



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM PRO RODINNÝ DŮM

PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR A FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN POLNICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FILIP TOMAN

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jan Polnický**
Studijní program: Základy strojího inženýrství
Studijní obor: Základy strojího inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman**
Akademický rok: 2022/23

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:

Fotovoltaický systém pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Většina zákazníků od fotovoltaických systému očekává úsporu. Přesto že jsou tyto systémy relativně nákladné na pořízení, jejich ceny stále klesají a elektřina nebo teplo, kterou systém v příštích desetiletích vyrobí, je téměř zdarma. Dopočítat se přesné úspory i doby návratnosti je u domácí fotovoltaiky je ovšem někdy obtížné. Do hry vstupuje řada proměnných – namátkou pořizovací cena, spotřeba elektřiny, míra využití vyrobené elektřiny, lokalita domu, stínění, cena elektřiny ze sítě, dotace a další.

Cíle bakalářské práce:

- Stručná rešerše komponent fotovoltaického systému.
- Návrh fotovoltaického systému pro konkrétní rodinný dům.
- Ekonomické posouzení navrhnutého systému.

Seznam doporučené literatury:

LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.

TUHÝ, Vít. Fotovoltaika – novodobý krajinný prvek ČR. Praha, 2012. 76 s. Bakalářská práce (Bc.) Vysoká škola ekonomická v Praze, Podnikohospodářská fakulta, Podniková ekonomika a management.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům. Při jejím dimenzování byla zohledněna vlastní spotřeba objektu. Na základě spotřeby byl stanoven požadovaný výkon. Pro dosažení výkonu byla navržena různá řešení. Po posouzení polohy objektu a přírodních podmínek v dané oblasti bylo vybráno nejvhodnější z nich. Práce dále řeší možnosti výkupu přebytečné energie. Výběr vhodného produktu ovlivní dobu ekonomické návratnosti. Výsledné řešení bylo navrženo s ohledem na současnou situaci. Protože se zkoumaná oblast velice rychle vyvíjí, umožňuje návrh fotovoltaického systému i jeho případné rozšíření či změnu produktu.

Klíčová slova

Fotovoltaika, fotovoltaické panely, baterie, spotový trh

Summary

The bachelor thesis concerns dimension of a photovoltaic power plant for a family house. In its sizing, the self-consumption of the building was taken into account. Based on the consumption, the required power was determined. Different solutions were proposed to achieve the power output. After considering the location of the building and the natural conditions in the area, the most suitable one was selected. The work also addresses the possibilities of selling the surplus energy. The choice of a suitable product will influence the economic payback period. The final solution was designed regarding to the current situation. As the area under study is developing very quickly, the design of the PV system enables its possible expansion or change of the product.

Keywords

Photovoltaics, photovoltaic panels, battery storage, spot market

Bibliografická citace

POLNICKÝ, Jan. *Fotovoltaický systém pro rodinný dům*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Filip Toman.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Filipa Tomana a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

Jan Polnický

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu za cenné rady a připomínky při psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mi umožnili studium na vysoké škole.

Jan Polnický

Obsah

Úvod	10
2 Komponenty FVE	11
2.1 Fotovoltaický článek	11
2.1.1 Princip funkce FV článku	11
2.1.2 Konstrukce FV článku	12
2.1.3 Parametry fotovoltaických panelů	13
2.1.4 Konstrukce fotovoltaických panelů	15
2.1.5 Typy fotovoltaických článků	15
2.1.6 Faktory ovlivňující činnost FV panelů	18
2.2 Střídač	20
2.3 Akumulační systémy	21
2.3.1 Olověné akumulátory	21
2.3.2 Lithium-iontové baterie	21
3 Návrh FVE pro rodinný dům	22
3.1 Zhodnocení polohy a orientace domu	22
3.2 Spotřeba domácnosti	24
3.3 Určení roční produkce	26
3.3.1 Výpočet dávky slunečního ozáření fotovoltaických modulů	27
3.3.2 Určení činitele výkonnosti soustavy	28
3.3.3 Výpočet předpokládané roční produkce FV elektrárny	28
3.4 Komponenty fotovoltaického systému	29
3.4.1 Fotovoltaické panely	29
3.4.2 Hybridní střídač	30
3.4.3 Bateriové uložení	30
3.5 Schéma zapojení	31
4 Ekonomické zhodnocení	33
4.1 Pořizovací náklady	33
4.2 Nová zelená úsporám	33
4.3 Ekonomika provozu	34
4.3.1 Zhodnocení návratnosti	37
4.4 Spotový trh	39
Závěr	42
Seznam použitých zdrojů	43
Seznam příloh	45
A Pořizovací náklady	46

Úvod

Ekologická krize je téma, které rezonuje společností již dlouhou dobu, ale i přes to se stává stále aktuálnější. Mezi hlavní problémy, kterým v blízké budoucnosti budeme muset čelit, patří především znečištění životního prostředí, globální oteplování a omezený zdroj nerostných surovin. S nárůstem a rozvojem populace naše potřeby stále stoupají, ale zdroje jsou omezené.

Tuto skutečnost potvrzuje i energetická krize, která nastala v roce 2022. Po období pandemie COVID-19 se výrazným způsobem zvýšila poptávka po energii. Nedostatečné vytvoření zásob (především zemního plynu) způsobilo nárůst cen elektrické energie. Proto se stále častěji hledá řešení v oblasti obnovitelných zdrojů energie, mezi které patří i fotovoltaika.

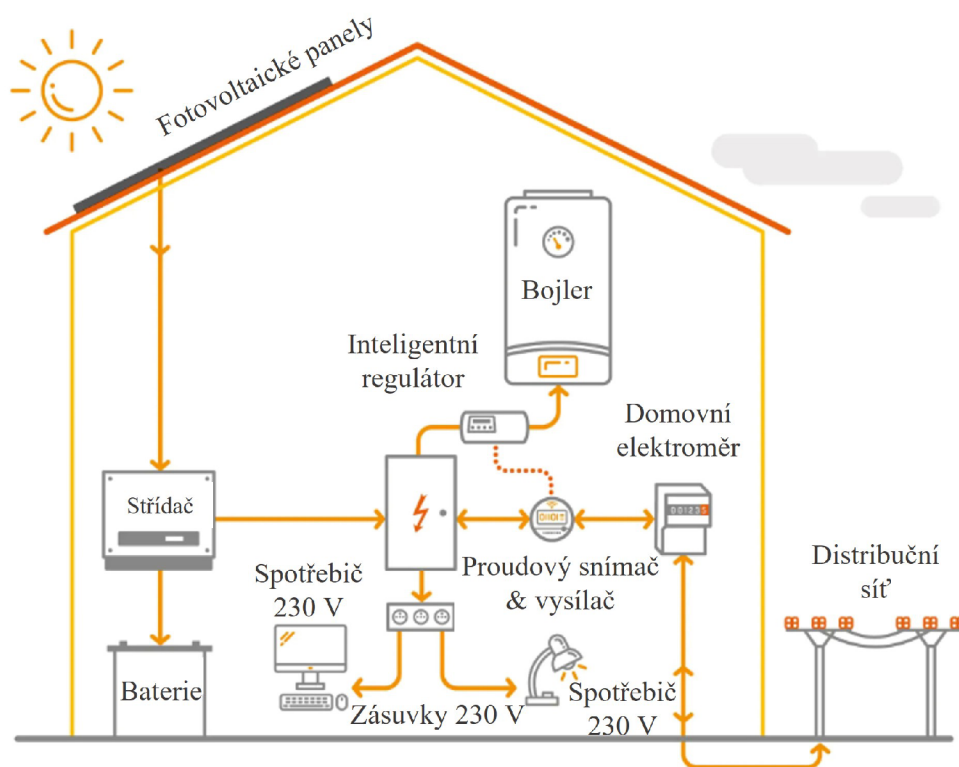
Fotovoltaika je technologie přeměny sluneční energie na elektrickou energii. Od svého vynálezu v padesátých letech dvacátého století se fotovoltaika vyvíjela a zlepšovala své vlastnosti, což vedlo k poklesu nákladů a zvýšení výkonu fotovoltaických panelů. Dnes se fotovoltaické systémy používají v domácnostech, průmyslu a zemědělství. Zaujímají stále větší podíl na trhu s elektřinou. Vývoj v oblasti fotovoltaiky pokračuje, a to zejména v oblasti nových materiálů a technologií pro zlepšení účinnosti a snižování nákladů.

Fotovoltaická elektrárna vyrábí energii, která je v současné době levnější než energie nabízená na trhu. Její produkce ovšem závisí na slunečním osvitě. Bez akumulace energie je časově omezená i její spotřeba. Pořizovací cena fotovoltaického systému je vysoká. V současné době ji významným způsobem snižuje dotace „*Nová zelená úsporám*“.

Cílem této práce je navrhnout fotovoltaickou elektrárnu pro rodinný dům ve východních Čechách. V teoretické části jsou popsány základní komponenty fotovoltaického systému. V další části je zhodnocena poloha a orientace domu vůči dopadajícímu záření. Vhodná orientace je důležitým faktorem při posuzování výhodnosti investice, protože má veliký vliv na produkci elektrické energie. Důraz je také kladen na vhodný výběr komponentů s ohledem na kapacitní možnosti domu a spotřebu domácnosti. Poslední část je zaměřena na možnosti výkupu přebytečné elektrické energie a výběr ekonomicky výhodného produktu.

2 Komponenty FVE

Fotovoltaická elektrárna se skládá z jednotlivých dílčích částí (viz obr. 1), které budou podrobněji rozebrány v této kapitole. Základními prvky jsou fotovoltaické panely, střídač a dále zařízení pro akumulaci energie (například baterie nebo bojler) [1]. Mezi další prvky nutné pro instalaci lze zařadit propojovací kabeláž, konstrukční prvky pro uchycení solárních panelů či čtyřkvadrantní elektroměr.



Obrázek 1: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny (upraveno) [1].

2.1 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je zařízení, pomocí kterého lze získávat energii ze slunečního záření. Jedná se o základní prvek, ze kterého se skládají fotovoltaické moduly. Jeho základním principem je fotoelektrický jev.¹

2.1.1 Princip funkce FV článku

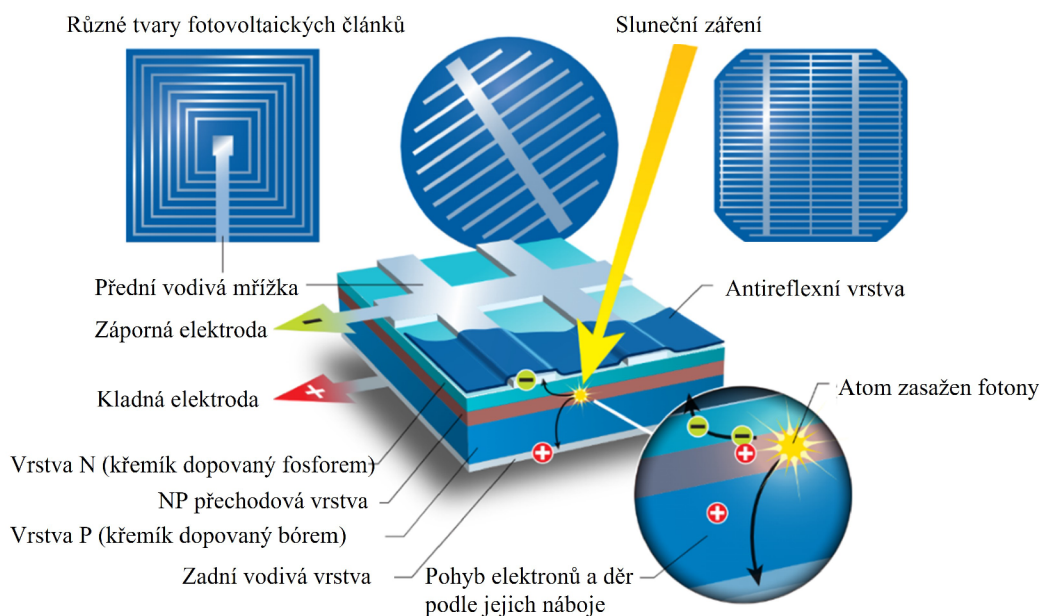
Při osvětlení vzorku absorbují elektrony energii úměrnou frekvenci dopadajícího záření. Je-li energie dostatečná, dojde k uvolnění elektronu [3]. Tato minimální energie se nazývá jako ionizační a odpovídající frekvence záření jako prahová frekvence.

¹Tento jev byl vysvětlen roku 1905 Albertem Einsteinem [2] V roce 1921 byl za tento objev oceněn Nobelovou cenou za fyziku.

Základním materiálem fotovoltaických článků jsou polovodičové prvky. Nejčastěji se využívá křemík. Křemík je čtyřvazný prvek, který ve své čisté formě vytváří velmi stabilní mřížku. Pokud se jeho atomům dodá energie, například ve formě záření, dojde k uvolnění (neboli excitaci) elektronů. Uvolněné elektrony se mohou mřížkou volně pohybovat. Tomuto jevu se říká vlastní vodivost. Ta je ovšem pro výrobu elektrického proudu nedostačující. Aby bylo možné využít křemík jako zdroj energie, je nutná dotace trojvaznými nebo pětivaznými atomy.² Příkladem atomu s pěti valenčními elektrony je fosfor. Fosfor obsahuje na rozdíl od křemíku jeden valenční elektron navíc, který přenáší záporný náboj [4]. Tento typ příměsových vodičů označujeme jako vodiče dotované typu N. Naproti tomu například bór obsahuje pouze tři valenční elektrony. Při navázání se křemíkem vzniká v mřížce díra, která přenáší kladný náboj. Tento typ příměsových vodičů označujeme jako vodiče dotované typu P.

2.1.2 Konstrukce FV článku

Výběr optimálního solárního článku je důležitý pro správný návrh fotovoltaického systému. Samotný článek se skládá ze dvou křemíkových vrstev. Vrstva, na kterou dopadá sluneční záření, je záporně dotovaná fosforem. Pro maximální využitelnost dopadající energie musí být tato vrstva dostatečně propustná. K tomu se využívá antireflexní pokrývka černé barvy z nitridu křemičitého či oxidu titaničitého. Druhá křemíková vrstva je kladně dotovaná bórem. Odběr proudu ze solárního článku zajišťují elektrody, které se nacházejí na vnějších stranách obou vrstev (viz obr. 2). Vrchní elektroda má tvar mřížky, aby umožnila co největší průchod světla [5].

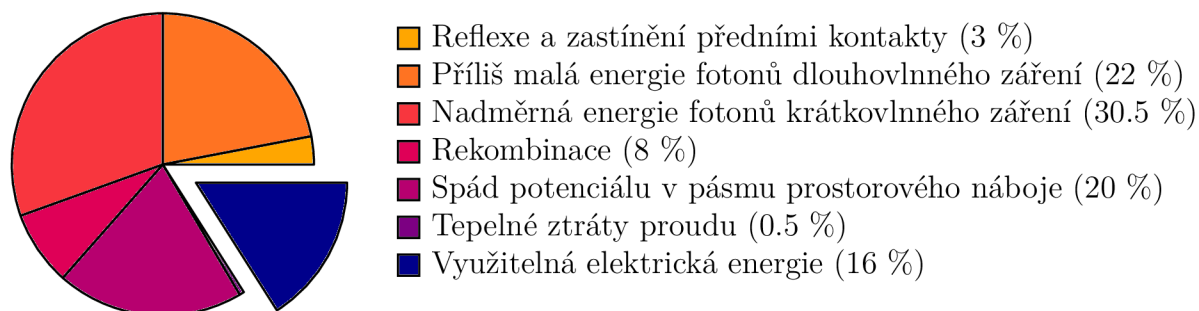


Obrázek 2: Přeměna energie v krystalickém křemíkovém solárním článku (upraveno) [6].

