapitola vychází z literatury [1],[3].

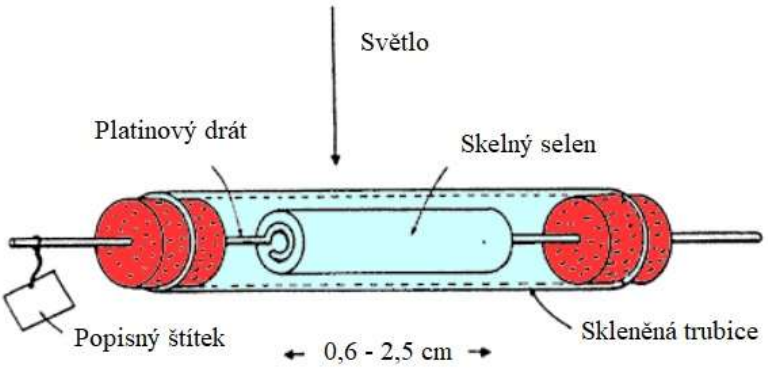
V této kapitole bude stručně popsána historie vzniku fotovoltaických článků a závěrů z historických experimentů.

V roce 1839 Alexandr Edmond Becquerel při svých experimentech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu zjistil, že při jejich osvětlení začne procházet malý proud. Nejlepších výsledků soustava dosahovala při osvělení elektrod potažených fotocitlivými látkami (AgCl nebo AgBr) modrým nebo ultrafialovým světlem. Přestože nejčastěji používal platinové elektrody, zpozoroval reakci i u stříbrných elektrod. Úkolem daného experimentu nebylo zjistit citlivost soustavy na světlo, na tento jev Becquerel objevil náhodou.



Obrázek 2: Konstrukce aparatury experimentu A.E.Becquerela [3]

Další významný postup ve vývoji se objevil se zájmem fotovodivého efektu v selenu. V průběhu zkoumání tohoto efektu, Adams a Day v roce 1877 objevili anomálii, o které si mysleli, že ji lze popsat vznikem vnitřního napětí v selenu. Zkoumali tuto anomálii podrobněji s použitím vzorků na obrázku. Žhavené platinové kontakty byly tlačeny k protějším koncům malých válců skelného selenu. Úkolem experimentu provedeného Adamsem a Dayem na daných vzorcích bylo zjištění, je-li možné vyvolat elektrický proud samotnou interakcí se světlem.

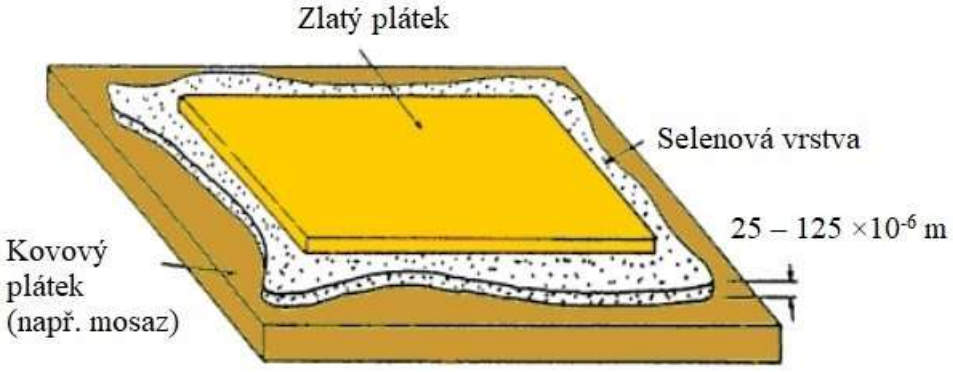


Obrázek 3: Konstukce aparatury exprimentu Adams a Day [3]

Chtěného výsledku daného experimentu se jim podařilo dosáhnout. Byla to první ukázka fotovoltaického efektu v systému pevné fáze. Trvalo však ještě několik desetiletí, než vývoj fyziky dovolil popsání tohoto efektu.

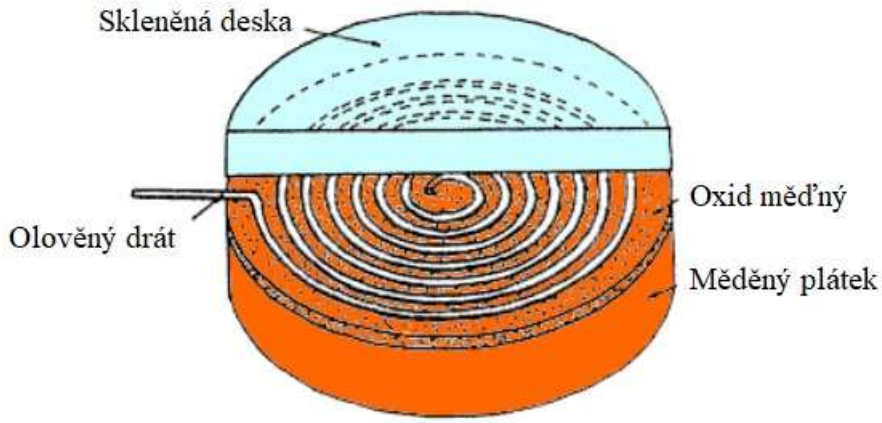
Další významný krok učinil roku 1883 Charles Fritts. Stlačením roztaveného selenu mezi dvěma různými kovy se mu podařilo vytvořit tenké filmy selenu. Tímto procesem vytvořil první fotovoltaické zařízení. Jeho články měly plochu 30 cm^2 a účinnost kolem 1 % a bylo možné je vyrábět hromadně. Jako první odhadl, jak velký využitelný potenciál toto zařízení má

Ke komerční výrobě a praktickému využití však nedošlo, účinnost totiž byla stále příliš nízká.



Obrázek 4: Tenký selenový film představený Frittsem v roce 1883 [3]

V průběhu zkoumání fotovodivého efektu ve vrstvách oxidu měďného vytvořeného na mědi, objevil usměrnění na hranici spojení. Tento objev vedl k vývoji velkoplošných usměrňovačů, které následovali velkoplošné fotobuňky. Grondahl popisuje vývoj jak usměrňovačů, tak fotovoltaických buněk typu měď-oxid měďný. Proud se na těchto článcích odváděl spirálou z olověného drátu a později kovovou mřížkou vytvořenou napařením. Tato technologie byla levná a materiály byly dostupné, avšak účinnost byla nedostačující.



Obrázek 5: Rané Grondahl – Geiger měď-oxid měďné fotovoltaické buňky [3]

Vývoj fotovoltaických článků byl primárně omezován neobjasněnými principy a omezení přeměny světelné energie na elektrickou. Významným krokem k byla příprava monokrystalů křemíku, kterou vyvinul Jan Czochralski.

Křemíkový fotovoltaický článek patentoval Russell S. Ohl v roce 1946 v USA. Fotovoltaické články z křemíku dopovaného jiným prvkem a s účinností 6 % vyrobil v Bellových laboratořích v roce 1954. Dosažená účinnost byla dostatečně velká pro praktické využití, cena ovšem příliš velká. Souvisela s náročností na výrobu čistého křemíku potřebného k výrobě článků.

Významným impulzem pro rozvoj bylo využití fotovoltaických článků jako zdroje energie na umělých družicích po roce 1957. Solární fotovoltaické články se začaly využívat až v sedmdesátých letech, kdy jejich cena klesla.

Větší využití fotovoltaických článků nastalo až po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se hledaly cesty, jak omezit závislost na ropě. Velkou roli hrálo i velké rozšíření křemíkových polovodičových součástek, a tedy i levnější výroba křemíku.

Další výzkum a vývoj článků bude popsán v následujících kapitolách.

2 Fyzikální princip polovodičového fotovoltaického článku

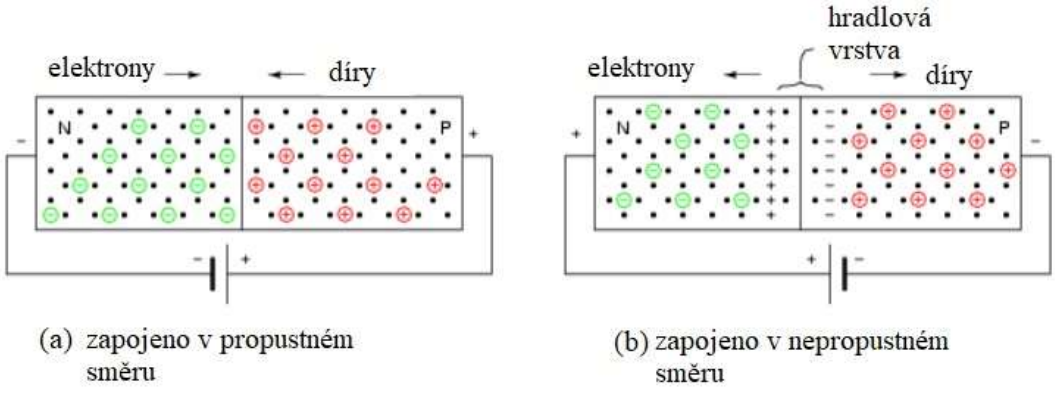
Tato kapitola vychází z litaratury [1].

V této kapitole bude popsán princip fungování fotovoltaických článků. K těmto skutečnostem se dospělo z různých výzkumů a prací. Nebude zde rozvíjeno téma tepelných fotovoltaických elektráren, neboť tato problematika není relevantní k hlavní, praktické části této bakalářské práce.

K přeměně energie světelného záření na energii elektrického proudu potřebujeme volné elektrony a elektrické pole, které tyto volné elektrony uvede do pohybu směrem ze zdroje ke spotřebiči. Volné elektrony lze nalézt v každém kovu, problematika spočívá v dodání energie, tedy v uvedení do pohybu a usměrnění toku elektricky nabitých částic.

Záření, které chceme přeměnit má duální korpuskulární charakter, za některých podmínek se chová jako proud částic, nebo elektromagnetické vlnění. Tyto fotony jsou schopné předat svou energii elektronu v kovu, nebo v polovodiči. Pokud je energie záření dostatečná, pak se elektron uvolní z krystalické přížky a na jeho původním místě vznikne kladně nabitá díra. Je to pouze místo s chybějícím záporným nábojem, aby byla vazba ve výsledku elektricky neutrální. Jedná se o vnitřní fotoelektrický jev. Pokud elektrom zůstane v kovu, pak je přitažen kladným nábojem díry a nastává rekombince (sloučení kladně nabité díry a záporně nabitého elektronu za vzniku elektricky neutrální vazby). V takovém případě chceme odloučit elektron od díry, aby předal energii získanou světelným zářením.