K výrobě elektrického proudu nelze využít veškerou energii z dopadajících paprsků. Sluneční záření má charakter elektromagnetického vlnění o různých vlnových délkách.

²Mechanismu vodivosti s využitím dotovaných atomů se nazývá příměsová vodivost [4].

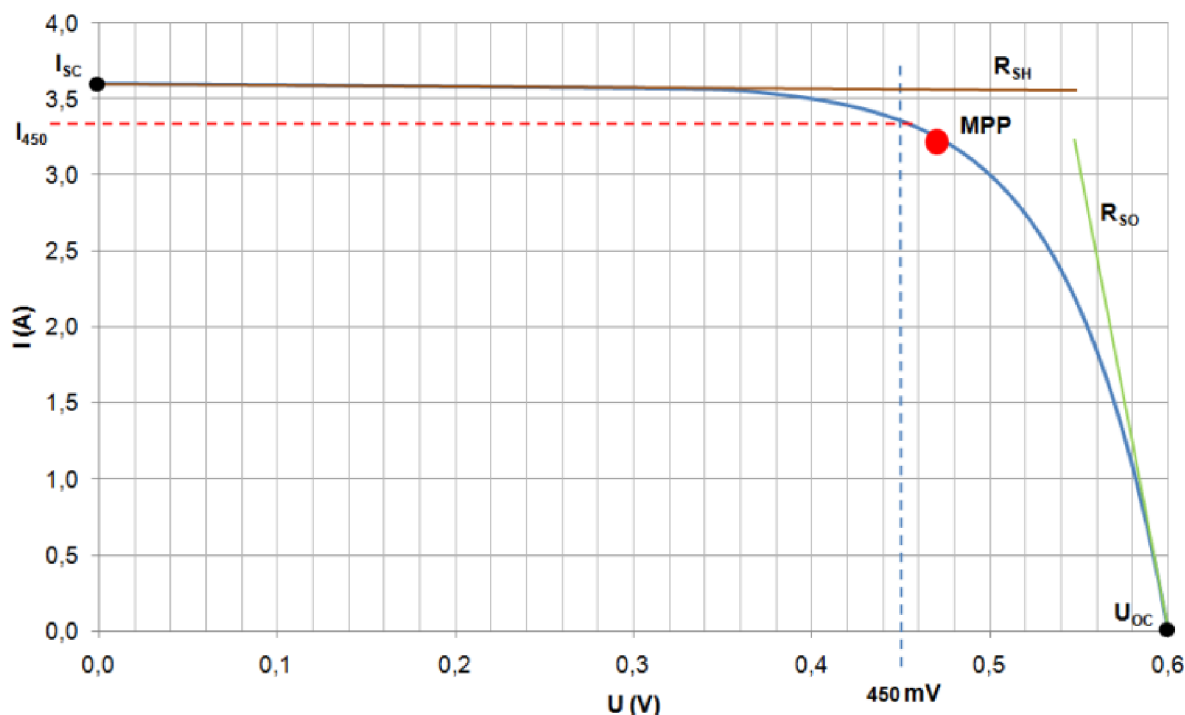
Fotovoltaický článek dokáže zachytit záření pouze v určitém rozmezí vlnových délek. Pokud na článek dopadají paprsky o kratších či delších vlnových délkách (tedy mimo zachytitelné rozmezí), jejich energie nemůže být přeměněna na elektrickou energii. Dále se část energie spotřebuje na výrobu tepla nebo na rekombinaci, při které dochází k zániku volného nosiče náboje (viz obr. 3). Vhodnou volbou materiálu a konstrukcí lze do jisté míry účinnost solárních článků ovlivnit [5].



Obrázek 3: Tok energie v solárním článku [4].

2.1.3 Parametry fotovoltaických panelů

Základní parametry fotovoltaických článků se popisují pomocí voltampérové charakteristiky (zkráceně V-A charakteristiky) [7]. Na obr. 4 jsou zvýrazněny význačné body, z nichž některé budou níže vysvětleny.



Obrázek 4: Voltampérová charakteristika fotovoltaických článků [7].

Proud nakrátko I_{sc} je maximální proud, který může fotovoltaická elektrárna dodávat. Jeho velikost závisí především na intenzitě osvětlení, spektrální citlivosti fotovoltaického

člátku (FVČ), ploše FVČ a teplotě. Řádově dosahuje velikost proudu desítek mA až jednotek A [7].

Napětí naprázdno U_{oc} je rozdíl potenciálů na svorkách měřený bez připojené zátěže při dané teplotě a intenzitě osvětlení. U monokrystalických FVČ bývá hodnota přibližně $0,6 V$ [7].

Pracovní bod PB je bod na voltampérové křivce. Jeho poloha je závislá na vlastnostech spotřebiče. Z hlediska provozu rozlišujeme dva pracovní režimy FVČ, které ovlivňují polohu pracovního bodu. V prvním režimu odevzdává fotovoltaická elektrárna energii do spotřebiče. Poté odpor tohoto spotřebiče určuje polohu pracovního bodu. V druhém případě se energie akumuluje, jedná se tedy o nabíjecí režim. Poloha pracovního bodu je určena napětím akumulátoru [7].

Maximum Power Point MPP je bod na voltampérové křivce, kde FVČ pracuje s maximálním výkonem [7].

Činitel naplnění FF je parametr určující poměr mezi maximálním výkonem a výkonem daným napětím nakrátko. Pomocí této veličiny jsme schopni porovnávat jednotlivé FVČ [7]. Je definován pomocí níže uvedeného vztahu,

$$FF = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \eta_{el}. \quad (2.1)$$

Účinnost fotovoltaického článku EEF určuje účinnost přeměny slunečního záření. Je spojena především s vlastnostmi materiálu FVČ. Materiál má vliv například na spektrální citlivost fotovoltaického článku na dopadající záření. Spektrální citlivost popisuje, při jakých vlnových délkách pracuje článek nejefektivněji [7]. Tuto vlastnost vhodně využívají amorfní tenkovrstvé články při tandemovém zapojení, kdy se na sebe skládají vrstvy o různé spektrální citlivosti. Takovéto zapojení efektivně využívá různých vlnových délek dopadajícího záření, což se pozitivně projeví na účinnosti při nižším osvětlení (například při vyšší oblačnosti, kdy převládá difúzní záření). Účinnost fotovoltaického článku lze vyjádřit následujícím vztahem,

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} = \frac{P_m}{E \cdot A_C}, \quad (2.2)$$

kde $P_m [W]$ je maximální výkon, který může článek dodávat, $P_{rad} [W]$ je výkon dopadajícího záření, $E [W \cdot m^{-2}]$ je intenzita osvětlení při standardizovaných podmínkách a $A_C [m^2]$ je plocha fotovoltaického článku.

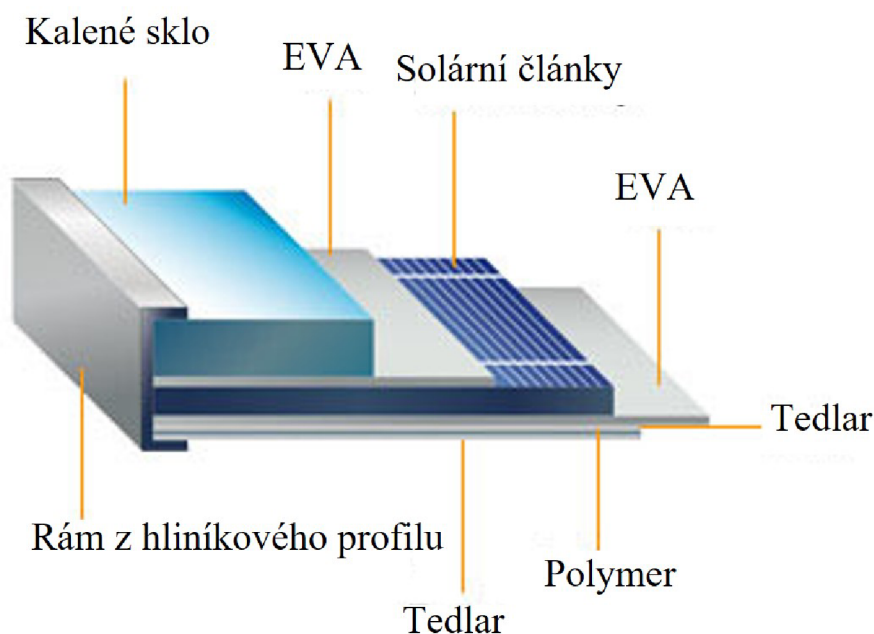
Vztah udávající závislost mezi činitelem plnění a účinností fotovoltaického článku je poté následující,

$$\eta = \eta_r \cdot \eta_e \cdot \eta_p \cdot \eta_{el} = \eta_r \cdot \eta_e \cdot \eta_p \cdot FF, \quad (2.3)$$

kde η_r je poměr výkonu odraženého záření k výkonu dopadajícímu, η_e je účinnost Carnotova tepelného cyklu, η_p je vliv zahrnující nepřizpůsobení křemíku spektru slunečního záření a η_{el} je vliv zahrnující kumulující elektronické parametry FVČ.

2.1.4 Konstrukce fotovoltaických panelů

Do fotovoltaického panelu jsou fotovoltaické články řazeny v sériově-paralelním zapojení pro dosažení požadovaných elektrických vlastností a výkonu.³ Na obr. 5 je znázorněn schématický řez fotovoltaického panelu. Vrchní část fotovoltaického panelu je tvořena kaleným sklem, které chrání panel proti nárazu či proti nepříznivým atmosférickým vlivům. Další vrstvou jsou fotovoltaické články uložené z obou stran v plastové EVA (etylvynilacetát) fólii. Poslední vrstvu tvoří laminátová kompozice tedlaru a polymeru.⁴ Po složení jednotlivých vrstev na sebe se mezi nimi vyčerpá vzduch a panel se zahřeje na teplotu tání fólie EVA. Nakonec se panely rámují a zatmelují silikonovým tmelem do hliníkových profilů. Životnost panelů je odhadována na dvacet až třicet let [10].



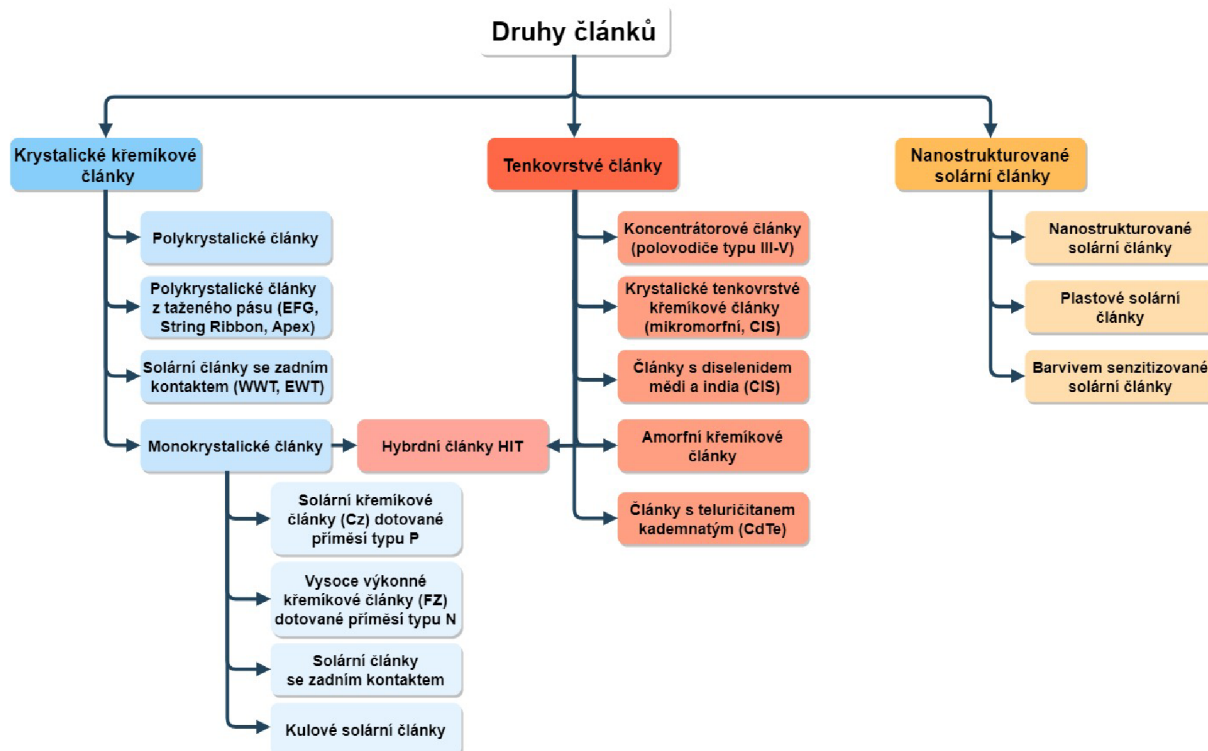
Obrázek 5: Konstrukce fotovoltaického panelu (upraveno) [11].

2.1.5 Typy fotovoltaických článků

Technologii FV článků lze rozdělit do tří základních kategorií (viz obr. 6), kdy hlavní využití mají především krystalické křemíkové články s tržním podílem 90 %. Křemík je na zemském povrchu velice hojně zastoupen a má dobré polovodičové vlastnosti. V následujícím textu budou popsány pouze některé vybrané druhy FV článků [4].

³V současné době mají panely 108, 120 nebo 144 půlených článků (tzv. „Half-cut“). Jejich hlavní výhodou jsou menší ztráty výkonu při zastínění [8].

⁴Tedlar je obchodní značka americké společnosti DuPont označující termoplastický fluoropolymerový materiál PVF (polyvinylchlorid). Polymerem je zde myšlen materiál PET (polyethylentereftalát) [9].



Obrázek 6: Druhy fotovoltaických článků [4].

Monokrystalické křemíkové články

Výchozím materiálem pro výrobu monokrystalického křemíku dle Czochralského metody je polykrystalický křemík, který se za teploty 1420 °C roztaví v křemenném kelímku. Následně se do této taveniny ponoří zárodečný krystal, který je z ní za současného otáčení pomalu tažen vzhůru. Tímto způsobem se vytvoří monokrystal o průměru až 30 cm a délky několika metrů. Nově vzniklý polotovar je posléze zpracován do tenkých čtvercových článků, které jsou dále obohaceny o fosfor a bór. Účinnost monokrystalických článků se pohybuje v rozmezí 15 až 19,3 % [4].

Amorfni křemíkové články

Tento typ článků je řazen mezi tzv. tenkovrstvé články, které mají oproti výše uvedeným řadu předností, ale také nedostatků. Mezi přednosti patří především dobrá absorpce světla. Tato vlastnost umožňuje tvorbu velice tenkých plátek, a to až v řádech mikrometrů. Úspora materiálu, nižší výrobní teploty a především možnost automatizace výrobního procesu značně snižují náklady [4].

Oproti čistému křemíku vytváří amorfni křemík nepravidelnou krystalickou síť. Vyrábí se chemickým odloučením z plynného silanu (SH_4) v plazmovém reaktoru. Dotace se provádí již v plynném skupenství nejčastěji pomocí plynů diboran B_2H_6 (příměs typu P) nebo fosfan PH_3 (příměs typu N).

Amorfni články podléhají degradaci světlem, kdy se během jejich prvních dvou let provozu snižuje výkon o 20 až 30 %. Účinnost těchto modulů je po ustálení 5 až 7 %. Tuto hodnotu lze mírně zvýšit překrytím jednotlivých vrstev přes sebe, kdy je každá vrstva optimalizovaná na jiné vlnové délky slunečního záření. Oproti krystalickým článkům vykazují menší ztráty při sníženém osvětlení, zvýšené teplotě či zastínění. Jsou proto

vhodné pro aplikace do míst s nízkým odvětráváním (například integrace FV panelů do budov [4]).