Toto oddělení lze lépe realizovat v polovodičích než v kovech. Polovodiče jsou látky, jejichž elektrony jsou vázané, lze je ovšem uvolnit z vazeb dodáním energie, ať už tepelné, nebo světelné. K oddělení elektronů od děr je potřeba PN přechod. Ten lze vytvořit spojením křemíku dopovaného fosforem a křemíku dopovaného borem. Fosfor má 5 valenčních elektronů, v dopovaném křemíku díky tomu bude více elektronů než v čistém křemíku. Vznikne tak polovodič typu N. U křemíku dopovaného borem, který má 3 valenční elektrony, bude naopak nadbytek děr, a vznine tak polovodič typu P. V místě spojení (spojení těsným dotykem) vznikne PN přechod, kde se nabité částice rekombinují, aby mohly vyrovnat koncentrace nábojů. Výsledkem procesu je výrazné snížení vodivosti a vzniku elektrického potenciálu, který nedovolí difuzi dalších nabitých částic, tato oblast se nazývá hradlová vrstva. Této vlastnosti se využívá v usměrňovacích diodách. Tyto součástky jsou schopné propouštět elektrický proud pouze pokud zapojíme kladný pól zdroje na stranu P a záporný pól zdroje na stranu N.



Obrázek 6: P-N přechod [7]

Vlastní fotovoltaický článek funguje jako velkoplošná dioda, která je tvořena PN přechodem vytvořeným v malé hloubce pod povrchem tenkého plátku křemíku, opatřená z obou stran vhodnými kovovými kontakty. Při dopadu světelného záření se generují volné elektrony a díry, které jsou následně odděleny elektrickým polem PN přechodu. Elektrony jsou poslány do vrstvy typu N, která se stane záporným pólem článku. Díry jsou poslány elektrickým polem PN přechodu na opačnou strany, do vrstvy typu P, která tvoří kladný pól článku.

Napětí článku je dáno použitým polovodičem. V případě křemíku je při optimálním proudu a maximálním výkonu přibližně 0,5 V. Proto je nutné spojovat řadu článků do série, aby se získalo prakticky využitelné napětí, zpravidla se používají moduly s 36, nebo 72 články, které dávají 18, nebo 36 V.

Fotovoltaické články na bázi křemíku jsou schopné využít fotony, jejichž energie je větší než 1,1 eV. Tato energie představuje hodnotu větší, než je rozdíl energie mezi valenčním a vodivostním pásem u použitého polovodiče.

Vlnová délka odpovídající energii 1,1 eV je menší než 1100 nm, atmosférou procházejících záření s energií od 0,5 eV pro infračervené záření až po 2,9 eV pro ultrafialové záření. Z tohoto důvodu se proto využívají převážně křemíkové fotovoltaické články, jelikož je křemík schopen využít velký interval hodnot energií dopadajího slunečního záření.

Každý foton uvolní jen jeden elektron, ovšem přebytečná energie fotonů s kratší vlnovou délkou se přemění na teplo. V důsledku nelze principielně dosáhnout s takovýmito články účinnost větší než přibližně 55 %. V praxi jsou však ztráty mnohem podstatnější a dosažená účinnost je mezi 10 % a 20 %.

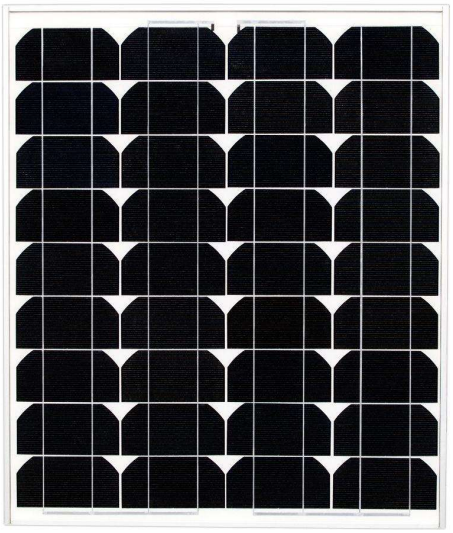
2.1 Jednotlivé generace článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

V průběhu vývoje se našly vhodné konstukce fotovoltaických článků k praktickému využití. V této kapitole budou popsány jednotlivé generace článků, které jsou a byly používány, nebo jsou nyní ve stavu vývoje.

První generace

Jedná se o fotovoltaické články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je vytvořen velkoplošný PN přechod. Tento typ se vyznačuje dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu a v současné době je to stále ještě nejpoužívanější typ fotovoltaických článků. Nevýhodou je relativně velká spotřeba velmi čistého křemíku a poměrně velká náročnost výroby.



Obrázek 7: Monokrystalický křemíkový panel [8]

Druhá generace
Je charakterizována snahou snížit množství potřebného křemíku a zlevnit výrobu použitím tenkovrstvých článků. Nejběžnější jsou články z polykrystalického, mikrokrystalického, nebo amorfního křemíku. Jejich hlavní nevýhodou je znatelné nižší účinnost a menší stabilita. Začínají se používat i jiné materiály než křemík. V poslední době se tenkovrstvé články prosazují hlavně v takových aplikacích, kde je požadována pružnost a ohebnost. Existují například fotovoltaické fólie, které také vyrábí elektřinu.

Obrázek 8: Polykrystalický křemíkový panel [9]

Třetí generace
Sestává ze systémů, které používají k separaci nabitých částic jiné metody než PN přechod a často i jiné materiály než polovodiče. Jsou to například fotoelektrochemické články, polymerní články složené z polymeru s konjugovanými dvojnými vazbami a molekul fulerenu. Začínají se uplatňovat nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek, popřípadě struktury vytvořené nanesením kvantových teček na vhodnou podložku. Výhodou těchto struktur je možnost cíleně ovlivňovat optické a elektrické vlastnosti. Zatím se takové články v praxi téměř neuplatňují kvůli malé účinnosti, stabilitě a životnosti. Nejblíže jsou komerčnímu využití fotovoltaické moduly založené na organických polymerech.

Čtvrtá generace
Představuje kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články schopné efektivně využívat širší část světelného spektra. Toto je způsobeno tím, že každá vrstva článku využívá jiný rozsah vlnových délek a ty, které nevyužije, pustí do dalších vrstev.

2.2 Komerčně používané fotovoltaické články

Tato kapitola vychází z literatury [1].

V této kapitole budou přiblíženy komerčně používány fotovoltaické články a jejich výroba, neboť se v praktické části této bakalářské práce bude posuzovat vhodný typ pro splnění energetických nároků zvoleného rodinného domu.

Většina komerčně dostupných fotovoltaických článků se vyrábí z křemíku. Vysoká cena tohoto materiálu je převážně dána požadavkem na velkou čistotu, avšak nejčistší křemík se používá k výrobě mikroelektroniky. Dříve se pro výrobu článků používal křemík, jehož čistota nevyhovovala požadavkům k výrobě elektroniky.

Obrázek 9: Křemík [18]

Výchozím materiálem pro výrobu křemíku je oxid křemičitý (křemen, křemenitý písek). Prvním stupněm výroby je redukce oxidu uhlíkem v elektrické obloukové peci. Tímto způsobem lze získat křemík o čistotě 98 – 99 %. V dalším stupni výroby se křemík převede na těkavou sloučeninu, kterou lze dobře vyčistit destilací. Z této sloučeniny se křemík opět získá rozkladem za vysoké teploty na elektrickým proudem zahřívaném povrchu křemíkové tyče o průměru 8 mm, která v průběhu procesu naroste na podstatně větší průměr díky vyloučenému křemíku. Tento postup vede k vytvoření ingotů z polykrystalického křemíku o čistotě přibližně 99,999 %. Křemík přirozeně obsahuje malé množství boru, který lze jen obtížně odstranit. Tato nečistota způsobuje vodivost typu P.

2.3 Výroba křemíkových monokrystalických článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

Nejprve popíšeme monokrystalické křemíkové články a jejich výrobu. Základní a nejstarší typ článků, kde rozměr krystalu činí přibližně 10 cm. Vyrábí se z ingotů polykrystalického křemíku nejčastěji Czochralského metodou, kdy se tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Ingoty se rozřežou speciální drátovou pilou na tenké plátky silné 0,25 až 0,35 mm, v současnosti lze vyrobit plátky o tloušťce 0,1 mm. Plátky se zarovnají na rovnoměrnou tloušťku, vyleští a na povrchu odleptají, aby se odstranily nedokonalosti. PN přechod se na destičkách vytvoří přídavkem fosforu, který utvoří na povrchu vrstu s vodivostí typu N.

Jedná se o poměrně energeticky a technicky náročný proces, proto se hledaly další způsoby výroby. Jednou z možností je z taveniny procesem tažení získat tenký monokrystalický pásek, který se dá rozřezat na články mnohem snadněji. Navíc ze stejného množství lze vyrobit dvojnásobnou plochu fotovoltaických článků. Nevýhodou totoho procesu je výsledná nižší účinnost článků, než u výroby Czochralského metodou.

Obrázek 10: Křemíkové ingoty [17]

2.3.1 Výroba křemíkových polykrystalických článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

V současné době jde o nejběžnější typ fotovoltaických článků. Vyrábějí se odléváním čistého křemíku do vhodných forem a následným řezáním vzniklých ingotů na tenké plátky. Odlévání je podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu a lze také připravit bloky s různými průřezy. Takto vyrobené články mají horší elektrické vlastnosti, protože na styku jednotlivých krystalových zrn je větší odpor. Zásadní výhodou je nižší cena výchozí suroviny a lze ji vyrábět ve větších rozměrech a požadovaných tvarech.

2.3.2 Výroba křemíkových amorfních článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

Výhodou amorfních článků je nižší spotřeba materiálu a levnější výroba. Proces výroby je založen na rozkladu vhodných sloučenin křemíku, silanu a dichlorsilanu ve vodíkové atmosféře. Tímto způsobem lze připravit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, nerezové nebo polyamidové podložce, z čehož se nadále mohou tvořit ohebné články a moduly, použitelné jako krycí fólie na střechy, nebo jako nášivky na oblečení. Nanesená vrstva křemíku je amorfní a obsahuje určité množství vodíku.

Vlivem větší absorbce slunečního záření může kvůli tomuto faktoru být podstatně tenčí. Tento materiál má ovšem oproti krystalickému křemíku méně pravidelnou strukturu s velkým množstvím poruch. Některé atomy křemíku nemají kolem sebe potřebné množství okolních atomů, se kterými by mohly vytvořit vazby. Na těchto místech může docházet k rekombinaci nábojů, vedoucí ke snížení proudu a účinnosti. Částečně je tento problém odstraněn navázáním vodíku na tyto volné vazby.

Dalším podstatným problémem bývá stabilita článků, která je zčásti způsobená navázaným vodíkem, neboť povrch vystavený působení vzdušného kyslíku prochází oxidací. Výkon těchto článků proto zpočátku klesá a teprve časem se ustálí přibližně na 80 % původní hodnoty.

U tohoto typu článků je také poněkud modifikovaný PN přechod, kdy velmi tenká horní vrstva zachytí jen málo fotonů, pod ní je další tenká vrstva, která není dopovaná. V této nižší vrstvě dochází k pohlcení většiny dopadjícího světelného záření a vytvoření volných elektronů a děr. Elektrické pole PN přechodu zasahuje přes vrstvu, ve které se uvolňují elektrony a díry, pročež dochází k jejich okamžité separaci, čímž se snižuje možnost jejich rekombinace. Účinnost tohoto článku je kolem 7 %. Vetší účinnosti až 13 %, lze dosáhnou vytvořením vícevrstvé struktury.