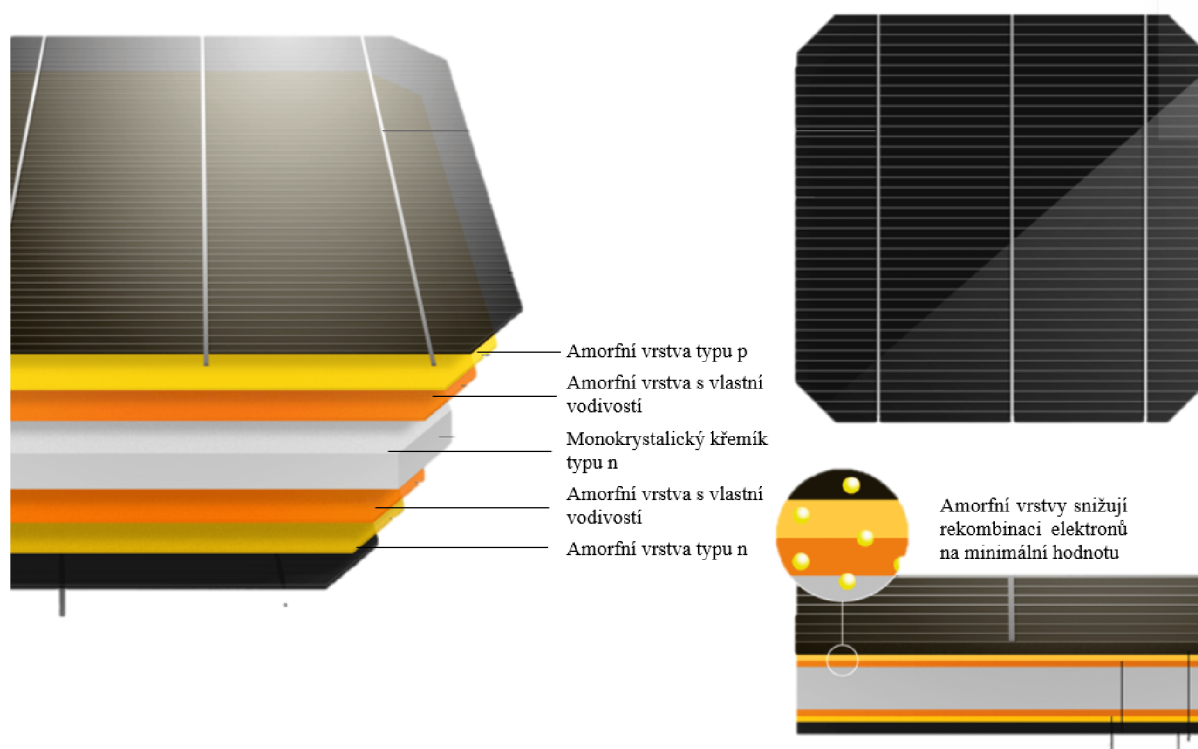
Polykrystalické křemíkové články

Polykrystalické FV články se vyrábějí převážně odléváním do ingotů. Řízeným ohřevem a chlazením se kontroluje růst krystalických zrn tak, aby byl rovnoměrný v jednom směru. Velikosti zrn dosahují řádově milimetrů až centimetrů. Hranice zrn se chovají jako defekty, a proto dosahují polykrystalické články menších účinností než monokrystalické.

Další metodou výroby je tažení pásů přímo z taveniny, kdy vzniká osmiboká trubka s konečnou tloušťkou stěny. Trubka je následně nařezána laserem na plátky potřebných rozměrů. Tato metoda je oproti předchozí úspornější a rychlejší [4].

Hybridní články HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer)

Tento typ článků je kombinací monokrystalického křemíku typu n a dvěma vrstvami amorfních tenkých plátek typu n a p (viz obr. 7) [12]. Jednotlivé vrstvy jsou od sebe odděleny nedotovanou amorfní mezivrstvou, která zajišťuje pasivaci povrchů, na kterých by mohlo docházet k rekombinaci. Tento typ článků je vhodný především do oblastí s vyššími teplotami díky svému nízkému poklesu výkonu s narůstající teplotou. V sériové výrobě je možné dosáhnout účinnosti až 19 % [4].



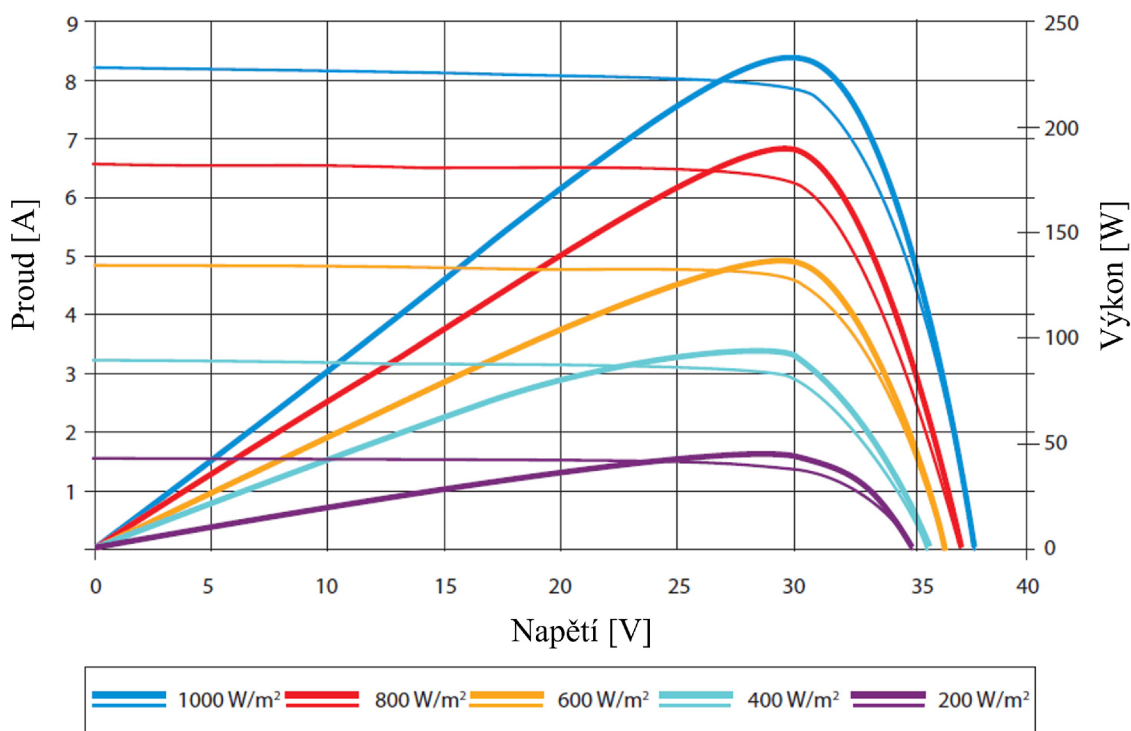
Obrázek 7: Hybridní články HIT (upraveno) [12].

2.1.6 Faktory ovlivňující činnost FV panelů

Aby bylo možné mezi sebou jednotlivé FV panely porovnávat, byly stanovené jednotné podmínky, při nichž lze určit příslušné elektrické parametry.⁵ V reálných podmínkách závisí účinnost na mnoha faktorech. Vlivy faktorů jsou různé pro jednotlivé materiály fotovoltaických panelů [13]. Mezi hlavní vlivy lze zařadit tyto:

- intenzita záření,
- teplota,
- stínění,
- orientace.

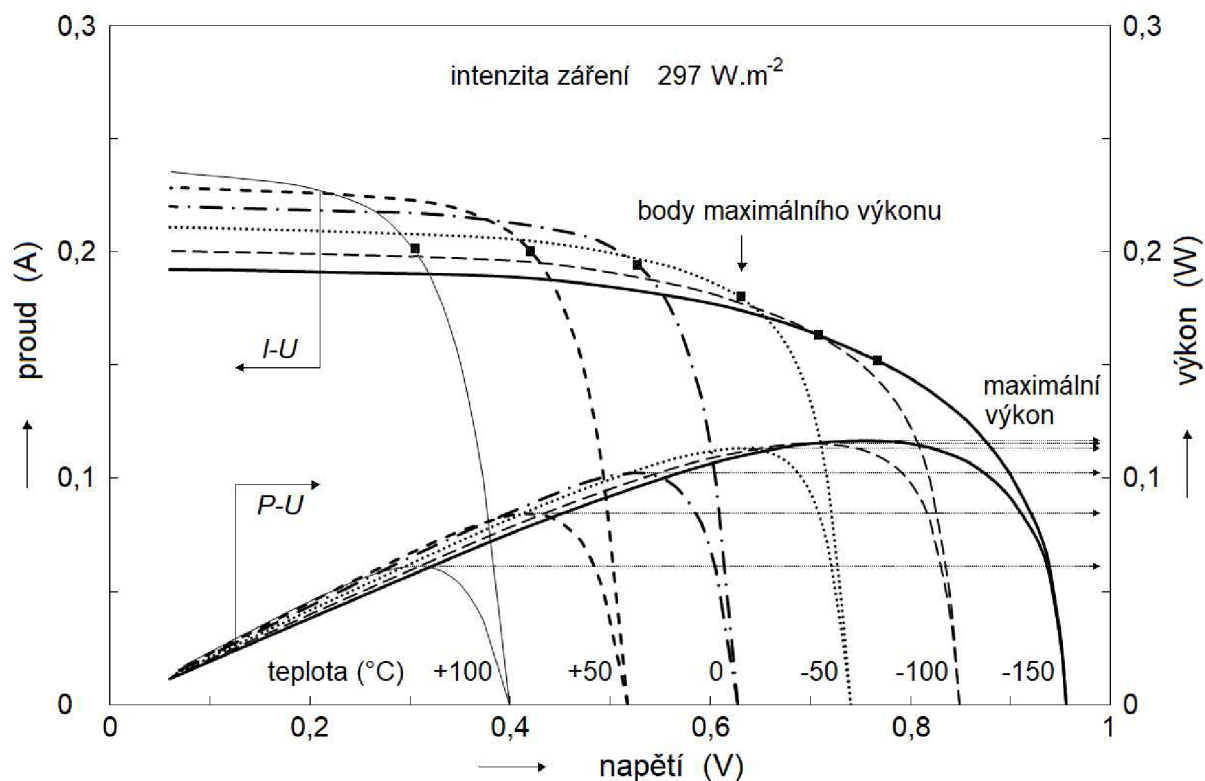
Intenzita záření je ovlivněna atmosférickými podmínkami, jako je například oblačnost, nadmořská výška a roční období [13]. To znamená, že se mění nejen v průběhu celého roku, ale také v průběhu dne. Z obr. 8 je patrné, že změny intenzity záření přímo ovlivňují velikost proudu, tedy i velikost maximálního výkonu. Se změnou proudu dochází i ke změně maximálního pracovního bodu.



Obrázek 8: I-V charakteristika v závislosti na intenzitě osvětlení při konstantní teplotě (upraveno) [14].

⁵STC (standart-test-condition) se stanovují dle normy EN 60904. Tato norma stanovuje určení elektrických parametrů při kolmém osvětlení o intenzitě slunečního záření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, teplotě článku $t=25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ a definovaného spektra světla s hodnotou faktoru AirMass $AM=1,5$ (faktor AirMass odpovídá dráze slunečního světla skrz zemskou atmosféru a souvisí tedy s polohou slunce skrz následující vztah $AM = \frac{1}{\sin(\gamma_s)}$) [4].

Teplota fotovoltaických článků se mění v průběhu dne i roku obdobným způsobem, jako se mění teplota vzduchu. Ve střední Evropě může dosahovat rozdíl teplot FVČ až 60 °C. Vysoká teplota způsobuje navýšení tepelné generace párů elektron-díra přes zakázaný pás. Tím se sníží rozdíl koncentrace elektronů a děr. Při uvažování konstantní intenzity záření dojde ke zmenšení fotovoltaického napětí naprázdno. Zároveň rostoucí teplota způsobí zúžení šířky zakázaného pásu, čímž dojde k zvětšení zkratového elektrického proudu (viz obr. 9). Z výše uvedeného vyplývá, že v oblastech s vysokými teplotami nemusí být nutně dosaženo maximálního výkonu, protože je snížena účinnost přeměny energie FVČ [15].



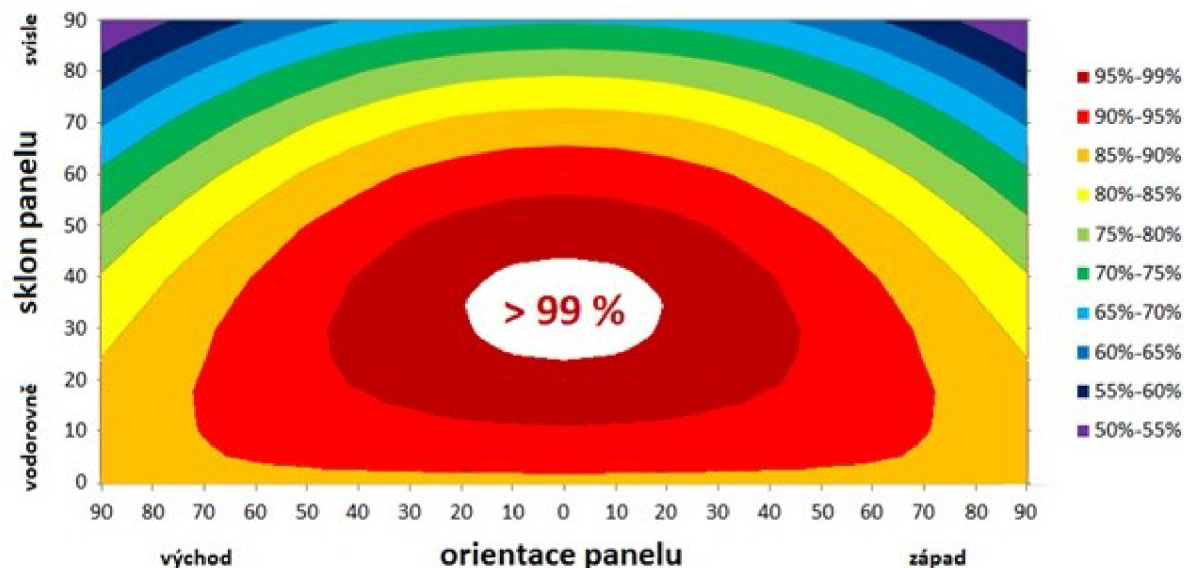
Obrázek 9: I-V charakteristika zahrnující vliv teploty při konstantní intenzitě záření [15].

Stínění fotovoltaických panelů způsobí to, že zasažená část obvodu přestává vyrábět proud, ale naopak ho spotřebovává. Tento jev může způsobit lokální zvýšení teploty v místě zastínění, protože dodávaná energie se mění na teplo. Pokud jsou teploty vysoké, může dojít k poškození fotovoltaického článku. Tomuto jevu lze zabránit zapojením bočnickových diod (mezi 18 až 20 článků). Sníží se tím také celkové ztráty vzniklé zastíněním [4].

Orientace fotovoltaických panelů vůči dopadajícímu slunečnímu záření ovlivňuje jejich produkci. Poloha Slunce se během roku mění. V České republice máme proto v létě delší dny a Slunce je ve vyšší poloze oproti zimním měsícům. Na obr. 10 lze pozorovat závislost výnosu energie na sklonu a orientaci panelů, přičemž maximálních výsledků je teoreticky dosaženo při sklonu 35 ° a orientaci na jih [16].

Vliv sklonu na výkonnost elektrárny byl prakticky zkoumán ve fotovoltaické laboratoři ČEZ u elektrárny Ledvice, která se nachází v Podkrušnohorské oblasti. Předmětem zkoumání byly monokrystalické panely o sklonech 15 °, 25 ° a 35 ° s orientací na jih. Pro sklon

25 ° byly využity také oboustranné a polykrystalické panely. Nejlepších výsledků dosáhly panely o sklonu 25 ° v pořadí: oboustranné, polykrystalické a monokrystalické panely. Oboustranné panely mají největší plochu pro absorpci záření (přední a zadní strana). Polykrystalické panely dosáhly mírně lepších výsledků než monokrystalické. Důvodem může být oblast, ve které bylo měření provedeno. V Podkrušnohoří dominuje difúzní záření, které lépe využívají polykrystalické panely [17].



Obrázek 10: Orientace FVE [16].

2.2 Střídač

Střídač je zařízení sloužící k převodu stejnosměrného proudu, který produkuje FV generátor, na proud střídavý. Při tomto převodu musí být dodržen kmitočet a napětí rozvodné sítě. U střídačů rozlišujeme dvě základní dělení podle způsobu aplikace, a to na střídače síťové a ostrovní.

Síťový typ střídačů se využívá pro připojení přes domovní rozvod nebo při přímém připojení na veřejnou rozvodnou síť. Rozvody mohou být jednofázové (u FV zařízení do 3,6 kWp) nebo trojfázové. Pro optimální účinnost FV zařízení se ve střídačích používá tzv. „MPP-tracker“ (Maximum power point-tracker). Ten zajistí, aby střídač pracoval při napětí, ve kterém dosahují fotovoltaické panely maximálního výkonu. Toto napětí se mění v závislosti na ozáření a teplotě fotovoltaického panelu. Pro přizpůsobení střídače rozvodné síti je někdy nutné použít nízkofrekvenční či vysokofrekvenční transformátory. Magnetické pole transformátorů způsobí oddělení stejnosměrného a střídavého okruhu, což snižuje nároky na bezpečnost. Naproti tomu se zvyšují ztráty výkonu a rostou konstrukční rozměry a hmotnosti, proto se dnes stále častěji objevuje varianta i bez využití transformátoru. U této varianty musí být napětí solárního zařízení výrazně vyšší než vrcholná hodnota síťového napětí, popřípadě se musí použít zvyšovací obvody DC/DC [4].

2.3 Akumulační systémy

V době, kdy převyšuje produkce elektrické energie fotovoltaických systému spotřebu domácnosti je vhodné přebytečnou energii uložit. K tomu nám slouží různé zásobníky energie. Mezi nejčastější patří olověné či lithium-iontové baterie, jejichž akumulační kapacity jsou pro fotovoltaické systémy dostačující (řádově 0,1 až 100 kWh).

2.3.1 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory se skládají z několika dílčích článků o jmenovitém napětí 2 V na článek, které se následně spojují sériově do bloku. Při vybíjení článků dochází ke spotřebě elektrolytu, který tvoří zředěná kyselina sírová. Při této chemické reakci dochází ke spotřebě síry, tedy k dalšímu ředění kyseliny. Při nabíjení dochází k opačnému procesu. Nicméně tento cyklus není zcela reverzibilní. Zejména při úplném vybití dochází ke snížení kapacity akumulátoru, a tím i jeho životnosti [4].

Mezi základní druhy olověných akumulátorů můžeme zařadit akumulátory s mřížkovými deskami a kapalným elektrolytem, gelové akumulátory, stacionární pancéřované deskové akumulátory a blokové akumulátory. Ve zmíněném pořadí narůstá jejich životnost, která může dosáhnout až patnáct let [4].

2.3.2 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie jsou v současné době nejvíce využívané. Oproti olověným akumulátorům mají řadu předností. Například dosahují většího počtu cyklů, mají větší energetickou kapacitu a hloubku vybití (Depth of Discharge – DoD) [4]. Při využití nabíjecích regulátorů a při správné údržbě se jejich životnost odhaduje na více jak dvacet let. Nabíjecí regulátoru chrání baterie před přebitím a hlubokým vybitím pomocí spínačů typu MOSFET či IGBT [4].

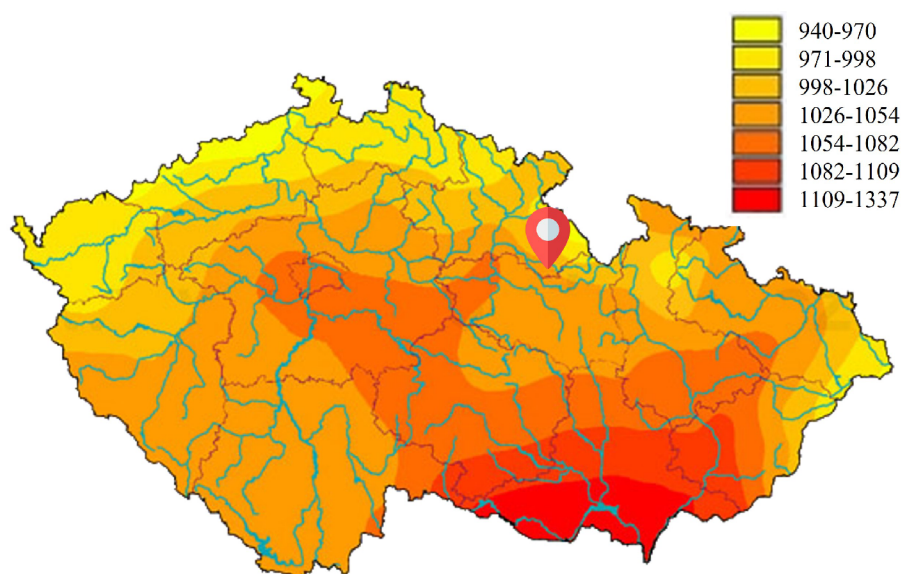
Z hlediska konstrukce je anoda tvořena oxidem kovu lithia a katoda je vyrobena z grafitu. Mezi póly je umístěn separátor, který má zabránit vzniku vnitřních zkratů. Elektrolytem je směs lithiových solí s obsahem fluoru a organického rozpouštědla [4].

3 Návrh FVE pro rodinný dům

Tato kapitola se zaměřuje na návrh fotovoltaického systému pro konkrétní rodinný dům. Nejprve bude zhodnocena poloha rodinného domu a jeho vhodnost pro instalaci fotovoltaické elektrárny. S přihlédnutím na spotřebu domácnosti a velikost střechy domu budou vybrány vhodné komponenty.

3.1 Zhodnocení polohy a orientace domu

Fotovoltaická elektrárna je navržena pro rodinný dům nacházející se ve východní části České republiky (viz obr. 11). V této oblasti je průměrný roční úhrn globálního slunečního záření přibližně $1040 \pm 14 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obrázek 11: Roční úhrn globálního slunečního záření v České republice [18].

Fotovoltaické panely budou umístěné na jižní část střechy, která se odchyluje od jižního směru o 3° směrem k východu.¹ Ačkoli se dům nachází v zastavěné oblasti, v současné situaci se v jeho okolí nenacházejí objekty, které by způsobovaly zastínění části střechy, na kterou je plánovaná výstavba elektrárny. Na obr. 12 je zobrazen pohled na jižní stranu domu. Na tomto obrázku jsou rozlišené dvě části jižní střechy, které se odlišují především svým sklonem, ale také plochou (viz tab. 1).

Tabulka 1: Parametry jižní střechy rodinného domu.

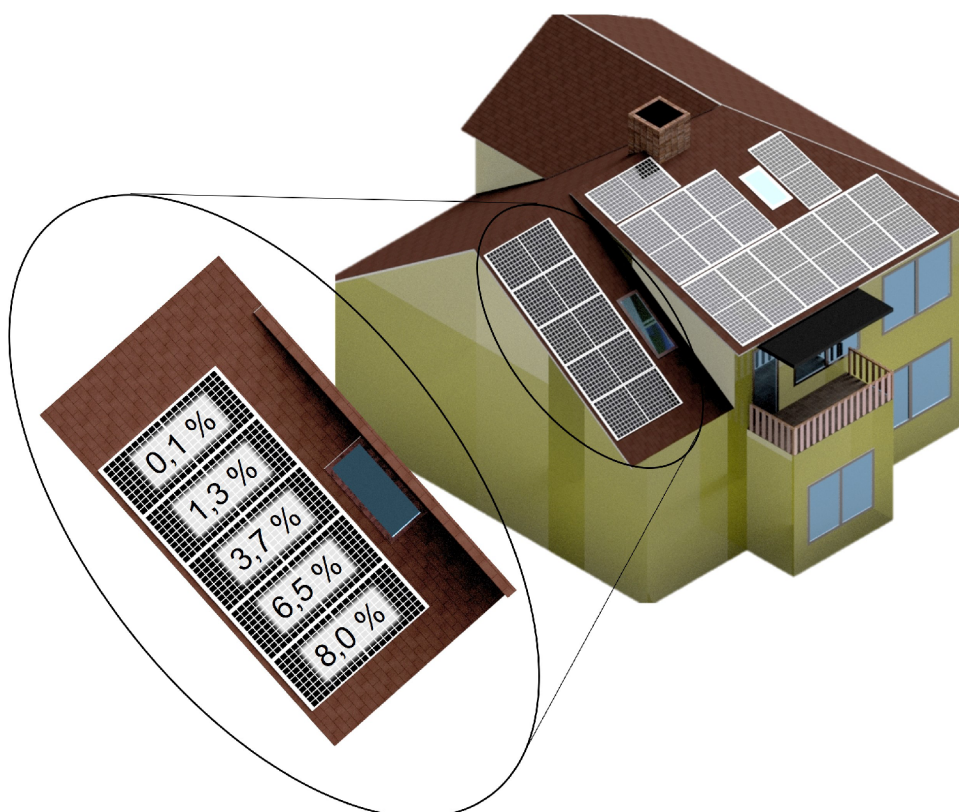
Střecha	Sklon [°]	Délka [m]	Šířka [m]	Plocha [m ²]
1	18	7,9	5,7	36,8
2	35	3,3	6,2	20,4

¹Určeno pomocí nástroje azimutu webové aplikace Mapy.cz.



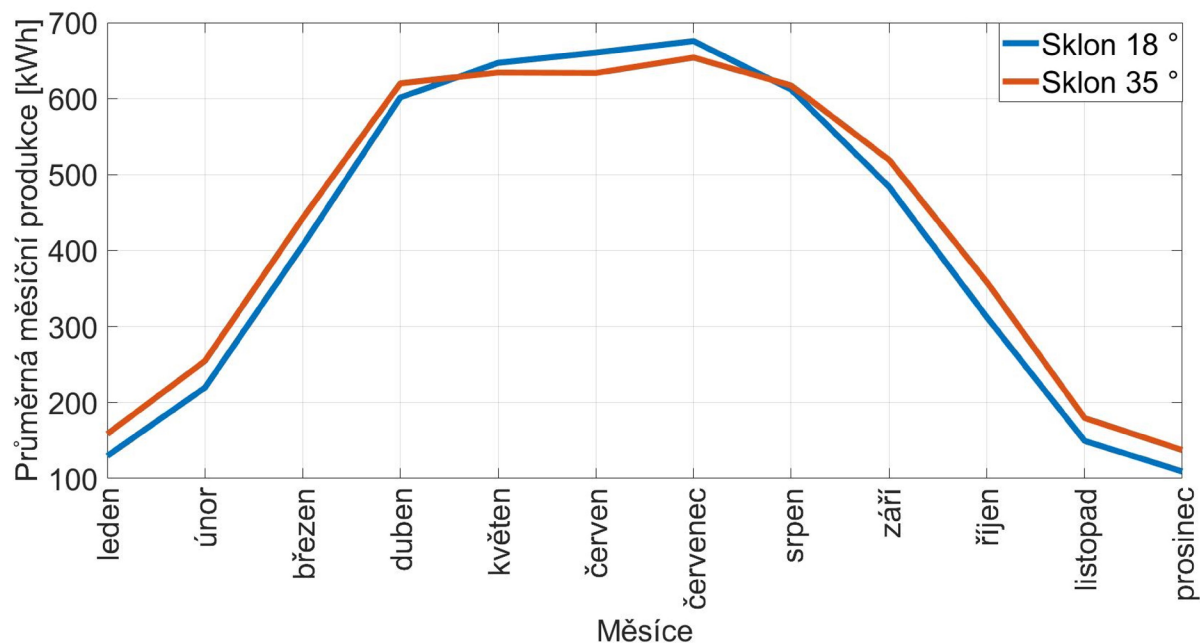
Obrázek 12: Pohled na jižní stranu domu.

Obr. 12 je pouze ilustrativní a nedává dobrou představu o možném rozmístění panelů. Pomocí výkresové dokumentace byl vytvořen zjednodušený model domu (viz obr. 13), který již lépe zachycuje možnosti umístění. Při plném využití střechy orientované na jih lze nainstalovat 16 panelů. Na střechu se sklonem 18° bude možné umístit 11 panelů a na střechu se sklonem 35° 5 panelů.



Obrázek 13: Model uspořádání panelů včetně frekvence zastínění levé části střechy.

Na obr. 14 je zobrazena závislost produkce elektrické energie FVE na sklonu střechy.² Fotovoltaická elektrárna produkuje teoreticky nejvíce energie při sklonu 35 ° (viz část 2.1.6). Na obr. 14 tomuto sklonu odpovídá červená křivka. Tento sklon má střecha označená číslem dva. Sklon 18 ° (modrá křivka) dosahuje vyšší produkce v letních měsících, kdy je Slunce vysoko nad obzorem. Naopak v zimním období je produkce nižší.



Obrázek 14: Vliv sklonu na výkonnost elektrárny.

Vyrovnaný průběh produkce energie během roku je jistě žádoucí z hlediska vlastní spotřeby. Vyšší produkce zejména v jarním a podzimním období zvyšuje počet dnů, kdy domácnost může fungovat soběstačně. To je výhodné i za cenu nižší produkce přebytků v letním období obzvláště tehdy, kdy není zajištěn výhodný výkupní tarif přebývajících energie.

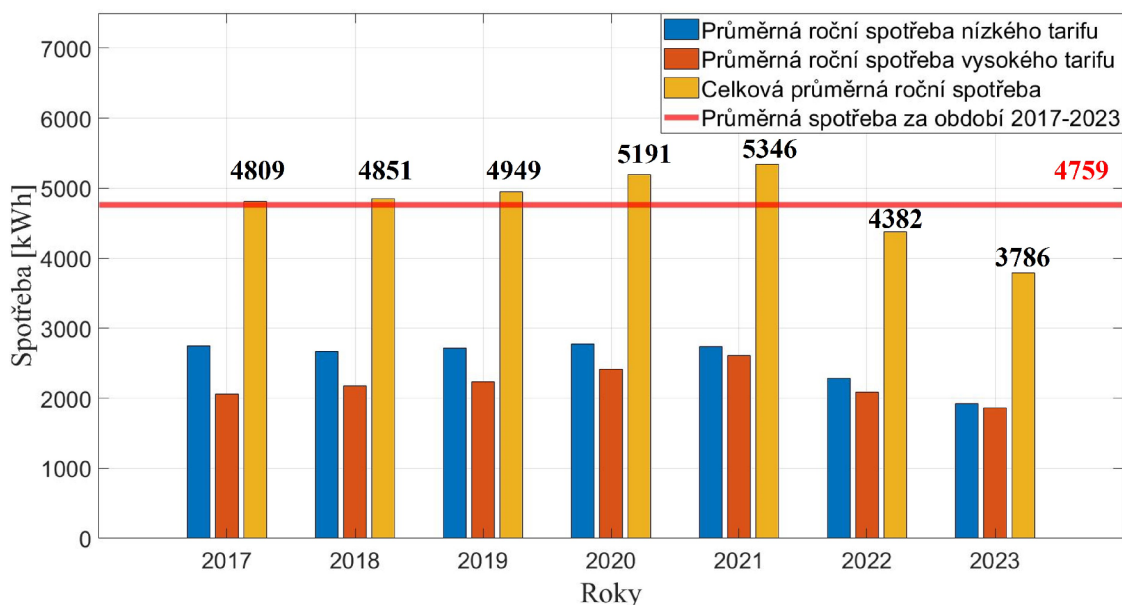
Nicméně další významnou roli má zastínění panelů (viz část 2.1.6). Samotné geometrické uspořádání střechy a přístřešek způsobují, že v dopoledních hodinách je část střechy s větším sklonem zastíněna. Tento jev je patrný převážně v zimním období, kdy je poloha Slunce níže nad obzorem (viz obr. 13). Lze očekávat, že zastínění způsobí jisté poklesy v produkci elektrické energie. Na obr. 13 lze vidět, že stínění nebude mít významný vliv na panely umístěné v horní části střechy. V dolní části pravděpodobně dojde ke snížení jejich produkce.