2.4 Nové trendy a směry vývoje fotovoltaických článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

Jelikož stále probíhá vývoj nových fotovoltaických článků, je důležité si přiblížit tyto nové technologie, neboť mohou za několik let nahradit „klasické“ křemíkové fotovoltaické články. V praktické části této práce bude nutné zhodnotit vhodný fotovoltaický článek pro dané použití. Některé z těchto nových technologií je již možné zakoupit na trhu. Z čehož vyplývá otázka, zda by se vyplatilo investovat do nové generace článků, nebo zvolit osvědčené křemíkové fotovoltaické články, které by dostačně pokrývaly spotřebu zvoleného domu.

Jednou z těchto nových technologií je článek na bázi galiumarsenidu. Jde o tenkovrstvé články, které lze vyrobit s odlišnými vlastnostmi, a tak optimálně přizpůsobit potřebám. Lze měnit poměr Ga/As a použít různé dopovací prvky (Al, P, Sb, In). Mají vysokou absorpci záření, jsou méně citlivé na vyšší teploty než křemíkové články, proto se používají s soustavách s koncentrátory záření. Kvůli této vlastnosti dosahují vyšších účinností. Cena takového článku by byla vysoká kvůli úrovni bezpečnosti, která musí být splněna, neboť arsen je jedovatý prvek a prvek galium je poměrně vzácný prvek.

Mezi další nové technologie patří články na bázích:

Diselenidu mědi a india
Vyznačují se velkou pohltivostí zážení, a proto mohou být velmi tenké. Dosahují velké účinnosti, v laboratoři až 18 %.

Telurid kadmia
Tento materiál má téměř ideální vzdálenost valenčního a vodivostního pásu a velkou pohltivost pro sluneční záření, za běžných podmínek, však není lepší než křemíkový článek.

Články využívající organické látky
Jejich vývoj je zaměřen na nízkou cenu, pružnost a ohebnost článků. Jeden typ těchto článků jsou fotogalvanické články s organickým barvivem. Tento článek se skládá z vysoce jemného oxidu titaničitého, v němž je nasáknut vodný roztok elektrolytu obsahující redoxní dvojici (jód/jodid) a vhodné barvivo, jedná se o organický komplex ruthenia. Barvivo zachycením fotonu vytvoří excitovaný stav a elektron je přenesen na oxid titaničitý. Elektron projde skrze strukturu oxidu na průhlednou elektrodu a je odveden do vnějšího obvodu.

Obvod je uzavřen tak, že na druhé elektrodě je elektron vstupující z vnějšího obvodu přenesen na redoxní dvojici, kde se vytvoří trijodidový aniont a redukuje oxidovanou formu barviva, která je tímto způsobem připraveno na přijetí dalšího fotonu.

Výhodou tohoto typu článků jsou menší nároky na čistotu použitých materiálů. Zásadní nevýhodou jsou potíže s kapalným, korozivním elektrolytem, který musí být dokonale uzavřen. Potíže nastávají také se stabilitou barviva, které se vlivem slunečního záření může začít rozkládat. Dosažená účinnost tohoto typu článků má hodnotu 7,3 %.

Vývojem procházejí také technologie fotovoltaických článků vyrobených z nanostruktur. V takovýchto strukturách lze uplatnit efekt, díky kterému se umožní vytvořit potřebnou velikost zakázaného pásma. Účinnost je stále ještě příliš nízká, kolem 3 %.

Fotovoltaické články z vodivých polymerů
Analogie článků s PN přechodem, kde ve směsi vodivých polymerních molekul, z nichž jeden má vlastnosti příjmače elektronů a druhý vlastnosti dárce elektronů. Pohlcením fotonu dojde ke vzniku vázaného páru elektron – díra a za určitých podmínek dojde k přenosu náboje na molekulu příjemce. Jelikož je pohyblivost elektronů v organických systémech horší než v anorganických polovodičích, kvůli čemuž mají tyto články malou účinnost.

Ve vývoji vyvstala také myšlenka vícepřechodových struktur, kdy se vytvoří spojení několika p-n přechodů. Každý z těchto přechodů má jinou šíři zakázaného pásma, pročež je takový článek schopen využít větší množství energie dopadnutého fotonu, popřípadě fotony s větší nebo menší energií. Pokud je šíře zakázaného pásma malá, lze využí širší části spektra, kdy všechny fotony jsou schopné excitovat elektron v polovidiči, avšak s malým výsledným napětím a malou účinností. Pokud je šíře tohoto pásma větší, pak je i vyšší fotovoltaické napětí článku, ale nevyužijí se všechny fotony, které projdou článkem. Existuje tedy optimální šíře zakázaného pásma, při níž je účinnost článku maximální. Monokrystalické křemíkové články jsou velmi blízko tohoto optima.

Jestliže se vytvoří vícevrstvá struktura, jejíž každá část je optimalizována pro určitou část spektra, pak je možné dosáhnout výrazně lepšího využití energie dopadajících fotonů. Tato struktura sice redukuje proud, nicméně je to vykompenzováno zvýšeným napětím článku. Výhodou těchto struktur je lepší využití energie světelného záření, z čehož vyplývá vyšší dosažená účinnost.

V praxi se využívá vrstevnatá struktura, kde vrchní vrstvu tvoří polovodič zachycující fotony s vyšší energií a propouští tak fotony s nižší energií do dalších vrstev. Jako materiály pro jednotlivé vrstvy se používají intermetalické sloučeniny prvků III. a V. skupiny. Složení může definovat šíři zakázaného pásma tak, aby celá struktura optimálně využila většinu energie dopadajícího záření.

Tyto struktury jsou výrazně dražší než klasické křemíkové články, a proto se často používají ve spojení s vhodným koncentrátorem, který umožní snížit plochu článků, čímž zlepší poměr výkonu vyrobené elektrické energie ku ceně.

3 Elektrické vlastnosti fotovoltaických článků

Tato kapitola vychází z literatury [1].

V přechozích kapitolách byl popsán princip přeměny energie záření na energii elektrickou. Dále byl popsán způsob výroby a typy článků jak využívaných v praxi, tak typy, které jsou ještě ve vývoji.

Každý článek funguje na stejném principu, ale podle použitých materiálů a způsobu výroby mají různé elektrické vlastnosti jako napětí, proud a odpor. Popřípadě jejich vlastnosti jsou ovlivňovány prostředím, ve kterém daný fotovoltaický článek pracuje. Tato problematika bude nyní přiblížena, neboť je stěžejní pro praktickou část této práce.

U fotovoltaických článků je napětí naprázdno (I = 0 A) dáno především použitým polovodičem. Proud nakrátko (U = 0 V) je dán intenzitou dopadajícího slunečního záření. Článek se při konstantní intenzitě záření chová jako zdroj konstatního proudu, jehož intenzita je limitována počtem fotonů dopadajících za jednotku času.

Chování článků je popsáno volt-ampérovou charakteristikou, avšak elektrický proud dodávaný článkem závisí také na účinnosti přeměny. Rekombinaci nabitých částic napomáhá vnitřní odpor článku, neboť snižuje výsledné napětí. Ovšem na přeměnu energií mají také vnější podmínky, především teplota.

V praxi je nejdůležitejší výkon, z volt-ampérové charakteristiky konkrétního článku, bude vyplývat, že při daných podmínkách existují hodnoty proudu a napětí, pro které nabývá výkon článku maximální hodnoty. Proto je snaha provozovat články v tomto optimálním bodu. Moderní měniče MPPT (Maximum power point tracker) dokáží pracovat v režimu, kdy v každém okamžiku zatěžují fotovoltaický modul tak, aby byl jeho výkon maximální.

3.1 Solární fotovoltaické panely a zvyšování jejich účinnosti

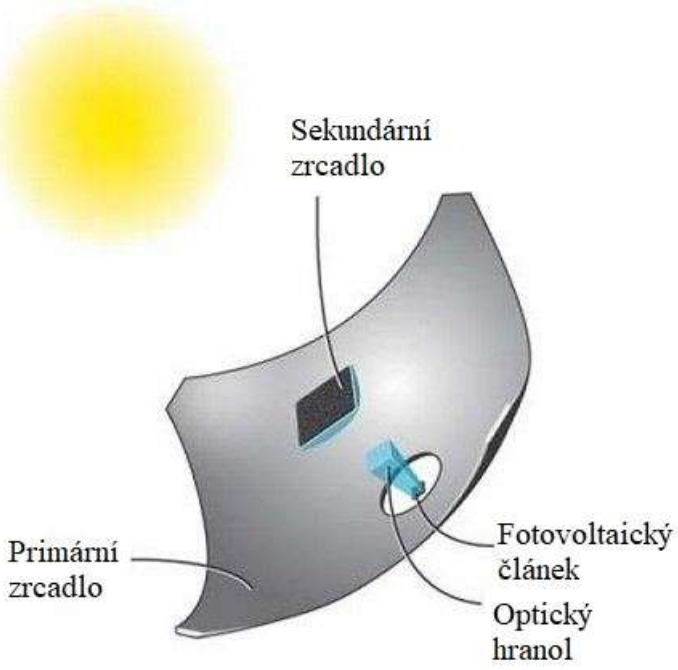
Tato kapitola vychází z literatury [1],[2].

Fotovoltaický panel (modul) je tvořen do série zapojených článků, které jsou kryty vrstvou kaleného skla, které v kombinaci s hliníkovým rámem zajišťuje dostatečnou pevnost a mechanickou odolnost. Požívá se sklo se sníženým obsahem železa, díky čemuž lépe propouští světlo v červené a infračervené oblasti spektra. Tato vrstva je také potažena antireflexní vrstvou, která snižuje odrazivost a zvyšuje účinnost.

Významné zvýšení produkce elektrické energie v průběhu dne umožňují panely namontované na pohyblivém stojanu, který sleduje pohyb Slunce a udržuje kolmý dopad záření. Tyto panely mohou být vybaveny také druhou odrazovou plochou, která je umístěna na opačné straně oproti směru dopadajícího záření.

Další komponentou jsou koncentrátory, které jsou schopné soustředit záření z velké plochy na malou plochu článku. Použití koncentrátoru je výhodné kvůli jeho nízké ceně oproti ceně solárního modulu. Ovšem mají i nezanedbatelné nevýhody.

Základní nevýhodou je snížení úhlového rozsahu, z něhož je koncentrátor schopen zachytit dopadající záření. Na běžný fotovoltaický modul může přímé záření dopadat pod úhlem 0° až téměř do 90° od kolmice a stále je alespoň část záření zachycena a využita. Pokud jsou na tomto panelu umístěny koncentrátory, pak se rozsah úhlů sníží úměrně s koncentrací záření, které je k dispozici při velké oblačnosti. Jestliže jsou tendence k dosažení větší koncentrace záření, je zapotřebí přesného sledování pohybu slunce po obloze.