3.2 Spotřeba domácnosti

Důležitým parametrem, který je nutno posoudit při navrhování fotovoltaického systému, je vlastní spotřeba domácnosti. Následující obr. 15 zobrazuje průměrnou roční spotřebu domácnosti v období od roku 2017 až do roku 2023. Vyjma roků 2020 a 2021, které byly poznamenány krizí COVID-19, byla spotřeba vždy nižší než 5 MWh. Poslední rok byla naopak spotřeba nejnižší za celé zmiňované období. Je to dáno tím, že během pracovního

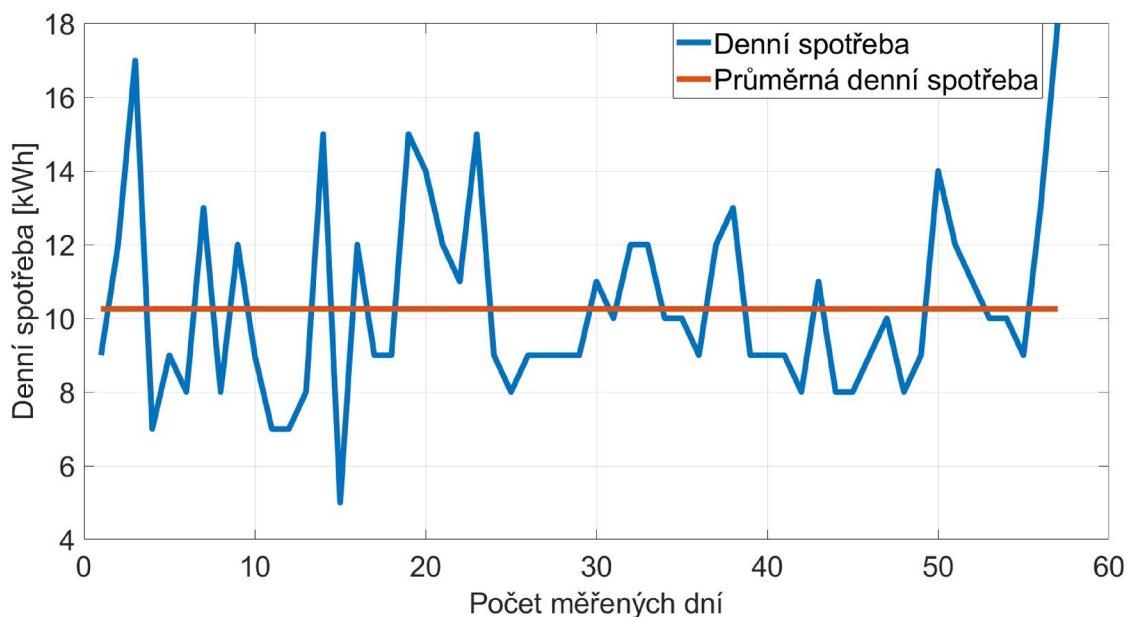
²Hodnoty pro jednotlivé sklony byly získány pomocí programu PVGIS. PVGIS provádí výpočet na základě přesné polohy rodinného domu.

týdne bydlí v domácnosti pouze dva lidé, proto je i spotřeba nižší. O víkendech naopak spotřeba narůstá, protože dům obývá pět lidí. Během zmiňovaného období byla spotřeba přibližně rovnoměrně rozdělena mezi nízký a vysoký tarif.



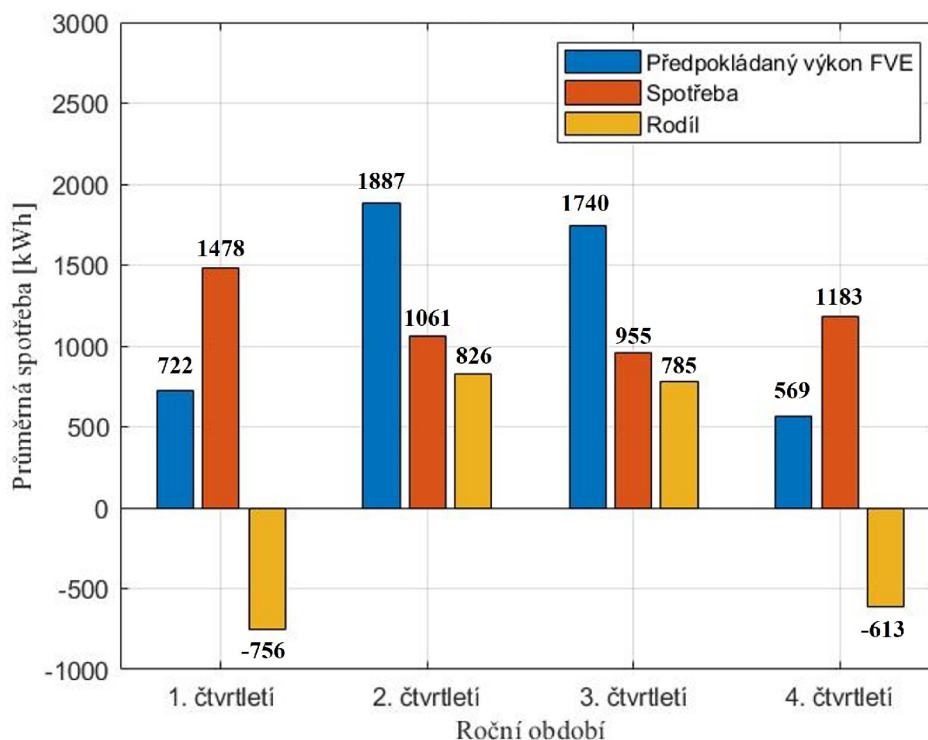
Obrázek 15: Spotřeba energie v období 2017 až 2023.

Následující obr. 16 zobrazuje data z měření spotřeby v jednotlivých dnech v období od ledna do března 2023. Na měření jsou patrné výkyvy ve spotřebě. Vysoké hodnoty znázorňují víkendy, kdy je spotřeba vysoká. Dále je možné si všimnout minimální hodnoty spotřeby během dne, která souvisí s provozem spotřebičů, jejichž provoz nezávisí na přítomnosti osob (například chladničky, mrazničky, atd...). Tuto spotřebu bude možné snížit pouze výměnou spotřebičů za energeticky méně náročné.



Obrázek 16: Denní spotřeba.

Poslední obr. 17 týkající se spotřeby zobrazuje spotřebu za rok 2021 pro jednotlivá čtvrtletí. Je patrné, že v zimních měsících spotřeba narůstá, v létě je naopak nejnižší a na jaře a na podzim je spotřeba mezi těmito hodnotami. Při porovnání spotřeby během roku s odhadem produkce fotovoltaické elektrárny lze říci, že v některých měsících prvního a čtvrtého čtvrtletí bude nutné energii dokupovat, naopak ve druhém a třetím lze počítat s přebytky energie.



Obrázek 17: Spotřeba v roce 2021.

3.3 Určení roční produkce

Výpočet předpokládané roční produkce fotovoltaické elektrárny bude proveden na základě postupu výpočtu roční metody uvedené v ČSN EN 15316-4-6³,

$$E_{el,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{I_{ref}}, \quad (3.1)$$

kde $E_{el,pv,out}$ [$kWh \cdot rok^{-1}$] je elektřina vyrobená FV soustavou, E_{sol} [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$] je roční dodávka slunečního ozáření fotovoltaické soustavy, P_{pk} [kW] je špičkový výkon, představující elektrický výkon fotovoltaického systému s danou plochou pro sluneční ozáření $1 kW \cdot m^2$ této plochy (při $25^\circ C$), f_{perf} je činitel výkonnosti systému a I_{ref} [$kW \cdot m^2$] referenční sluneční ozáření rovné $1 kW \cdot m^{-2}$.

³Výpočet byl proveden pomocí normy ČSN EN 15316-4-6:2014, ačkoli byla tato norma nahrazena novou normou ČSN EN 15316-4-3:2017. Normy se shodují ve výpočtu roční metody, nová norma je pouze doplněna o metody měsíční a hodinovou, které ovšem nebudou ve výpočtu využity. Naproti tomu norma ČSN EN 15316-4-3:2017 neobsahuje Národní přílohu NA zohledňující podmínky v České republice, proto byla vybrána norma ČSN EN 15316-4-6:2014.

3.3.1 Výpočet dávky slunečního ozáření fotovoltaických modulů

Dávka slunečního ozáření E_{sol} se stanoví dle Národní přílohy NA normy ČSN EN 15316-4-6:

Tabulka 2: Roční dávka slunečního ozáření E_{sol} [19].

Orientace		Sklon					
		15 °	30 °	45 °	60 °	75 °	90 °
jih	0 °	1 111	1 154	1 147	1 082	966	809
	15 °	1 101	1 149	1 137	1 073	959	805
	30 °	1 090	1 128	1 113	1 049	938	791
jihozápad, jihovýchod	45 °	1 071	1 094	1 073	1 006	902	765
	60 °	1 046	1 051	1 020	953	853	727
	75 °	1 018	1 003	959	887	790	678
východ, západ	90 °	967	946	888	813	723	623

Roční dávka slunečního ozáření E_{sol} bude určena pomocí lineární aproximace pro orientaci 3 ° a sklon 18 ° i 35 °, pro případné využití obou variant.

Hodnota pro orientaci 3 ° a sklon 15 °,

$$E_{sol}^{3°,15°} = E_{sol}^{0°,15°} + (3° - 0°) \cdot \frac{E_{sol}^{15°,15°} - E_{sol}^{0°,15°}}{15° - 0°}, \quad (3.2)$$

$$E_{sol}^{3°,15°} = 1111 + \frac{3}{15} \cdot (1101 - 1111) = 1109 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (3.3)$$

Hodnota pro orientaci 3 ° a sklon 30 °,

$$E_{sol}^{3°,30°} = E_{sol}^{0°,30°} + (3° - 0°) \cdot \frac{E_{sol}^{15°,30°} - E_{sol}^{0°,30°}}{15° - 0°}, \quad (3.4)$$

$$E_{sol}^{3°,30°} = 1154 + \frac{3}{15} \cdot (1149 - 1154) = 1153 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (3.5)$$

Výsledná hodnota pro orientaci 3 ° a sklon 18 °,

$$E_{sol}^{3°,18°} = E_{sol}^{3°,15°} + (18° - 15°) \cdot \frac{E_{sol}^{3°,30°} - E_{sol}^{3°,15°}}{30° - 15°}, \quad (3.6)$$

$$E_{sol}^{3°,18°} = 1109 + \frac{3}{15} \cdot (1153 - 1109) = 1117,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (3.7)$$

Stejným způsobem bude vypočtena i hodnota pro orientaci 3 ° a sklon 35 °,

$$E_{sol}^{3°,35°} = E_{sol}^{3°,30°} + (35° - 30°) \cdot \frac{E_{sol}^{3°,45°} - E_{sol}^{3°,30°}}{45° - 30°}, \quad (3.8)$$

$$E_{sol}^{3°,35°} = 1153 + \frac{5}{15} \cdot (1145 - 1153) = 1150,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (3.9)$$

Výsledná hodnota roční dávky slunečního ozáření je pro orientaci 3° a sklon 18° $1117,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$, pro orientaci 3° a sklon 35° $1150,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Výsledky budou využity pro výpočet předpokládané roční produkce fotovoltaické elektrárny.

3.3.2 Určení činitele výkonnosti soustavy

Hodnota činitele výkonnosti bude určena z Tabulky B.4 normy ČSN EN 15316-4-6:

Tabulka 3: Informativní hodnoty činitele výkonnosti soustavy [19].

Druh integrace fotovoltaického modulu do knihovny	f_{perf}
Nevětrané moduly	0,70
Mírně větrané moduly	0,75
Silně větrané moduly nebo nuceně větrané moduly	0,80

S ohledem na umístění fotovoltaických panelů na střechu rodinného domu lze považovat moduly za silně větrané, a proto bude ve výpočtu použit koeficient $f_{perf}=0,8$.

3.3.3 Výpočet předpokládané roční produkce FV elektrárny

Předpokládaná roční produkce elektrické energie $E_{el,pv,out}$ bude určena jako součet hodnot vyprodukované energie soustavou 11 panelů o sklonu 18° a 5 panelů o sklonu 35° . Pro výpočet výkonu bude využit následující vztah:

$$E_{el,pv,out} = E_{el,pv,out}^{3^\circ,18^\circ} + E_{el,pv,out}^{3^\circ,35^\circ}, \quad (3.10)$$

$$E_{el,pv,out}^{3^\circ,18^\circ} = \frac{E_{sol}^{3^\circ,18^\circ} \cdot P_{pk}^{3^\circ,18^\circ} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} = \frac{1117,8 \cdot 11 \cdot 0,45 \cdot 0,8}{1} = 4426 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}, \quad (3.11)$$

$$E_{el,pv,out}^{3^\circ,35^\circ} = \frac{E_{sol}^{3^\circ,35^\circ} \cdot P_{pk}^{3^\circ,35^\circ} \cdot f_{perf}}{I_{ref}} = \frac{1150,3 \cdot 5 \cdot 0,45 \cdot 0,8}{1} = 2071 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}, \quad (3.12)$$

$$E_{el,pv,out} = E_{el,pv,out}^{3^\circ,18^\circ} + E_{el,pv,out}^{3^\circ,35^\circ} = 6497 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (3.13)$$

Lze předpokládat, že při instalaci všech 16 panelů bude roční produkce $6497 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. Výpočet pomocí roční metody je poměrně konzervativní. Pro porovnání jsou v tab. 4 uvedeny výsledky z programu PVSOL, který uvažuje při výpočtu polohu domu a zahrnuje i vliv zastínění.

Tabulka 4: Roční produkce fotovoltaické elektrárny.

	11 panelů o sklonu 18°	5 panelů o sklonu 35°	Celkem
Roční metoda	$4426 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	$2071 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	$6497 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$
PVSOL	$5416 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	$2168 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	$7584 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$

Pro vlastní spotřebu domácnosti bude postačující instalace 11 panelů o sklonu 18° . Pro případné zisky z prodeje přebývající elektrické energie lze uvažovat o rozšíření fotovoltaické elektrárny o panely pod sklonem 35° . V současné situaci není výhodné prodávat přebytky

společnostem, které to umožňují (více viz část 4.3), proto bude nainstalováno pouze 11 panelů.