Obrázek 11: Koncentrátor [19]

V našich klimatických podmínkách je relativně velká část dopadajícího zážení ve formě difuzního záření. Koncentrátory lze využívat v místech, kde je dopad záření větší než 1700 kWh z metru čtverečního za rok a dopadající záření je převážně ve formě přímého zážení.

Mezi nedostatky těchto zařízení patří jejich velikost. Přesto se v současné době objevují panely s mikrokoncentrátory, které jsou tvořeny Fresnelovými čočkami, jejichž výroba je snazší než výroba zrcadel pro koncentrátory. Tyto součástky stále mají nedostatky spojené s optickými zrátami, kdy se zaření pohltí neho rozptýlí. Tyto zařízení mají problémy s rovnoměrností ozáření, nízkou životností a jako každý fotovoltaický článek také se zahříváním.

Používají se různé koncentrátory s rovinnými, nebo parabolickými zrcadly. Tyto panely potřebují neustále sledovat pohyby slunce, aby se udrželo dostatečně rozložené záření.

4 Pomocná zařízení a komponenty fotovoltaických systémů

Tato kapitola vychází z literatury [1],[2].

Již jsou popsány principy přeměny světelné energie na elektrickou, typy článků a jejich výroba. Byla zmíněna různá zařízení, kterými lze zvýšit účinnost fotovoltaických instalací. Jsou však zapotřebí i jiné komponenty, díky kterým bude možné dané instalace prakticky využít, neboť tyto systémy jsou velmi nestabilním zdrojem elektrické energie pod vlivem změn počasí. Aby bylo možné tuto přeměněnou energii stabilně využívat lze připojit k dané instalaci například soustavu akumulátorů.

Tato soustava se bude průběžně nabíjet, když se „vyrobená“ energie nebude využívat, aby se buď poslala do elektrické sítě, nebo v případě, kdy by panel nebyl připojen k síti, se nepromrhala jako tepelná ztráta.

Další zařízení, které lze připojit jsou invertory, transformátory, měniče; odpojovače zátěže; pojistná zařízení; měřící zařízení; náhradní zdroje.

4.1 Akumulace

Tato kapitola vychází z literatury [1],[2].

Systémy s akumulací jsou znatelně dražší než systémy dodávající proud do sítě. Samotné akumulátory tvoří 40 – 60 % celkové ceny instalace. Jelikož jejich životnost je menší než životnost panelů, bývá investice do akumulátorů větší než na dané panely.

Typy akumulátorů a jejich popisy:

Olověné akumulátory
Tyto akumulátory jsou jiné než ty, které se používají v automobilech (startovací akumulátory), jsou uzpůsobeny k hlubokému vybíjení a mají nízké samovybíjení. Technologie tohoto typu akumulátorů je velmi dobře zvládnuta, proto již nelze očekávat další pokroky.

Alkalické akumulátory
Mezi tyto patří nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metalhydridové (NiMH) a nikl-ocelové (Ni-Fe). Jejich výhodou je delší životnost, dobře snášejí dlouhodobé vybití. Nevýhodou je však „paměťový efekt“, kdy se sníží kapacita, pokud se občas zcela nevybijí. Samovybíjení je také vyšší, uvádí se, že prvních 10 – 20 dní je ztráta náboje 1-2 % za den. Účinnost je vyšší než u olověných akumulátorů. Ni-Cd akumulátory mají měnší napětí, proto je potřeba více článků k dosažení potřebného napětí. Kadmium je navíc řazeno jako nebezpečný odpad. Ni-Fe se nepoužívají kvůli malé účinnosti.

Lithium-iontové baterie
Akumulátory, které v současné době používají ve spotřební elektronice. Pro využití s fotovoltaickými panely jsou však neúměrně drahé. Výhodou těchto akumulátorů je malá hmotnost, přibližně 20 % hmotnosti běžné bezúdržbové olověné baterie. Dále poskytují relativně velké napětí (přibližně 3 V), mají zanedbatelné samovybíjení a netrpí „paměťovým efektem“. Ovšem velkou nevýhodou je relativně krátká životnost a postupná ztráta kapacity s časem bez ohledu, zda je baterie používána, nebo ne. Tyto baterie musí mít jištění proti přílinému vybití, které je dokáže spolehlivě zničit. Tyto akumulátory jsou také citlivé na přebíjení a zvýšené teploty.

Obrázek 12: Li-Ion Bateriový sytéml [13]

Superkondenzátory
V tomto typu akumulace neprobíhá chemická reakce, ale energie je uložena ve formě elektrostatického pole. Kondenzátory mohou mít malý vnitřní odpor, dlouhou životnost, vysokou účinnost a velmi velký vybíjecí proud. Zatím se používají pro krátkodobé uskladnění energie. Lze použít k vyrovnání výkonu dodávaného do sítě.

Další možnosti uskladnění energie
Mimo akumulátory je zde možnost využít mechanické energie setrvačníku nebo tlakové energie stlačeného vzduchu, popřípadě ve formě tepla vody. Další možností je elektrolyticky produkovat vodík a využít jej v palivových článcích, tento způsob akulace je však příliš nákladný. Elektrická energie uložená ve formě tepla vody se již nelze využít nazpět jako elektrická energie, tuto metodu lze použít v případěch, kdy je snaha ušetřit za plyn na ohřev vody.

4.2 Měniče

Tato kapitola vychází z literatury [1],[2],[4],[5].

Nedílnou součástí fotovoltaických systémů zapojených v síti jsou měniče (invertory). Tyto zařízení mění stejnosměrný proud s určitou hodnotou napětí „vyrobený“ fotovoltaickými panely na střídavý proud o požadovaném napětí a frekvenci, které je shodné s napětím v síti. Nejvýhodnější a tedy nejdražší jsou měniče se sinusovým průběhem výstupního napětí. V síti jsou nepřijatelné obdelníkové nebo lichoběžníkové průběhy napětí. Na dodávku proudu do sítě jsou kladeny relativně velké požadavky z hlediska časového průběhu napětí, obsahu vyšších harmonických frekvencí a dalších vlastností.

Je také potřeba měřit získané množství energie vhodnými přístroji, pokud je fotovoltaický systém instalován v domě je nutné použít dva elektroměry: jeden měří elektrickou energii nabytou fotovoltaickým panelem a druhý měří elektrickou energii dodávanou do domu.

V případě, kdy nastane období s nedostatkem slunečního svitu a objekt není připojen k síti je zapotřebí záložního zdroje. Je možné použít agregát na benzín, nebo naftu, popřípadě využití Stirlingova motoru, který vyrábí elektřinu a teplo. Tyto alternativy lze využít v případě, že akumulační systém není schopen pokrýt spotřebu tepla a elektrické energie daného objektu.

Dále jsou měniče schopné minimalizovat vliv stínu na panelech. V takovýchto případech jsou panely zastíněny úplně, nebo jen částečně, kdy daná část neprodukuje žádné napětí a tedy se stává odporem pro procházející proud z jiných panelů zapojených v systému. Tyto systémové součásti se pouze zahřívají a maří „vyrobenou“ elektrickou energii. Vliv stínu lze také minimalizovat paralelním zapojením modulů (panelů), zatímco při seriovém zapojení fungují závisle na sobě a výsledné odpory zastíněných článků se sčítají.

Stejným způsobem se projevují poškozené fotovoltaické panely, kdy se poškozená část zahřívá procházejícím proudem a omezuje jeho průchod. Jsou možná stejná opatření jako v případě zastínění panelů, jen s rozdílem, že se poškozená část bude zahřívat při dostatečném ozáření potřebném pro jeho jmenovitý výkon.

5 Praktická část bakalářské práce

V této části bude rozepsána spotřeba elektrické energie daného domu spotřebou jednotlivých používaných spotřebičů ve formě modelového průměrného dne daného ročního období. Tyto hodnoty budou stěžejní pro vhodný výběr fotovoltaické instalace.

Dále zde bude přepočítána a porovnána sluneční konstanta s použitelnou hodnotou této veličiny. Vyrobené množství elektrické energie vhodnou instalací bude závislé na ploše střechy, na které byla daná instalace namontována. Budou porovnány dva fotovoltaické systémy, s akumulací a bez akumulace, neboť daný objekt se nachází v oblasti, kde v průběhu roku dopadá velké množství slunečního záření. Graf popisující množství dopadajícího záření bude dále zmíněn v této části bakalářské práce.

5.1 Umístění

Objekt se nachází na jižní Moravě v obci Ratíškovice na souřadnicích 48°55'17.1"N 17°09'40.4"E. Střecha, na které budou umístěny fotovoltaické panely, je situována na jih s odklonem 30° na západ. Vliv orientace vůči světovým stranám bude přepočítán v této části bakalářské práce. Střecha má rozměry 13 m × 8,5 m a není stíněna okolními objekty. Na střeše se nacházejí dvě okna o rozměrech 0,8 m × 1,2 m. Celková použitelná plocha (bez oken) je 108,58 m^2, sklon střechy svírá s rovinou přibližně 45°.

5.2 Spotřeba rodinného domu

Spotřeba daného domu bude rozepsána pro jednotlivá roční období, kdy se mění časové využití některých spotřebičů v závislosti na počasí. V tabulkách budou zapsány hodnoty modelového průměrného dne daného období.

Tabulka 1.: Spotřeba jednotlivých spotřebičů modelového průměrného dne pro jednotlivá období

		Denní spotřeba v průběhu období (Wh/den)				
Spotřebič	Příkon P (W)	E_s pro Období Leden – Únor	E_s pro Období Březen – Duben	E_s pro Období Květen – Srpen	E_s pro Období Září – Říjen	E_s pro Období Listopad – Prosinec
žehlička	2300	38,98	38,98	37,40	38,98	331,36
fén	1800	122,03	0,00	0,00	0,00	0,00
televize		293,15	293,15	293,15	293,15	293,15
mikrovlnná trouba	1200	162,71	137,70	39,02	137,70	162,71
trouba	3000	203,39	203,39	195,12	203,39	203,39
varná deska (4 plotýnky)	5900	11800,00	17700,00	11800,00	17700,00	11800,00
lednice	120	2880,00	2880,00	2880,00	2880,00	2880,00
myčka	2500	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00	5000,00
mrazák		616,44	616,44	616,44	616,44	616,44
odsávač	290	0,00	0,00	290,00	0,00	0,00
šlehač	400	27,12	27,12	27,12	27,12	27,12
kuchyňský robot	350	23,73	41,53	41,53	41,53	23,73
mixér		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
varná konvice	2400	360,00	360,00	960,00	360,00	360,00
topinkovač	400	13,56	67,80	0,00	67,80	13,56
toustovač	700	118,64	23,73	0,00	23,73	118,64
pračka	2700	549,15	549,15	1157,14	549,15	549,15
osvětlení (24 kusů)	288	480,00	384,00	192,00	1152,00	1728,00
bruska	1500	50,85	73,77	48,78	73,77	50,85
vrtačka	1800	45,76	88,52	29,27	118,03	45,76
křovinořez		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
kultivátor trávníku	2500	0,00	81,97	0,00	0,00	0,00
ponorné čerpadlo	2200	0,00	0,00	2200,00	0,00	0,00
čistič – vapka	2200	0,00	0,00	35,77	0,00	0,00
čistič koberců	1800	0,00	0,00	29,27	0,00	0,00
garážová vrata	250	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67
topení	1500	152,54	0,00	0,00	152,54	305,08
sušička		2014,29	2014,29	2014,29	2014,29	2014,29
Celková spotřeba za den (Wh)		24 994,02	28 608,92	27 927,96	29 477,00	24 550,61
Celková spotřeba za období (Wh)		1474646,94	1745143,98	3435139,38	1798097,07	1497587,31
Celková roční spotřeba objektu (Wh)		9950614,70				

Pozn.: Pro spotřebiče, které nemají zapsaný příkon, byla známa roční spotřeba, která byla následně vydělena počtem dní v roce pro získání průměrné denní spotřeby

Vztahy použité pro výpočet hodnot a vysvětlení symbolů v tabulce 1:

$$E_s = P_p \times t,$$

kde E_s je spotřebovaná elektrická energie; P_p je příkon a t je časové využití

pro zjednodušení tabulky byly uvedeny pouze vypočítané hodnoty E_s pro používané spotřebiče za průměrný den v uvedených obdobích.

5.3 Výběr fotovoltaického systému

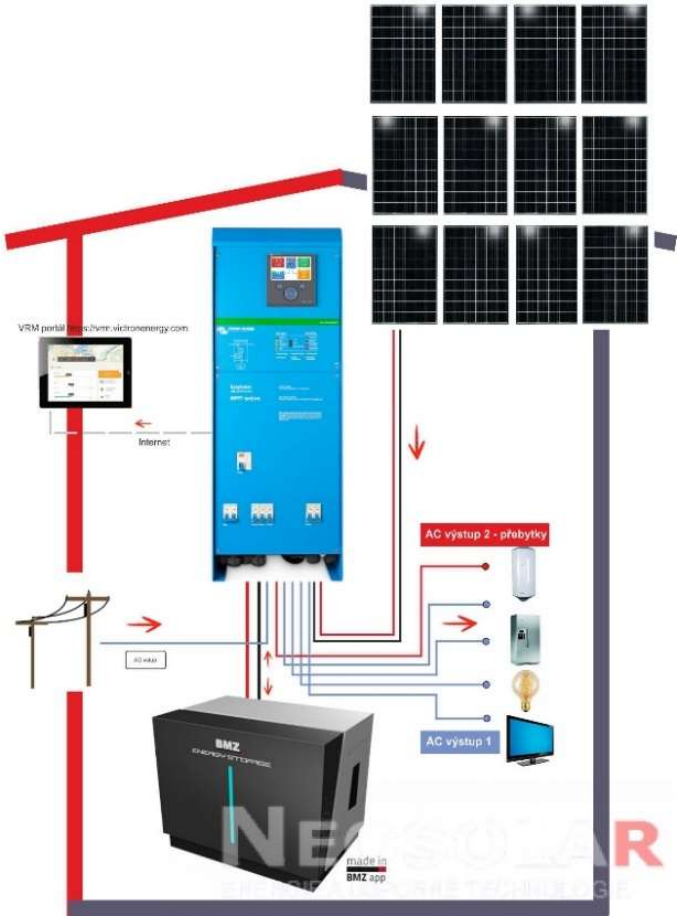
Výber systému záležel na výběru vhodného měniče, který by byl schopný dodávat do sítě objektu dostatečný výkon pro napájení spotřebičů s vetší hodnotou příkonu, byl by schopen dodávat elektrickou energii z rozvodné sítě do objektu v případě nedostatečného množství vyrobené energie fotovoltaickými panely. Dále rozhodujícím faktorem byl instalovaný výkon. Pro systém s větším výkonem než 5 kWp by byla nižší výkupní cena elektřiny a zelené bonusy, které jsou důležité pro zjištení doby návratnosti.

5.3.1 Fotovoltaický systém s akumulací

Tato kapitola vychází ze zdroje [10].

Vybraný systém by měl být schopen naakumulovat dostatek energie pro napájení elektrických spotřebičů objektu. Pro akumulaci byl vybrán systém s akumulací do baterií, neboť elektrická energie má univerzální využití, vždy lze při plně nabitých bateriích tuto energii dodávat do rozvodné sítě, popřípadě ukládat ve formě tepelné energie. V případě akumulace ve formě tepelné energie nelze dodanou tepelnou energii bez vhodných strojů, které by byly ekonomicky nevýhodné pro zvolený objekt, přeměnit zpět na energii elektrickou v případě potřeby.

Seznam komponentů, které sestava obsahuje:	
1 Hybridní solární jednotku EasySolar 5000VA/48V s jištěním a monitoringem	
12 solárních panelů Amerisolar 285Wp	
1 Baterii BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh	
1 pár pojistek pro baterii BMZ	
1 kompletní háková konstrukce pro 12 panelů na šikmou střechu, 3 řady po 4 panelech (hliník, nerez)	
Výkon systému	3,36 kWp
Celková cena	248 100,- Kč



Obrázek 13: Hybridní fotovoltaický systém s akumulací [10]

Popis komponentů:

Hybridní solární jednotka EasySolar 5000VA/48V s jištěním a monitoringem
Tento popis vychází ze zdroje [11].

EasySolar pomáhá k vyšší míře energetické nezávislosti na rozvodné síti v hybridních (přítomna distribuční síť) nebo ostrovních systémech (bez nebo s elektrocentrálou). Slučuje DC/AC měnič s AC/DC nabíječkou, solární MPPT regulátor a barevný řídící/ovládací displej Color Control GX do jednoho kompaktního zařízení. Komponenty jsou vzájemně propojeny silovými a datovými kabely. Jednotka je osazena AC i DC ochranou na vstupech i výstupech. V hybridních systémech automaticky upřednostňuje využívání vyrobené solární energie a energie uložené v baterii před odběry z rozvodné sítě. Je určen pro napájení 230 V AC jednofázových spotřebičů.

Ostatní vlastnosti

- rozsah okolních teplot od - 40 do + 60 °C
- délka záruky 5 let
- hmotnost 48 kg
- vnější rozměry 877 x 328 x 241 mm (výška, šířka, hloubka)

Obrázek 14: Hybridní solární jednotka EasySolar [11]

Solární panel Amerisolar 285Wp
Tento popis vychází ze zdroje [12].

Polykrystalický fotovoltaický modul Amerisolar disponuje vysokou účinností 17,21 %, nízkou degradací a vynikajícím výkonem při vysokých teplotách a špatných světelných podmínkách. Celý panel je upevněn do robustního hliníkového rámu, který zajišťuje, aby moduly vydržely zatížení větrem až do 2400 Pa a zatížení sněhem až 5400 Pa. Dodavatel zaručuje výkon 91,2 % jmenovitého výkonu po dobu 12 let, 80,6 % jmenovitého výkonu do 30 let.

rozměry: 1640 × 992 × 40mm (1,63 m^2, všech 12 panelů má plochu 19,52 m^2)

hmotnost: 18,5 kg

Obrázek 15: Solární panel Amerisolar 285Wp [12]

Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh
Tento popis vychází ze zdroje [13]

Tento modulární bateriový systém může uchovávat přebytky energie získané provozováním fotovoltaického systému za účelem pozdějšího využití. Přebytečná energie tak může být směrovaná do systému skladování a s využitím střídače je dostupná v případě potřeby.

Cena vč. DPH a RP: 102 119,- Kč

TECHNICKÁ SPECIFIKACE

- Vysoká účinnost: 95 %
- Vysoká hloubka vybití: 80 %
- Velká trvanlivost: 5 000 plných cyklů

BEZPEČNOSTNÍ PROSTŘEDKY

- Relé stejnosměrného proudu a chemická pojistka vypnutí akumulátoru
- Hlídání přepětí nebo podpětí každého řetězce článků s odpojením redundantním k hlavnímu odpojovači
- Sledování teploty každého řetězce článků a nadproudová pojistka v každém článku
- Zajištění před pokusem o používání baterie po hlubokém vybití nebo jiné závažné chybě
- Bezpečné paralelní připojení jednotlivých řetězců článků chráněné nadproudovou pojistkou každého článku
- Aktivní řízení proudu jako funkce napětí a teploty článků (derating)
- Uzavřený kovový plášť

Váha: 95 kg
Rozměry: 638 × 421 × 487 mm
Složení článků: Li-Ion LiNiMnCo (NMC)

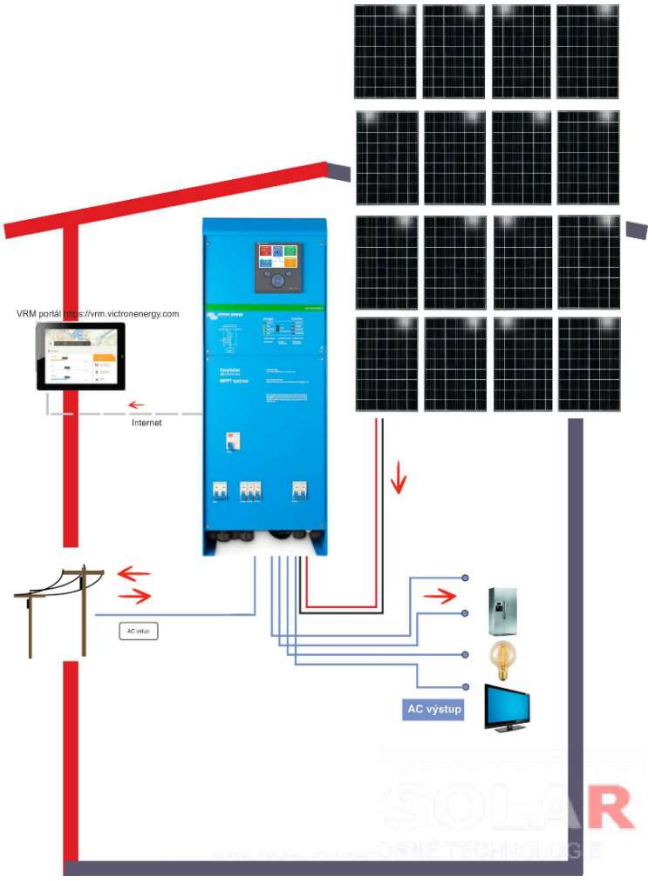
Obrázek 16: Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh [13]

5.3.2 Fotovoltaický systém bez akumulace

Tato kapitola vychází z zdroje [10],[11],[14].

Pro výběr systému bez akumulace jako jedné z možností řešení byly menší investiční náklady a krátká doba prosté návratnosti. Tento systém je založen na dodávání přebytku elektrické energie, která nebyla ve zvoleném objektu využita, do rozvodné sítě.