3.4 Komponenty fotovoltaického systému

Následující kapitola pojednává o hlavních komponentech fotovoltaického systému, konkrétně o fotovoltaických panelech, střídači a baterii. U jednotlivých součástí budou rozebrány jejich požadované vlastnosti. Na základě požadovaných vlastností budou vybrány konkrétní produkty.

3.4.1 Fotovoltaické panely

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, panely rozdělujeme dle použité technologie výroby a materiálu na amorfní, polykrystalické a monokrystalické. Amorfní mají své určité přednosti, ale jejich hlavním nedostatkem je nízká účinnost. Pro dosažení stejného výkonu, jako mají monokrystalické panely, potřebují značně větší plochu. To není zcela vhodné pro rodinné domy, kde je prostor omezen velikostí střechy.

V současné situaci se na trhu objevují nejčastěji monokrystalické fotovoltaické moduly, v menším množství poté polykrystalické moduly. Při srovnání poměru výkonu panelů vůči jejich ceně lze zjistit, že polykrystalické moduly dosahují horšího poměru. Mimo jiné vykazují také větší ztrátový výkon v závislosti na rostoucí teplotě. Protože jejich účinnost nedosahuje takových hodnot jako u monokrystalických panelů, mají také nižší poměr výkonu vůči ploše, kterou zabírají. To se projeví vyššími nároky na prostor při stejném výkonu. Výslednou volbou budou tedy monokrystalické panely.

Jednotlivé monokrystalické panely dosahují přibližně podobných účinností a jejich výkon klesá s rostoucí teplotou téměř shodným tempem. Většina firem garantuje u panelů záruku na výkon po dobu 25 let a záruku na funkčnost výrobku po dobu 12 let. Odlišnosti lze nalézt především ve výkonu a také v ceně produktů. Pro náš rodinný dům jsem vybral panely firmy LONGI o výkonu $P_p = 450 \text{ Wp}$. V níže uvedené tab. 5 jsou uvedené základní charakteristiky vybraného fotovoltaického panelu.

Tabulka 5: Charakteristiky FV panelu [20].

LONGi 450 Wp	
Maximální výkon	450 Wp
Účinnost modulu	20,7 %
Výška	2094 mm
Šířka	1038 mm
Hloubka	35 mm
Záruka na funkčnost	12 let
Záruka na lineární výkon	25 let
Degradace výkonu	<2 % (1. rok) 0,55 % (2. až 25. rok)

3.4.2 Hybridní střídač

V teoretickém úvodu bylo zmíněno, že střídače můžeme rozdělit podle počtu zapojených fází na jednofázové nebo třífázové. Vzhledem k faktu, že plánovaný instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny je 4,95 kWp, je nutné zvolit střídač třífázový. Jednofázové střídače jsou dimenzované pouze do výkonu 3,6 kWp [4].

Dále je důležité zdůraznit, že navrhovaná fotovoltaická elektrárna se nachází v České republice, kde probíhá měření spotřeby elektrické energie po jednotlivých fázích, nikoliv součtem salda elektroměru (jako tomu je v jiných evropských zemích) [21]. Z toho vyplývá, že v této zemi při současné legislativě není vhodné použití synchronního střídače, který rozděluje výkon rovnoměrně do všech fází. Spotřeba v jednotlivých fázích může být různá, a proto by mohla nastat situace, kdy dochází zároveň k prodeji přebytků v určité fázi a k nákupu elektrické energie ve fázi jiné. Při současných rozdílných cenách nákupu a prodeje energie je tato situace zcela nevýhodná. Řešením je koupě asymetrického střídače.

V nabídce dodavatele si bylo možné vybrat mezi střídači o výkonu 5 nebo 8 kW. Střídač o výkonu 5 kW by byl pro jmenovitý výkon panelů 4,95 kWp postačující, ale neumožňoval by případné rozšíření systému. Z tohoto důvodu byl vybrán měnič o vyšším výkonu, tedy 8 kW.

Pro dosažení nároku na dotaci Nová zelená úsporám musí splňovat měnič jisté požadavky. Musí být vybaven zároveň fotovoltaickým a bateriovým vstupem s možností ostrovního provozu. Dále je předepsána minimální hodnota Euro účinnosti 95 %. Systém musí být vybaven sledovačem bodu maximálního výkonu (MPPT) [22]. Po uvážení výše uvedených požadavků byl zvolen měnič SOFAR Solar HYD 8KTL-3PH (parametry uvedené v tab. 6).

Tabulka 6: Charakteristiky hybridního střídače [23].

SOFAR Solar HYD 8KTL-3PH	
Jmenovité napětí	8 kW
Počet FV vstupů (počet MPPT)	2
Výška	571 mm
Šířka	515 mm
Hloubka	264 mm
Pohotovostní spotřeba	<15 W
Komunikační rozhraní	CAN (RS 485)
Záruka	5 let

3.4.3 Bateriové uložení

Akumulace do baterií umožňuje flexibilnější provoz a zdroj levnější energie ve dnech s nízkým osvětlením. Opět je vhodné nejprve zmínit podmínky pro získání dotace Nová zelená úsporám, které ovlivňují samotný výběr: „V případě použití bateriového systému (s el. akumulátory) je minimální podporovaná kapacita vyjádřená v kWh stanovena na jednonásobek a maximální podporovaná kapacita na dvojnásobek podporovaného instalovaného

výkonu FV modulů v kWp. Akumulátory na bázi olova (vč. gelových, AGM a trakčních), Ni-MH, Ni-Fe nejsou podporovány [22].“ Jako vhodnou variantou se jeví baterie na bázi lithia s kapacitou v rozmezí 5 až 10 kWh.

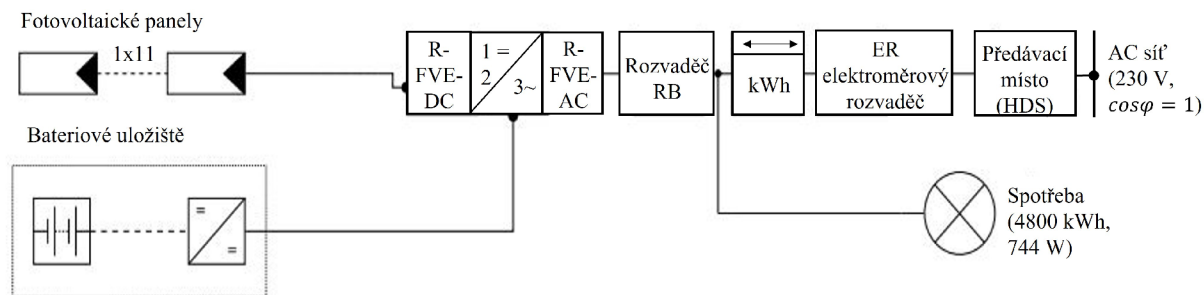
Při uvážení průměrné denní spotřeby domácnosti, která činila za poslední rok přibližně $12 \text{ kWh} \cdot \text{den}^{-1}$, a počtu dní bez plného osvitů v prostředí České republiky byla zvolena hodnota kapacity baterie 10 kWh. V rámci kompatibility měniče a baterie byl navržen výrobek firmy SOFAR-Solar AMASSTORE BTS DS5 10kWh (parametry viz tab. 7).

Tabulka 7: Charakteristiky lithiové baterie [24].

SOFAR-Solar AMASSTORE BTS DS5 10kWh	
Nominální kapacita	10 kWh
Nominální nabíjecí/vybíjecí proud	7 A
Výška	1100 mm
Šířka	708 mm
Hloubka	170 mm
Chlazení	pasivní
Záruka	5 let

3.5 Schéma zapojení

Na obr. 18 je znázorněno zjednodušené schéma elektroinstalace fotovoltaické elektrárny.



Obrázek 18: Elektroinstalace FVE.

Fotovoltaické panely, produkující stejnosměrný proud, jsou pomocí vodičů propojeny s tzv. rozpadovým místem elektrické sítě. Rozpadové místo se skládá z několika částí, a to ze stejnosměrného rozvaděče (na obr. 18 jako R-FVE-DC), baterie, střídače a střídavého rozvaděče (na obr. 18 jako R-FVE-AC).

Hlavní funkcí stejnosměrného rozvaděče je sběr stejnosměrného proudu z fotovoltaických panelů a jeho rozvod do střídače nebo přímo do bateriového systému. Stejnosměrný rozvaděč obsahuje pojistkové prvky, které chrání celý fotovoltaický systém před přetížením a zkratem. Ze stejnosměrného rozvaděče se dostává stejnosměrný proud do střídače, kde dojde k jeho přeměně na střídavý proud. Střídač obsahuje dva MPP trackery, pomocí nichž reguluje výkon fotovoltaického systému. Protože byl zvolen střídač o větším výkonu, byly

fotovoltaické panely zapojeny pouze na jeden MPP tracker. Druhý MPP tracker umožňuje případné rozšíření fotovoltaické elektrárny o další panely. Poslední částí rozpadového místa je střídavý rozvaděč, který umožňuje připojení fotovoltaické elektrárny do elektrické sítě. Rovněž zahrnuje pojistkové prvky.

Po střídači následuje obousměrný elektroměr, který slouží k monitorování toku elektrické energie mezi fotovoltaickou elektrárnou a elektrickou sítí. Poslední částí elektrického obvodu je předávací místo (neboli hlavní domovní skříň). Toto místo slouží k jištění proti přetížení a zkratu přívodního vedení a k možnosti odpojení odběrného zařízení.

4 Ekonomické zhodnocení

4.1 Pořizovací náklady

V tab. 8¹ jsou uvedeny pořizovací náklady na realizaci projektu. Z tabulky je patrné, že nejdražší položkou v nákladech je baterie. Baterie zvyšuje množství energie, která může být použita pro přímou spotřebu. Také umožňuje navýšení celkové hodnoty dotace, proto je její koupě výhodná.

Tabulka 8: Pořizovací náklady.

Položka	Počet	Cena za ks [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena včetně DPH [Kč]
Fotovoltaický panel	11 ks	4 372,0	48 092,0	55 305,8
Fotovoltaický střídač 8 kW	1 ks	55 545,0	55 545,0	63 876,8
Baterie 10 kWh	1 ks	123 923,0	123 923,0	142 511,5
Ostatní materiál	1 ks	37 528,00	37 528,00	43 157,2
Náklady na připojení rozvaděče	1 ks	39 605,8	39 605,8	45 546,7
Práce	1 ks	73 000,0	73 000,0	83 950,0
Celkem			383 693,0	441 267,0

4.2 Nová zelená úsporám

Nová zelená úsporám je dotační program zaměřující se na podporu energetických opatření v rodinných domech. Dotace je možná čerpat i na fotovoltaickou elektrárnu, které se týká podoblast podpory C.3. Celková výše podpory je omezená na 50 % celkových přímých realizačních výdajů (popřípadě 60 % v případě využití dotačního bonusu). Podklady pro výpočet dotace jsou uvedeny v tab. 9:

Tabulka 9: Výpočet hodnoty dotace [22].

Instalované části systému FVE	Výše podpory [Kč]
Minimální instalace o výkonu 2 kWp	40 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem (dle definice v kap. 12)	60 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000
Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia	10 000

¹Detailní rozpis nákladů je k dispozici v příloze A. Ceny uvedené v tabulce jsou bez DPH.

Dle výše uvedené tab. 9 je proveden výpočet odhadované výše dotace pro konkrétní instalaci na rodinný dům. Výsledky jsou shrnuty v tab. 10.

Tabulka 10: Odhadovaná hodnota dotace.

Instalované části systému FVE	Počet kusů	Výše podpory [Kč]
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem (dle definice v kap. 12)	1	60 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	3	30 000
Za 1 kWh el. akumulčního systému s akumulátory na bázi lithia	10	100 000
Celková výše dotace		190 000

4.3 Ekonomika provozu

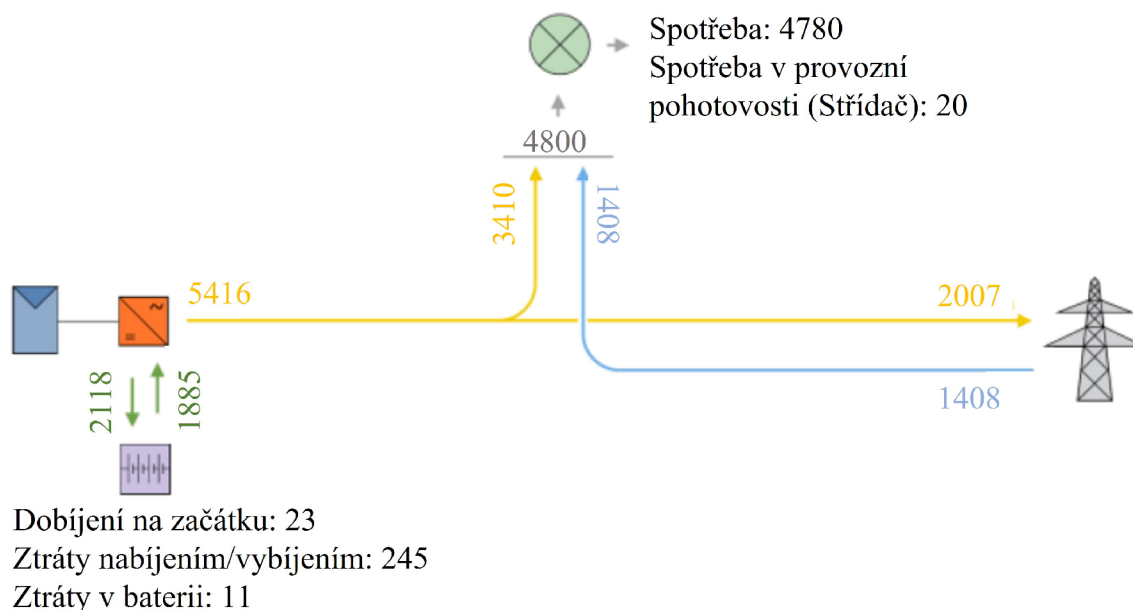
S instalací fotovoltaické elektrárny je potřeba zařídit i čtyřkvadrantní elektroměr. Každý elektroměr má své specifické číslo, tzv. *spotřební EAN*. Prostřednictvím tohoto čísla je možné nakupovat a prodávat elektrickou energii, ovšem pouze od jednoho dodavatele [25]. Tato domácnost má u dodavatele sjednaný nákup elektrické energie za fixní ceny po dobu tří let. Odstupovat od nynější smlouvy se jeví jako nevýhodné z pohledu celkové návratnosti investice, protože odstup je spojen s vysokými poplatky. Z tohoto důvodu nebude změněn dodavatel elektrické energie.

Dne 1. 1. 2023 schválila Rada Energetického regulačního úřadu (ERÚ) novelu vyhlášky O Pravidlech trhu s elektřinou.² Tato vyhláška ukládá povinnost provozovateli distribuční soustavy poskytnout výrobcí bez licence tzv. *výrobní EAN*. Výrobní EAN slouží k prodeji přebytků elektrické energie. Vlastník mikrozdroje tedy může mít dvě čísla EAN, která jsou na sobě zcela nezávislá. Prostřednictvím spotřebního EANu může od jednoho dodavatele nakupovat a pomocí výrobního EANu u jiného prodávat, například na spotovém trhu [27].

Pro posouzení výhodnosti dvou EAN čísel je dobré znát předpokládané toky energií.³ Na obr. 19 je v horní části zapsána spotřeba domácnosti 4 800 kWh včetně započtení spotřeby střídače. Žlutá barva značí výrobu elektrické energie, která činí 5 416 kWh. Předpokládá se, že část energie bude využita přímo na spotřebu domácnosti, konkrétně 3 410 kWh. Zbývající část energie (2 007 kWh) nebude využita a bude odeslána distributorovi do sítě. Protože spotřeba domácnosti není plně pokryta výrobou fotovoltaické elektrárny, bude nutné potřebnou elektrickou energii dokoupit. Energie dodávaná ze sítě je označena modrou barvou a její odhadované množství je 1 408 kWh.