	Cena konponentu (kč)
16 ks Solární panel Amerisolar 300Wp	16 × 3990 (63 840)
1 Hybridní solární jednotka EasySolar 5000VA/48V s jištěním a monitoringem	100 804
16 ks Konstrukce na šikmou střechu univerzální	16 × 1850 (29600)
Celková cena	194244
Výkon instalace	4,8 kWp



Obrázek 17: Hybridní fotovoltaický systém bez akumulace [10]

Popis komponentů:

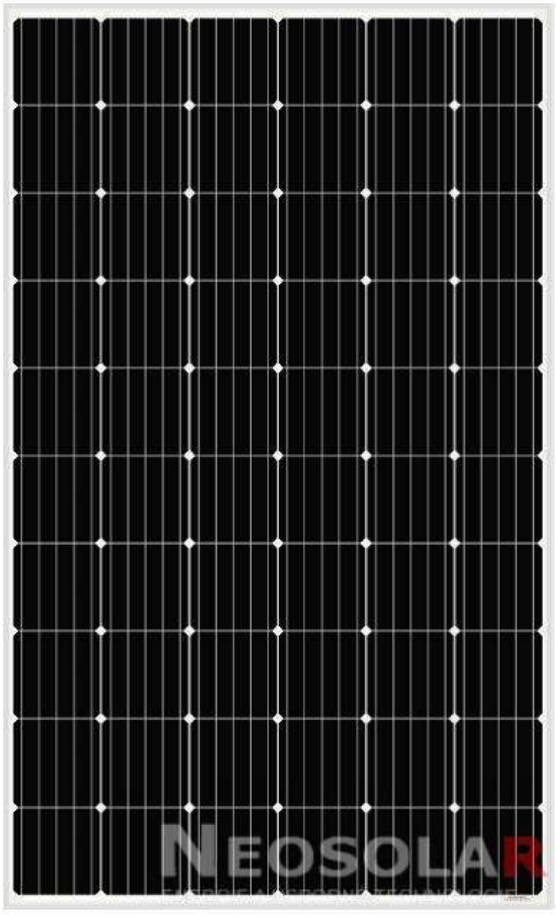
Hybridní solární jednotka EasySolar 5000VA/48V s jištěním a monitoringem
Tato jednotka byla popsána v kapitole 5.3.1.

Solární panel Amerisolar 300Wp
Tato kapitola vychází z zdroje [14].

Monokrystalický fotovoltaický modul Amerisolar disponuje vysokou účinností 16,29 %, nízkou degradací a vynikajícím výkonem při vysokých teplotách a špatných světelných podmínkách. Celý panel je upevněn do robustního hliníkového rámu, který zajišťuje, aby moduly vydržely zatížení větrem až do 2400 Pa a zatížení sněhem až 5400 Pa. Dodavatel zaručuje výkon 91,2 % jmenovitého výkonu po dobu 12 let, 80,6 % jmenovitého výkonu do 30 let.

rozměry: 1640 × 992 × 40 mm (1,63 m^2, všech 16 panelů má plochu 26 m^2)

hmotnost: 18,5 kg



Obrázek 18: Solární panel Amerisolar 300Wp [14]

5.4 Výpočet množství dopadajícího záření na daný objekt

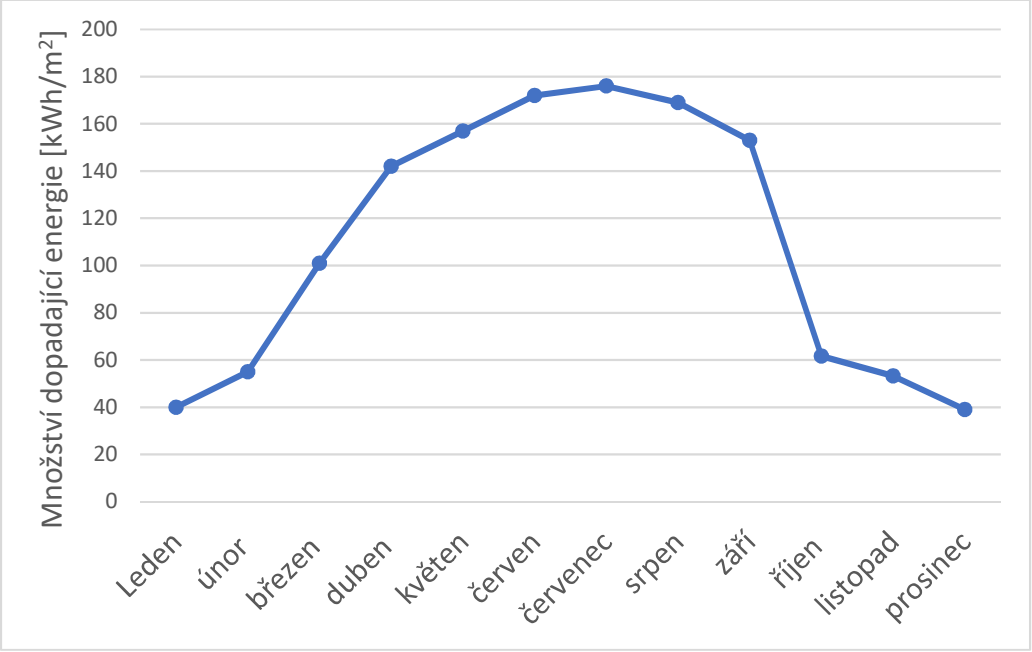
Tato kapitola vychází z zdroje [15].

Pro získání hodnot energie dopadajícího záření pro daný objekt byl využit volně přístupný online systém PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Tento systém za zvolené období zprůměruje naměřené hodnoty. Využité hodnoty jsou z databáze Climate-SAF PVGIS (PVGIS-CMSAF). Z databáze jsou přebrána data, která odpovídají roku 2016, neboť tyto hodnoty byly nejaktuálnější.

Tyto hodnoty energie dopadajícího zaření jsou správné za předpokladu neměnného podnebí. Při porovnání vybraných dat a dat odpovídajícím předchozím létům se hodnoty přílíš nelišily, a tedy jsou vybraná data použitelná.

Tabulka 2: Celková energie záření dopadající za rok na jižně orientovanou plochu pod úhlem 45° (kWh/m^2)

Měsíc	E_d [kWh/m^2]
Leden	39,9
Únor	55,0
Březen	101,0
Duben	142,0
Květen	157,0
Červen	172,0
Červenec	176,0
Srpen	169,0
Září	153,0
Říjen	61,7
Listopad	53,2
Prosinec	39,0
celkové	1318,8



Obrázek 19 Graf 1: Množství dopadající energie na střechu objektu v průběhu roku

5.4.1 Vliv orientace střechy objektu ke světovým stranám

Tato kapitola vychází ze zdroje [15].

Jelikož střecha není směřována přímo na jih, ale na jihozápad, je potřeba tento vliv přepočítat jako korekční faktor, kterým se následně vynásobí celkové množství dopadajícího záření za rok.

K dosažení vhodné korekce bude použit systém PVGIS, kde lze porovnat hodnoty energie dopadajícího záření pro každý měsíc.

Budou se porovnávat hodnoty pro ideální orientaci střechy vůči světovým stranám, což je azimut roven 0° (jih) a hodnoty pro reálnou odchylku od ideálního stavu. Tato odchykla je 30° na západ.

Porovnány budou hodnoty globálního dopadajícího záření v průběhu průměrného dne za konkrétní měsíc. Podíl porovnávaných hodnot se rovná korekčnímu součiniteli *k*.

Tabulka 3: Porovnání hodnot energie globální dopadajícího záření

měsíc	E_{d1} pro sklon 45°, azimut 30° (Wh/m^2)	E_{d2} pro sklon 45°, azimut 0° (Wh/m^2)	Poměr (korekční součinitel)
Leden	1109	1178	0,94
Únor	2096	2215	0,95
Březen	3499	3686	0,95
Duben	4967	5143	0,97
Květen	4783	4861	0,98
Červen	5204	5233	0,99
Červenec	5282	5354	0,99
Srpen	5098	5204	0,98
Září	4028	4218	0,95
Říjen	2417	2568	0,94
Listopad	1531	1737	0,88
Prosinec	1038	1114	0,93

Vztahy použité pro výpočet hodnot a vysvětlení symbolů v tabulce 3:

$$k = \frac{E_{d2}}{E_{d1}},$$

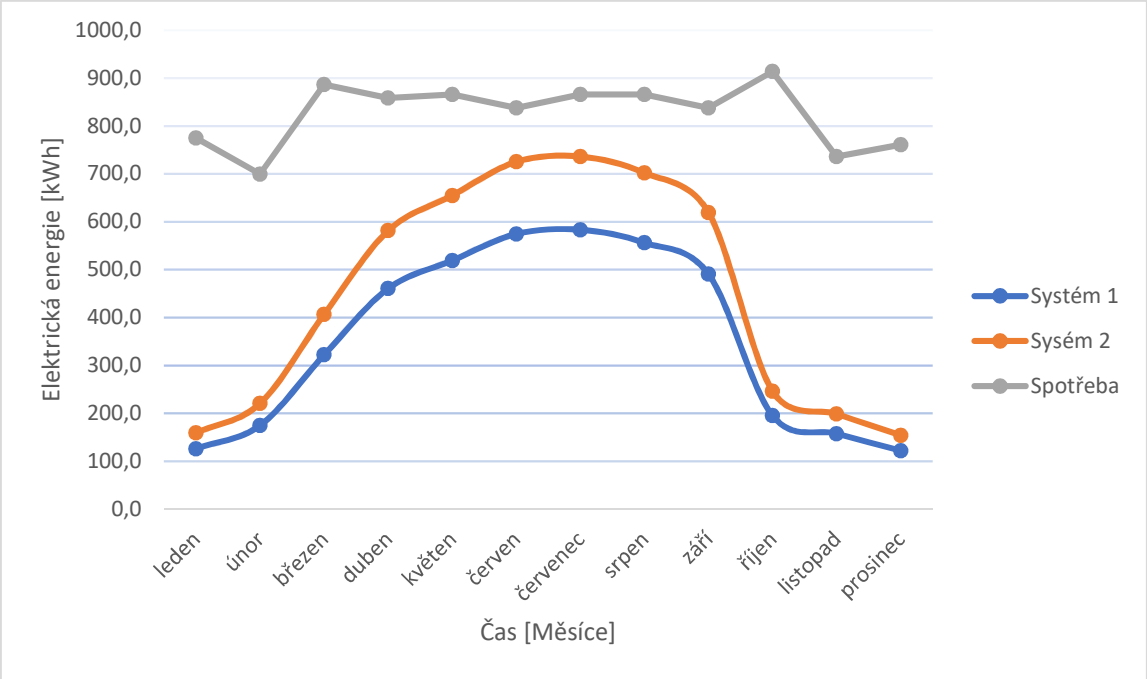
kde *k* je korekční součinitel, E_{d1} je hodnota energie dopadajícího globálního záření pro sklon 45°, azimut 30° a E_{d2} je hodnota energie dopadajícího globálního záření pro sklon 45°, azimut 0°.

5.5 Vyrobená energie

Již je zjištěn korekční součinitel *k* pro každý měsíc pro danou orientaci střechy vůči světovým stranám. V této kapitole bude přepočítáno množství energie dopadajícího záření pro každý měsíc, poté budou tyto hodnoty vynásobeny hodnotou účinnosti a počtem panelů daných systémů.

Tabulka 4: Množství energie dopadajícího záření po korekci a mnoství vyrobené elektrické energie jednotlivými systémy

Měsíc	E_d [kWh/m^2]	E_d'[kWh/m^2]	E_{p1}' [kWh]	E_{p2}' [kWh]
Leden	39,9	37,6	126,2	159,3
Únor	55,0	52,0	174,9	220,7
Březen	101,0	95,9	322,1	406,5
Duben	142,0	137,1	460,8	581,5
Květen	157,0	154,5	519,0	655,0
Červen	172,0	171,0	574,7	725,3
Červenec	176,0	173,6	583,4	736,3
Srpen	169,0	165,6	556,2	702,0
Září	153,0	146,1	490,9	619,5
Říjen	61,7	58,1	195,1	246,2
Listopad	53,2	46,9	157,5	198,8
Prosinec	39,0	36,3	122,1	154,1
Celkem	1318,8	1274,8	4283,0	5405,3



Obrázek 20 Graf 2: Vizualizace spotřeby a množství vyrobené elektrické energie

Vztahy použité pro výpočet hodnot a vysvětlení symbolů v tabulce 1:

$$E'_d = k \times E_d,$$

kde E_d‘ je hodnota energie dopadajícího záření pro sklon 45°, azimut 30°; k je korekční součinitel a E_d je hodnota energie dopadajícího globálního záření pro sklon 45°, azimut 0°; k je pro každý měsíc jiné

$$E'_{px} = E'_d \times n \times \eta \times S = k \times E_d \times n \times S \times \eta,$$

kde dolní index x označuje jeden ze dvou vybraných systémů; E_d‘ je hodnota energie dopadajícího záření pro sklon 45°, azimut 30°; E_d je hodnota energie dopadajícího globálního záření pro sklon 45°, azimut 0°; n je počet instalovavých fotovoltaických panelů; η je účinnost instalovaných fotovoltaických panelů pro jeden ze dvou systémů a E'_{px} je množství vyrobené elektrické energie jedním ze dvou vybraných systémů; S plocha jednoho fotovoltaického panelu (S =1,63 m^2)

5.6 Zhodnocení baterií

Ve vybraném systému s akumulací je Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh, která má vysokou účinnost 95 %, hloubku vybití 80 %. Dále má velkou trvanlivost 5 000 plných cyklů, lze připojit 12 těchto bateriových modulů. Možný maximální vybíjecí výkon 18 kW.

Baterie bude zásobovat spotřebiče s menší spotřebou, neboť by nepokryla celkovou spotřebu objektu. Měnič, ke kterému bude baterie připojena, je schopen odebírat elektrickou energii ze sítě v případě, kdy by byla baterie vybita a fotovoltaické panely nebyly schopny pokrýt spotřebu.

V takovém případě by byla celková spotřeba daných spotřebičů za průměrný den v roce 3018,56 Wh. Tato spotřeba je dána spotřebiči, které mají menší využitou hodnotu elektrické energie než 1 kWh za den. Taková spotřeba by již byla pokryta bateriemi.

Pro pokrytí průměrné denní spotřeby, která by byla 27 177,97 kWh, by byly potřeba 4 tyto baterie. Popřípadě by se systém dodal s bateriemi, které by měly větší kapacitu. Ovšem tato možnost by byla investičně náročnější.

5.7 Celkové zhodnocení

Tato kapitola vychází ze zdroje [12],[14],[16].

V této kapitole bude porovnána prostá návratnost jednotlivých systémů. Jelikož mají oba systémy instalovaný výkon menší než 5 kWp, pak výkupní cena elektrické energie je 3 367 Kč/MWh (3,367 kč/kWh). Zelené bonusy pro systémy do 5 kWp je 2 177 Kč/MWh (2,177 Kč/kWh). Dohromady je cena elektrické energie vyrobené jedním ze zvolených systémů 5 544 Kč/MWh (C = 5,544 Kč/kWh).

Pro panely v systému 1 (s akumulací) a systému 2 (bez akumulace) dodavatel zaručuje výkon 91,2 % jmenovitého výkonu po dobu 12 let, 80,6 % jmenovitého výkonu do 30 let. Po uplynutí 12 let bude výkon panelů na 91,2 % původní hodnoty a po dalších 18 letech (celkem 30 letech) bude výkon na 80,6 % původní hodnoty.

Před uplynutím 12 let bude výkon panelů klesat přibliženě o 0,73 % za rok. Po uplynutí 12 let bude výkon klesat o 0,59 % za rok. Tedy střední hodnota těchto dvou hodnot pro konstatní hodnotu klesání výkonu po celou dobu 30 let životnosti panelů je 0,66 % (V = 0,0066). Tato hodnota je stěžejní pro přesnější hodnotu prosté doby návratnosti.

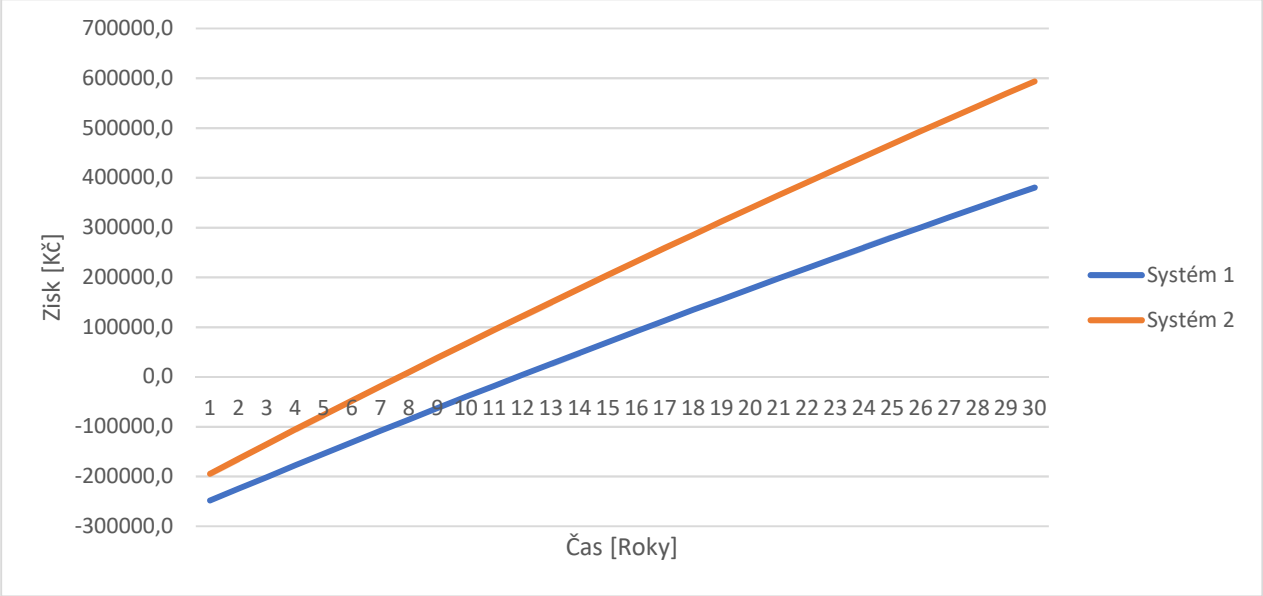
Následně budou hodnoty vloženy do grafu pro jednoduchou vizualizaci prosté návratnosti.

Pro zjištení prosté návratnosti použijeme tabulku, ve které budou zapsány pořizovací náklady, množství vyrobené elektrické energie a zisk jednotlivých systémů plynoucí z množství vyrobené elektrické energie a ceny její 1 kWh. Tyto hodnoty budou propočítány po jednotlivých letech až do doby uplynutí životností vybraných panelů. Náklady mají zápornou hodnotu, neboť se jedná o peníze, které byly investovány do systémů a zisk má kladnou hodnotu.

Tabulka 5: Zjištění prosté doby návratnosti

Rok	N_1 (Kč)	N_2 (Kč)	E_{p1}‘ (kWh)	E_{p2}‘ (kWh)	Z_1 (Kč)	Z_2 (Kč)
1	-248100,0	-194244,0	4283,0	5405,3	23745,0	29967,0
2	-224355,0	-164474,8	4254,7	5369,6	23588,2	29769,2
3	-200766,8	-134902,1	4226,7	5334,2	23432,6	29572,7
4	-177334,3	-105524,5	4198,8	5299,0	23277,9	29377,5
5	-154056,4	-76340,9	4171,0	5264,0	23124,3	29183,7
6	-130932,1	-47349,8	4143,5	5229,3	22971,6	28991,0
7	-107960,5	-18550,1	4116,2	5194,8	22820,0	28799,7
8	-85140,4	10059,5	4089,0	5160,5	22669,4	28609,6
9	-62471,0	38480,3	4062,0	5126,4	22519,8	28420,8
10	-39951,2	66713,5	4035,2	5092,6	22371,2	28233,2
11	-17580,0	94760,4	4008,6	5059,0	22223,5	28046,9
12	4643,5	122622,2	3982,1	5025,6	22076,8	27861,8
13	26720,3	150300,0	3955,8	4992,4	21931,1	27677,9
14	48651,5	177795,3	3929,7	4959,5	21786,4	27495,2
15	70437,9	205109,0	3903,8	4926,7	21642,6	27313,7
16	92080,5	232242,5	3878,0	4894,2	21499,8	27133,5
17	113580,2	259196,9	3852,4	4861,9	21357,9	26954,4
18	134938,1	285973,3	3827,0	4829,8	21216,9	26776,5
19	156155,0	312573,1	3801,7	4797,9	21076,9	26599,8
20	177231,9	338997,3	3776,7	4766,3	20937,8	26424,2
21	198169,6	365247,1	3751,7	4734,8	20799,6	26249,8
22	218969,2	391323,7	3727,0	4703,6	20662,3	26076,6
23	239631,5	417228,1	3702,4	4672,5	20525,9	25904,5
24	260157,4	442961,6	3677,9	4641,7	20390,5	25733,5
25	280547,9	468525,3	3653,7	4611,0	20255,9	25563,6
26	300803,7	493920,2	3629,5	4580,6	20122,2	25394,9
27	320925,9	519147,5	3605,6	4550,4	19989,4	25227,3
28	340915,3	544208,3	3581,8	4520,3	19857,5	25060,8
29	360772,8	569103,7	3558,2	4490,5	19726,4	24895,4
30	380499,2	593834,9	3534,7	4460,9	19596,2	24731,1

Následně budou hodnoty vloženy do grafu pro jednoduchou vizualizaci prosté návratnosti.