²Jedná se o vyhlášku publikovanou ve Sbírce zákonu pod č. 404/2022 Sb. Tato vyhláška mění předchozí označenou č. 408/2015 Sb [26].

³Simulace předpokládaného energetického toku byla Vytvořena pomocí programu PVSOL pro konkrétní konfiguraci viz obr. 13 Program při výpočtu uvažuje přesnou polohu domu a vychází z vytvořeného modelu s možným rozmístěním panelů. Ve výpočtu zohledňuje i případné zastínění. Výsledky se odlišují od roční metody výpočtu, jejíž výsledky byly pouze orientační.



Obrázek 19: Graf toků energie.

Dle obr. 19 lze předpokládat, že při navržené instalaci bude nutné dokoupit 1 408 kWh elektrické energii. V následující tab. 11 je uvažována situace, ve které je elektřina nakoupena za podmínek stávající smlouvy. Není zde brán v potaz možný prodej přebytků. V tabulce jsou uvedeny náklady spojené s nákupem elektrické energie bez i s fotovoltaickou elektrárnou.⁴

Tabulka 11: Náklady spojené s nákupem elektrické energie.

Položka	Jednotky	Bez FVE	S FVE
Množství energie			
Množství potřebné energie	MWh· rok ⁻¹	4,800	1,408
Množství zakoupené energie v NT	MWh· rok ⁻¹	2,400	0,708
Množství zakoupené energie v VT	MWh· rok ⁻¹	2,400	0,708
Náklady za nákup			
Obchodní cena	Kč· MWh ⁻¹	6 050,00	6 050,00
Cena za distribuci VT	Kč· MWh ⁻¹	2 061,36	2 061,36
Cena za distribuci NT	Kč· MWh ⁻¹	210,52	210,52
Měsíční poplatky	Kč· rok ⁻¹	4 228,2	4 228,2
Celkem	Kč· rok⁻¹	38 720	14 409

⁴Pro výpočet obchodní ceny byla využita zastropovaná cena elektřiny 6 050 Kč· MWh⁻¹, ačkoliv dle smlouvy je cena vyšší, a to 7 198,29 Kč· MWh⁻¹.

Ve výše uvedené tab. 11 byly vypočteny předpokládané náklady na nákup elektrické energie. Na základě předchozích dat bylo zjištěno, že nákup v nízkém a vysokém tarifu byl v poměru přibližně 1:1. Předpokládá se, že bude tento poměr zachován i do budoucna. Z výsledků je patrné, že pouze využitím energie na vlastní spotřebu dojde výrazným způsobem ke snížení nákladů za nákup elektrické energie.

Obdobným způsobem budou vypočteny možné zisky z prodeje přebytečné energie. Současná situace na trhu nabízí dvě možnosti jak nakládat s přebytečnou energií. V tab. 12 jsou porovnány možnosti výkupu přebytečné energie.⁵

Tabulka 12: Srovnání možností výkupu energie.

Položka	Jednotky	Elektřina pro soláry	Přímý prodej přebytků
Toky energie			
Množství potřebné energie	MWh·rok ⁻¹	1,408	1,408
Množství přebytečné energie	MWh·rok ⁻¹	2,007	2,007
Množství zakoupené energie	MWh·rok ⁻¹	0	1,408
Množství prodané energie	MWh·rok ⁻¹	0	2,007
Náklady za nákup			
Obchodní cena	Kč·MWh ⁻¹	5 747,50	6 050,00
Cena za distribuci VT	Kč·MWh ⁻¹	2 137,67	2 061,36
Cena za distribuci NT	Kč·MWh ⁻¹	217,78	210,52
Měsíční poplatky	Kč·rok ⁻¹	4 944	4 228,2
Celkem	Kč·rok⁻¹	6 566	14 346
Výnosy z prodeje			
Průměrná výkupní cena	Kč·MWh ⁻¹	0	3,5
Celkem	Kč·rok⁻¹	0	7 025
Celkové náklady			
Celkem	Kč·rok⁻¹	6 566	7 283

První možností výkupu je přímý prodej. Jak již bylo zmíněno výše v části 4.3, při sjednání výrobního EANu je možné prodávat přebytky společností, které odkup umožňují. Odkup je umožněn buď za fixní ceny, nebo za ceny na spotovém trhu. Prodej za fixní ceny společnosti nabízí většinou zadarmo, u prodeje za spotové ceny jsou účtovány poplatky za zprostředkování služby [28]. O spotovém trhu bude pojednáno v následující kapitole 4.4.

Druhou možností je uložení přebytečné energie do tzv. *virtuálních baterií*. Jedná se o službu, ve které společnosti nabízejí svým odběratelům vzdálenou akumulaci energie.

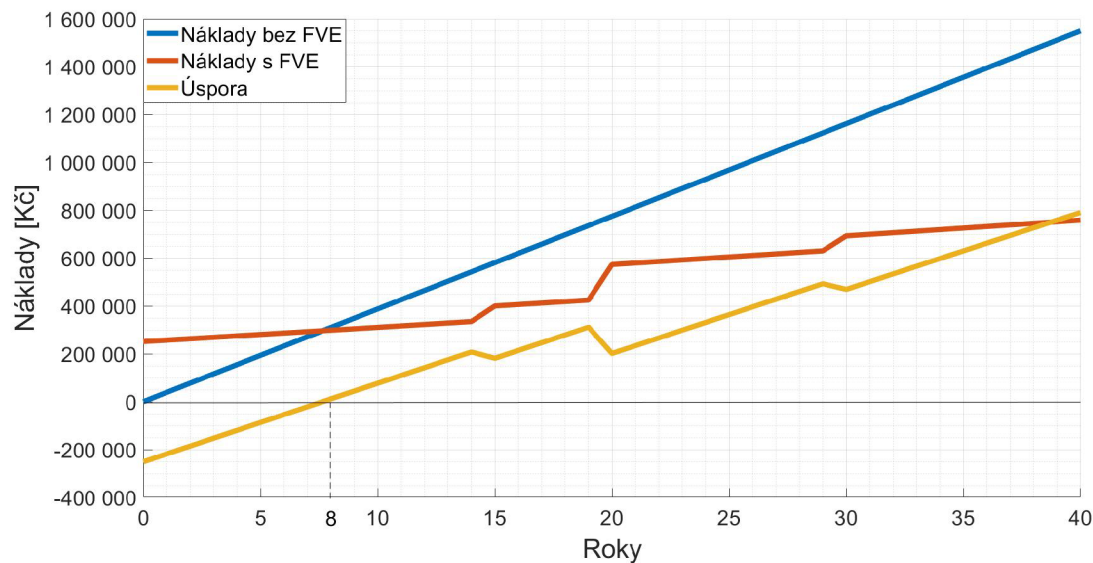
⁵Ceny produktu Elektřina pro soláry jsou uvedeny pro ceník platný od 16. 4. 2023. Rovněž průměrná výkupní cena byla stanovena v tomto období.

To znamená, že zákazník odesílá svou přebytečnou energii do sítě. Společnost ČEZ nabízí tuto službu pod názvem Elektrina pro soláry. Svým odběratelům umožňují změnu ze stávající smlouvy prostřednictvím dohody o úpravě smlouvy [29]. Při ročním vyúčtování je množství zakoupené energie sníženo o množství energie dodané do sítě. Pokud je do sítě dodáno stejně nebo více energie než je z ní odebráno, jsou náklady za obchodní cenu energie nulové. To ovšem neplatí pro cenu za distribuci a měsíční poplatky. Navíc jsou dále účtovány poplatky za provoz této služby.

Z výsledků v tab. 12 vyplývá, že v současné situaci je výhodnější zřízení virtuální baterie. Pokud bude množství přebytků stejné nebo pokud bude převyšovat energii potřebnou k dokoupení, u produktu virtuální baterie nebude účtována obchodní cena energie. To umožňuje další snížení nákladů, které jsou vysoké. Zisk z prodeje přebytečné energie za fixní ceny nedokáže kompenzovat náklady za nákup. Při výpočtu bylo využito cen zastropovaných státem. Pokud by stát přestal garantovat maximální možné ceny energií, došlo by k návratu ke stávající smlouvě a cenové rozdíly by byly ještě vyšší.

4.3.1 Zhodnocení návratnosti

Jak již bylo zmíněno, z ekonomického hlediska umožňuje fotovoltaická elektrárna především snížení nákladů. Na obr. 20 jsou porovnány dvě teoretické situace.



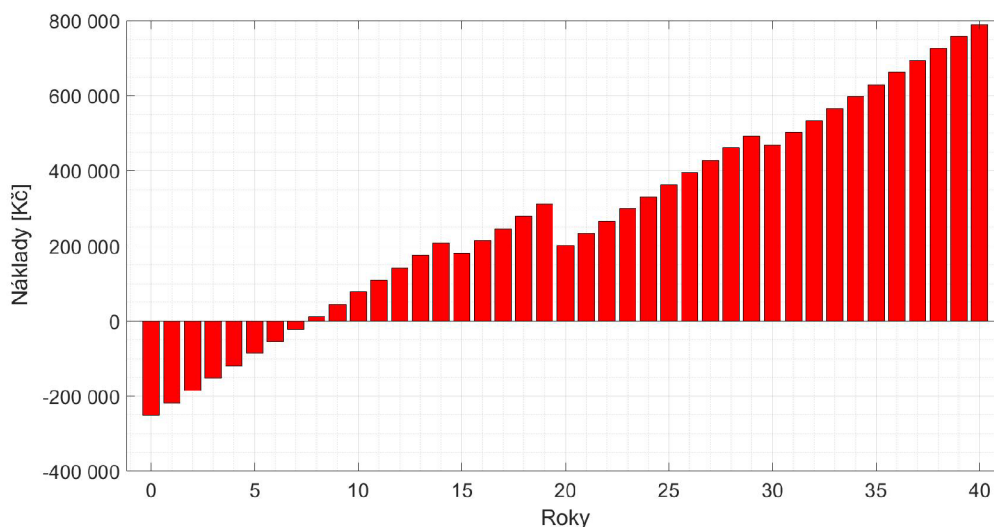
Obrázek 20: Návratnost investice.

První z nich uvažuje situaci bez pořízení fotovoltaické elektrárny při stálých cenách energie bez započtení inflace či hodnoty peněz. Jedná se tedy o lineární charakteristiku, se stálými ročními výdaji.

Druhá situace uvažuje pořízení fotovoltaické elektrárny. Tato investice je spojena s počátečními náklady (viz tab. 8), které jsou sníženy o dotaci Nová zelená úsporám (viz část 4.2). Dále je nutné počítat s náklady spojenými výměnou některých prvků systému, které mají omezenou životnost. Jedná se především o střídač s uvažovanou životností 15 let, baterie s životností 20 let. U fotovoltaických panelů se předpokládá životnost 40 let, ovšem

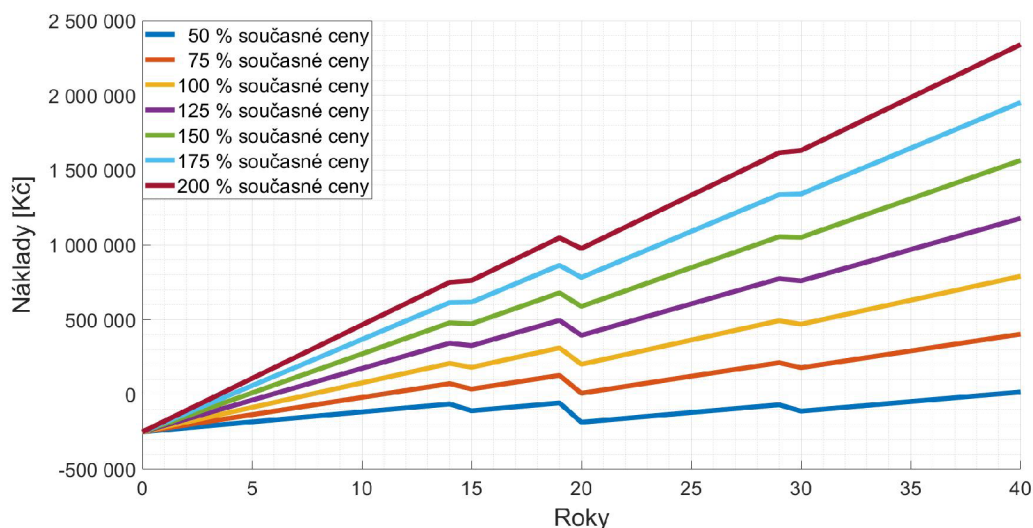
projevuje se zde degradace výkonu, kterou uvádí výrobce (viz tab. 5). Při zřízení produktu virtuální baterie se sníží roční náklady spojené s nákupem energie od distributora.

Následně byl v každém roce vypočten rozdíl těchto dvou hodnot. Během prvních šesti let je investice prodělečná. Úspora na nákupu energie nepokrývá počáteční investici. Tuto informaci zobrazuje i obr. 21 o peněžních tocích, který lépe vystihuje návratnost investice. Ta je při uvažovaném modelu přibližně 8 let.



Obrázek 21: Peněžní toky.

Na základě úvahy, že cena energií bude do budoucna narůstat byl vytvořen prediktivní model (viz obr. 22). Model uvažuje různé hodnoty cen elektrické energie, a to 50 %, 75 %, 100 %, 125 %, 150 %, 175 % a 200 % hodnoty současné ceny energie. Se zdražováním energie by se snižovala doba návratnosti investice z původních 8 let. Při zlevňování by byla doba návratnosti naopak delší.



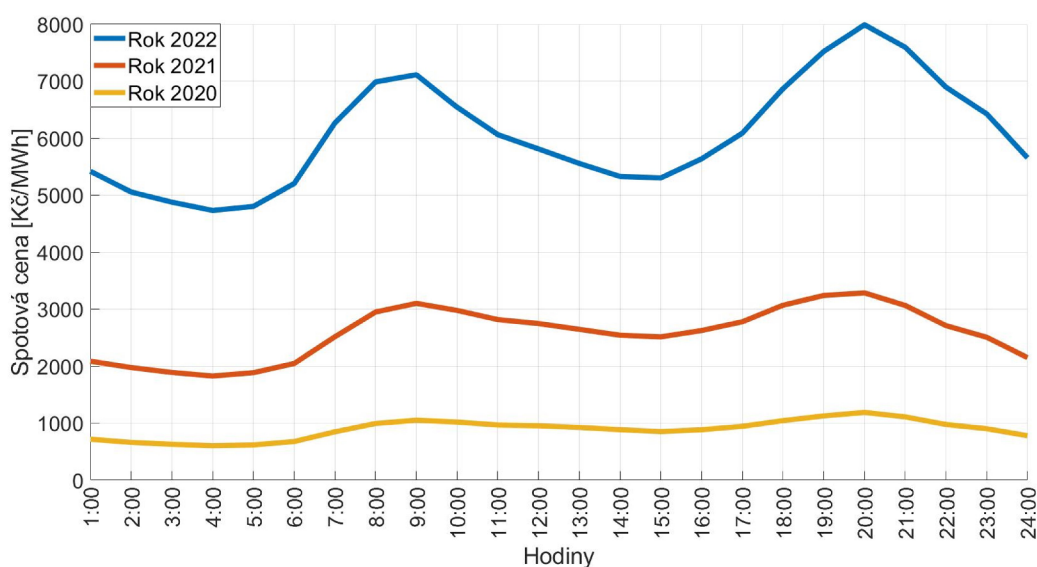
Obrázek 22: Prediktivní model nárůstu cen energií.