Obrázek 21 Graf 3: Vizualizace doby návratnosti jednotlivých systémů

Naznačení výpočtu hodnot v tabulce 5:

$$Z_x = E'_{px} \times C \times (V),$$

kde dolní index *x* označuje jeden ze dvou vybraných systémů; Z_x je peněžní zisk vygenerovaný jedním ze dvou vybraných sysémů; E'_{px} je množství vyrobené elektrické energie jedním ze dvou vybraných sysémů; *C* je výkupní cena elektrické energie (C = 5,544 Kč/kWh); *V* je roční pokles výkonu fotovoltaických panelů (V = 0,0066) – pozn.: touto hodnotou je vztah vynásoben až při výpočtu zisku od druhého roku a dále

N_1 jsou náklady na systém 1 (s akumulací) a N_2 jsou náklady na systém 2 (bez akumulace)

Od druhého roku je k nákladům na systém přičten zisk. Rok, kdy je překročena nulová osa hodnoty nákladů, odpovídá prosté době návratnosti.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo konkretizovat charakter spotřeby elektrické energie, návrh fotovoltaické instalace a provedení technicko-ekonomického zhodnocení instalace pro zvolený objekt.

V teoretické části (kapitoly 1 až 4.2) byly stručně popsány základní pojmy od popisu Slunce, záření, historie fotovoltaických článků, přes jejich výrobu po popis komponentů a akumulaci elektrické energie.

V praktické části (kapitoly 5 až 5.8) byl analyzován modelový případ pro zvolený rodinný dům a jeho spotřeby elektrické energie v kapitole 5.2. Návrh systému je uveden pro aktuální spotřebu, v níž není zahrnuto TUV, neboť je zprostředkovánáno plynovým kotlem. Stanovené příkony všech spotřebičů lze nalézt v tabulce 1, ovšem zjistit časové využití pro každý spotřebič je náročné, a proto mohou některé hodnoty spotřeby elektrické energie být nepřesné. Všechny výpočty byly prováděny v programu Microsoft Office Excel.

Spotřeba byla rozdělena na období Leden – Únor, Březen – Duben, Květen – Srpen, Září – Říjen, Listopad – Prosinec. Celková spotřeba činila 9,95 MWh. Následně v kapitole 5.3 byly zvoleny fotovoltaické systémy, které byly vybrány vzhledem k instalovanému výkonu do hodnoty 5 kWp, kdy byla cena vyrobené elektrické energie výhodnější, než v případě instalace nad 5 kWp. Dalším faktorem byl maximální dodávaný výkon do sítě objektu, neboť bylo potřeba napájet i spotřebiče s větší hodnotou příkonu k minimalizování odběru elektrické energie z rozvodné sítě.

Dále bylo v kapitole 5.4 popsáno kolik energie dopadá v oblasti objektu a následnou korekci orientace střechy vůči světovým stranám s použitím systému PVGIS. Střední hodnota korekce činila přibližně 95 % vůči ideálnímu stavu, kdy pro ideální stav sklon činil 45° a azimut 0° (Jih).

Poté bylo v kapitole 5.5 popsáno, jaké množství elektrické energie jsou zvolené systémy schopné vyrobit. Ročně je systém 1 (s akumulací) schopen vygenerovat 4283 kWh a systém 2 (bez akumulace) 5405,3 kWh.

V kapitole 5.6 pro systém 1 bylo potřeba popsat vhodnost akumulace pro zvolený objekt. Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh je schopná napájet jednotlivé spotřebiče s denní spotřebou do 1 kWh, což v případě průměrného ročního dne, kdy celková spotřeba těchto spotřebičů byla 3,018 kWh, nečiní problém. V takovém případě by tato baterie byla schopná při plném nabití napájet tyto spotřebiče déle než dva dny. Ostatní spotřebiče, které by baterie nebyla schopná napájet, by byly napájeny z rozvodné sítě. Měnič, kterým by byly oba systémy vybaveny, je uspůsoben pro takové situace a nezatěžovala by se tím síť objektu. Pro napájení celého objektu by byly potřeba 4 takovéto baterie, nebo baterie jiné s větší kapacitou, tato možnost by však byla investičně nákladnější.

Dále v kapitole 5.8 byla propočítána prostá doba návratnosti, kdy se k původní investici každý rok přičítal peněžní zisk, který jednotlivé systémy vydělaly. Tyto hodnoty byly zapsány v tabulce 4 a převedeny do grafu 3. Jakmile sledovaná hodnota překročila nulovou hodnotu, pak byla získána prostá doba návratnosti. Prostá doba návratnosti systému 1 (s akumulací) byla přibližně 12 let a systému 2 (bez akumulace) přibližně 8 let. Doba návratnosti je dána cenou a účinností jednotlivých komponentů jednotlivých systémů, velký vliv také mají baterie, které se v průběhu využívání opotřebovávají a musejí se následně měnit.

Fotovoltaické panely sysému 1 (s akumulací) by po instalaci obsazovaly 19,53 m^2 a panely systému 2 (bez akumulace) 26 m^2. Celková použitelná plocha střechy je 108,58 m^2, což je dostatečná plocha, na kterou by bylo možné nainstalovat oba systémy.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vnitřní struktura Slunce [6] 12
Obrázek 2: Konstrukce aparatury experimentu A.E.Becquerela [3] 14
Obrázek 3: Konstukce aparatury exprimentu Adams a Day [3] 15
Obrázek 4: Tenký selenový film představený Frittsem v roce 1883 [3] 15
Obrázek 5: Rané Grondahl – Geiger měď-oxid měďné fotovoltaické buňky [3] 16
Obrázek 6: P-N přechod [7] 17
Obrázek 7: Monokrystalický křemíkový panel [8] 19
Obrázek 8: Polykrystalický křemíkový panel [9] 20
Obrázek 9: Křemík [18] 21
Obrázek 10: Křemíkové ingoty [17] 22
Obrázek 11: Koncentrátor [19] 27
Obrázek 12: Li-Ion Bateriový sytéml [13] 29
Obrázek 13: Hybridní fotovoltaický systém s akumulací [10] 34
Obrázek 14: Hybridní solární jednotka EasySolar [11] 35
Obrázek 15: Solární panel Amerisolar 285Wp [12] 36
Obrázek 16: Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh [13] 37
Obrázek 17: Hybridní fotovoltaický systém bez akumulace [10] 38
Obrázek 18: Solární panel Amerisolar 300Wp [14] 39
Obrázek 19 Graf 1: Množství dopadající energie na střechu objektu v průběhu roku 40
Obrázek 20 Graf 2: Vizualizace spotřeby a množství vyrobené elektrické energie 42
Obrázek 21 Graf 3: Vizualizace doby návratnosti jednotlivých systémů 46

Použité zdroje:

[1] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008, vii, 81 s. : il. ; 21 cm. ISBN 978-80-7366-133-5.

[2] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. Praha: ILSA, 2009, 160 s. : il. (některé barev.), mapy, portréty ; 24 cm. ISBN 978-80-904311-0-2.

[3] *First photovoltaic Devices* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/first-photovoltaic-devices

[4] VAVERA, Miroslav Vavera. *Jak pracuje zastíněný fotovoltaický panel?* [online]. In: . [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/?home/2014120308/jak-pracuje-zastineny-fotovoltaicky-panel

[5] *Hot Spot Heating* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/hot-spot-heating

[6] *Internal structure of the Sun* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://slideplayer.com/slide/7374097/

[7] The P-N Junction. In: *All about circuits* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-2/the-p-n-junction/

[8] *50-Watt 12-Volt Monocrystalline PV Solar Panel* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.homedepot.com/p/Ramsond-50-Watt-12-Volt-Monocrystalline-PV-Solar-Panel-SP-50/203423806

[9] *100-Watt Polycrystalline Solar Panel for RV's, Boats and 12-Volt Systems* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.homedepot.com/p/Grape-Solar-100-Watt-Polycrystalline-Solar-Panel-for-RV-s-Boats-and-12-Volt-Systems-GS-Star-100W/204211365

[10] *Hybridní solární systém EasySolar 5000VA - 3,42 kWp* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.eshop.neosolar.cz/hybridni-solarni-system-easysolar-5000va-3-42-kwp

[11] *Hybridní solární jednotka EasySolar 5000VA/48V* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://eshop.neosolar.cz/hybridni-solarni-jednotka-easysolar-5000va-48v

[12] *Solární panel Amerisolar 285Wp* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.eshop.neosolar.cz/solarni-panel-amerisolar-285wp

[13] *Baterie BMZ ESS 7.0 Li-Ion 48V 121Ah 6,8kWh* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.eshop.neosolar.cz/baterie-bmz-ess-7-0-li-ion-48v-121ah-6-8kwh

[14] *Solární panel Amerisolar 300Wp* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.eshop.neosolar.cz/solarni-panel-amerisolar-300wp

[15] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS)* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR

[16] Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2018. In: *Energetický regulační věstník* [online]. 18. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2018, s. 10 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/4697359/ERV_6_2018.pdf/b19eac97-d73e-472d-8105-d4e119a69cb8

[17] Silicon ingots. In: Solar gain [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://www.solargain.com.au/monocrystalline-vs-polycrystalline-modules

[18] Silicon. In: Brighten solar co. [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: http://brightensolarco.com/silicon-leads-cheaper-thermal-energy-storage-systems-solar-energy/

[19] Concentrator photovoltaics. In: Alchetron [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: https://alchetron.com/Concentrator-photovoltaics

Použité znaky a symboly:

Symbol	Jednotka	Význam
T	K	Termodynamická teplota
E_d	Wh/m^2	Energie dopadajícího záření na jednotku plochy
η	- ; %	Účinnost
L	m	Délka
U	V	Napětí
W; E	J; eV	Práce, energie
S	m^2	Plocha
I	A	Elektrický proud
E_s	Wh	Spotřebovaná elektrická energie
P_p	W	Příkon
T	h	Časové využití
E_p	Wp	Instalovaný výkon fotovoltaické instalace
P	VA	Zdánlivý elektrický výkon
Q	C; Ah	Elektrický náboj
T	°C	Teplota
M	kg	Hmotnost
P	Pa	Tlak
K	-	Korekční součinitel
E_d‘	Wh/m^2	Energie dopadajícího záření na jednotku plochy
$E_{p1;2}$‘	Wh	Množství elektrické energie vyrobené jedním z vybraných systémů
V	-	Součinitel ročního snížení výkonu fotovoltaického panelu
$N_{1;2}$	Kč	Pořizovací náklady fotovoltaického systému 1;2
$Z_{1;2}$	Kč	Roční zisk vygenergovaný jedním z vybraných systémů
C	Kč/kWh	Celková cena vyrobené elektrické energie fotovoltaickým systémem

Znak	Význam
MPPT	Maximum power point tracker – sledovač nejvyššího bodu výkonu
AC	alternating current – střídavý proud
DC	direct current – stejnosměrný proud
Baterie Li-Ion	Lithium-Iontová baterie
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System – Fotovoltaický geografický informční systém
TUV	Teplá užitková voda