Pro hodnotu 50 % současné ceny energie (tmavě modrá křivka) by investice výhodná nebyla. Pro hodnotu 75 % současné ceny energie (oranžová křivka) by doba návratnosti vzrostla na přibližně 11 let. Pokud se cena energií nezmění, zůstane doba návratnosti 8 let (žlutá křivka). Jak již bylo zmíněno, při zdražování energie dojde ke zkrácení doby návratnosti. Pro hodnotu 125 % současné ceny (fialová křivka) je doba návratnosti přibližně 6 let, pro 150 % (zelená křivka) 5 let, pro 175 % (světle modrá křivka) a 200 % (červená křivka) přibližně 4 roky.

4.4 Spotový trh

Podmínkou pro vstup na spotový trh je vlastnictví průběhového elektroměru. Změna z neprůběhového měření na průběhové z důvodu nově připojené výroby je zdarma. Ovšem změna na požádání zákazníka je spojena s poplatky. Jednorázový poplatek pro rok 2023 činí 4 590,74 Kč a stálá roční platba je 2 060,63 Kč [30]. Ceny za poplatky zvyšují náklady a snižují možné výhody spotového trhu.

Spotový trh nabízí možnosti nákupu elektrické energie za hodinové sazby. Na obr. 23 jsou znázorněny průměrné ceny v jednotlivých hodinách během dne za uplynulé tři roky [31].



Obrázek 23: Průměrné roční ceny na spotové trhu.

Pro běžného spotřebitele, který má největší spotřebu elektrické energie ve večerních hodinách, není spotový trh příliš výhodný. Pokud lze využít nějaké formy akumulace energie, například do baterií či do elektromobilu, je možné nakoupit energii pouze v určitých časových rozmezech. Z obr. 23 je patrné, že nejnižších cen je dosaženo mezi druhou a čtvrtou hodinou ráno a poté mezi první a třetí hodinou odpolední. Nejvyšší ceny jsou naopak okolo deváté hodiny dopoledne a okolo osmé hodiny večer.

V tab. 13 je uvažován teoretický model, ve kterém by bylo možné baterii nabít za nejnižší ceny na trhu a poté s její pomocí pokrýt vlastní spotřebu. Následně by mohla být veškerá vyprodukovaná energie použita na prodej za nejvyšší ceny (v tab. 13 nazvané jako *optimistický scénář*). Tento model je pouze teoretický a ve skutečnosti by byl velice těžko

realizovatelný. Cílem je pouze zjistit maximální možný zisk, který může dát představu o tom, zda-li vůbec může být spotový trh výhodný. Rovněž je zde uvažována i opačná situace, kdy by veškerá energie byla nakoupena za nejvyšší ceny a prodána za ceny nejnižší (v tab. 13 nazvané jako *pesimistický scénář*).

Pro nákup a prodej na spotovém trhu je nutné platit poplatky spojené s distribucí.⁶ Navíc jsou zde také denní poplatky za zřízení produktu a také poplatky za zprostředkování obchodu, a to jak při nákupu, tak při prodeji. V tab. 13 byly poplatky za prodej přebytečné energie odečteny ze zisků, proto se fotovoltaické elektrárny o různých výkonech neliší v nákladech. Jak již bylo zmíněno, je zde uvažována ideální situace, která pravděpodobně nemůže nastat. Nicméně je zajímavé si všimnout, v jakém rozmezí se jednotlivé scénáře pohybují. Situace je navíc příznivější, pokud se zvýší produkce fotovoltaické elektrárny. Při přechodu na spotový trh by bylo vhodné uvažovat o jejím rozšíření.

Tabulka 13: Spotový trh.

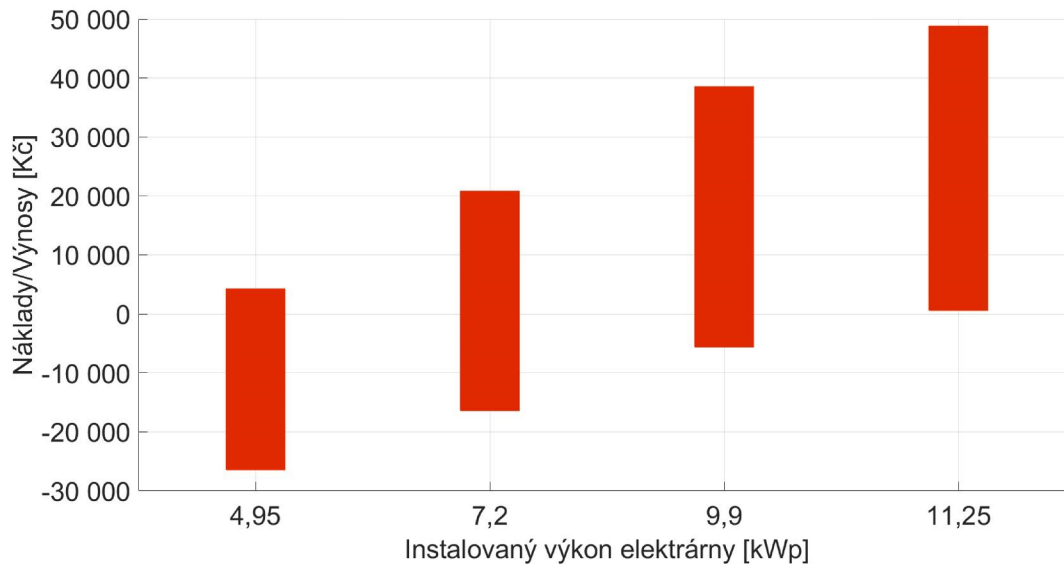
	Jednotky	Optimistický scénář		Pesimistický scénář	
Instalovaný výkon	kWp	4,95	7,2	4,95	7,2
Denní poplatek	Kč·rok ⁻¹	1 847	1 847	1 847	1 847
Měsíční platby	Kč·rok ⁻¹	3 060	3 060	3 060	3 060
Spotřeba	kWh·rok ⁻¹	4 800	4 800	4 800	4 800
Nízká cena	Kč·kWh ⁻¹	5	5	8	8
Cena za služby obchodu	Kč·kWh ⁻¹	0,363	0,363	0,363	0,363
Regulované platby a daň	Kč·kWh ⁻¹	1,350	1,350	1,350	1,350
Náklady	Kč·rok⁻¹	37 129	37 129	51 529	51 529
Produkce FVE	kWh·rok ⁻¹	5 416	7 584	5 416	7 584
Vysoká cena	Kč·kWh ⁻¹	8	8	5	5
Cena za služby obchodu	Kč·kWh ⁻¹	0,363	0,363	0,363	0,363
Zisk z prodeje	Kč·rok⁻¹	41 362	57 919	25 114	35 137
Celkem	Kč·rok⁻¹	4 233	20 790	-26 415	-16 392

Na základě úvahy, že s rostoucí výkonností elektrárny roste možný zisk z prodeje, byl vytvořen graf (viz obr. 24). V něm jsou uvažovány čtyři možné výkony, a to 4,95 kWp (současný stav), 7,2 kWp (rozšíření o zbylou jižní částí střechy), 9,9 kWp (rozšíření o východní část střechy) a 11,25 kWp (rozšíření o západní část střechy).

Na obr. 24 je pro každý výkon zobrazeno rozmezí, ve kterém by se mohla nacházet výsledná hodnota nákladů (popřípadě výnosů) za energii. Pro určitý výkon, u kterého by byla produkce značně vyšší než spotřeba, by bylo možné dosáhnout nulových nákladů. Pro výkon 4,95 kWp by bylo možné dosáhnout zisku 4 223 Kč při správném načasování nákupu

⁶Při nákladech za distribuci byl uvažovaný rovnoměrný nákup v nízkém i vysokém tarifu.

a prodeje energie. V opačném případě by přechod na spotový trh mohl zvýšit náklady až na hodnotu 26 415 Kč. V případě zvýšení výkonu elektrárny na 7,2 kWp by byl možný zisk přibližně 16 000 Kč a náklady 21 000 Kč. Při výkonu 9,9 kWp se rozmezí posouvá na -5 000 Kč až 38 000 Kč a při 11,25 kWp na přibližně nulové náklady a potenciální zisk 48 000 Kč.



Obrázek 24: Výnosy spotového trhu.

Další výhodou spotového trhu je možnost automatizace nákupů a prodej přetoků elektrické energie. Údaje o cenách v jednotlivých hodinách jsou zveřejňovány s jednodenním předstihem. Společně s informacemi o počasí lze optimalizovat energetické toky pomocí komunikace Modbus RTU tak, aby byly ekonomicky výhodné. Cílem této části je pouze poukázat na to, že na trhu existují další možnosti, o kterých by bylo možné do budoucna uvažovat.

Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům ve východních Čechách. Při návrhu byla zhodnocena poloha a orientace domu vůči dopadajícímu záření. Na základě zhodnocení orientace domu byla vybrána vhodná plocha střechy pro instalaci fotovoltaické elektrárny. Velikost plochy střechy společně s údaji o spotřebě domácnosti byly rozhodujícím faktorem pro určení výkonu fotovoltaické elektrárny, který je 4,95 kWp (11 FV panelů). Nainstalovaný výkon byl určující charakteristikou pro dimenzování ostatních komponentů.

Volba střídače byla ovlivněná současným způsobem měření elektrické energie po fázích na území České republiky. Z tohoto důvodu bylo nutné volit střídač asymetrický. Pro případné rozšíření fotovoltaické elektrárny byl volen střídač o vyšším výkonu 8 kW. Baterie byla volena z důvodu kompatibility od stejného výrobce jako střídač. Kapacita baterie zohledňuje především průměrnou denní spotřebu rodinného domu. Velikost kapacity baterie je 10 kWh.

Další částí této práce bylo ekonomické zhodnocení navrženého systému. Po započtení veškerých nákladů spojených s instalací byla od celkové ceny odečtena výše dotace Nová zelená úsporám. Výsledná hodnota sloužila pro určení doby návratnosti při současných cenách energií. Důležitým faktorem při posuzování návratnosti byl výběr produktu umožňující výkup přebytečné elektrické energie.

Při zohlednění uzavřené smlouvy s dodavatelem elektrické energie byl zvolen produkt, který nejlépe řeší současnou situaci. Jedná se o produkt Elektřina pro soláry, který pracuje na principu virtuální baterie. Při jeho sjednání se sníží jinak vysoké náklady na nákup elektrické energie. Očekávaná doba návratnosti při současných cenách elektrické energie je 8 let. Skutečnou dobu návratnosti ovlivní zejména vývoj cen energií, nutnost výměny jednotlivých komponentů fotovoltaického systému a výkupní cena přebytečné energie. Příznivým způsobem může dobu návratnosti ovlivnit i bezúročná půjčka, která byla na tuto investici použita.

Po uplynutí doby sjednaných smluv je vhodné opětovné prozkoumání situace na trhu. Jako zajímavou variantou se jeví například automatizace prodeje a nákupu elektrické energie na spotovém trhu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BIOLKOVÁ, Jitka. S-Power MIDI+: sestava s 11,1 kWh baterie za nejlepší cenu na trhu [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/nuLPH>.
- [2] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. Teorie i praxe využití solární energie. Praha: ILSA, 2009. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [3] KRÁLOVÁ, Magda. Techmania Science Center: Fotoelektrický jev [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/6uLPo>.
- [4] HASELHUHN, Ralf; MAULE, Petr. Fotovoltaické systémy: energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. 1. české vydání, rev. 1. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- [5] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [6] Svět energie: Vzdělávací portál ČEZ: Energetika zblízka (nedatováno) [online]. [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: <https://1url.cz/4uLPW>.
- [7] BANNERT, Petr. Praktika z fotovoltaiky [online]. Varnsdorf, 2012 [cit. 2023-01-11]. Dostupné z: http://files.polous.cz/solar_energy/.
- [8] Innogy: Fotovoltaický panel (nedatováno) [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/yuL95>.
- [9] DSNSolar: Zadní vrstva solárního panelu nebo PV zadní vrstva (nedatováno) [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/ruL9I>.
- [10] POULEK, Vladislav; LIBRA, Martin. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. Sv. 2010 [online]. [cit. 2023-01-15]. Č. 3. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>.
- [11] HQ Line: Fotovoltaické panely (nedatováno) [online]. [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/buL9P>.
- [12] Australian Solar Quotes: HIT Solar Modules [online]. 2018. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/VuLPu>.
- [13] Clean Energy Reviews: Most Efficient Solar Panels 2022 [online]. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/BuLPL>.
- [14] Coder Tronics: C2000 SOLAR MPPT TUTORIAL PT/1 [online]. 2014. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/buL9m>.
- [15] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav; KOUŘÍM, Pavel. Obnovitelné zdroje: Teplota významně ovlivňuje účinnost fotovoltaické elektrárny [online]. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/wuL9A>.
- [16] BECHNÍK, Bronislav. Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů [online]. 2014. [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/xuL98>.
- [17] ZILVAR, Jiří. Jaký je nejlepší sklon a orientace fotovoltaických panelů pro solární pole? [online]. 2021. [cit. 2023-02-16]. Dostupné z: <https://1url.cz/YuLPp>.

- [18] Isofen Energy s.r.o. Fotovoltaika v podmínkách České republiky [online]. České Budějovice, 2009 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://1url.cz/iuL9U>.
- [19] ČSN EN 15316-4-6. Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy: Část 4-6: Výroba tepla na vytápění, fotovoltaické systémy. 2008.
- [20] Resacs: Fotovoltaický solární panel LONGI LR4-72HPH 450Wp monokrystalický (nedatováno) [online]. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/2uLPE>.
- [21] Energie pro život: Čemu se vyhnout při nákupu FV systému II. (nedatováno) [online]. Praha [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: <https://1url.cz/5uL9w>.
- [22] Nová zelená úsporám (nedatováno) [online]. [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>.
- [23] Hybridní měnič SOFAR Solar (nedatováno) [online]. Boršice u Blatnice: VS ELEKTRO PLUS s.r.o. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/0uLP2>.
- [24] Baterie AMASSTORE BTS DS5 (nedatováno) [online]. Boršice u Blatnice: VS ELEKTRO PLUS s.r.o. [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://1url.cz/8uLPq>.
- [25] *EnergSolar*: Rozdělení na dva EANy přinese spotřební a výrobní EAN pro všechny. Jak vydělat na prodeji elektřiny [online]. 2022. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://1url.cz/HuLP1>.
- [26] GLOGAR, Martin. Právní prostor: Novela vyhlášky o Pravidlech trhu s elektřinou [online]. 2022. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://1url.cz/nuLPF>.
- [27] Metro: Díky výrobnímu EANu mohou mít majitelé malých fotovoltaik prodej přebytků výhodnější. SolidSun pomůže s jeho vyřízením a zajistí jim výkup [online]. 2023. [cit. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://1url.cz/5uLPR>.
- [28] WOFF, Petr. CenyEnergie: Výkup přebytků z FVE 2023: nabízené ceny [online]. 2023. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://1url.cz/quLP3>.
- [29] ČEZ: Elektřina pro soláry [online]. 2023. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://1url.cz/6uLPV>.
- [30] ČEZ Distribuce: CENÍKY SLUŽEB [online]. 2023. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://1url.cz/MuLPk>.
- [31] OTE: Roční zpráva [online]. 2023. [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://1url.cz/NuLPs>.

Seznam příloh

Příloha A Pořizovací náklady

A Pořizovací náklady

Položka	Počet	Cena za ks [Kč]	Cena bez DPH [Kč]
PŘEMÍSTĚNÍ ER			
Rozvaděč ER 212/NVP7P	1 ks	8 888,00	8 888,00
Jistič LTN 25B/3	1 ks	613,00	613,00
Vypínač MSO 32/3	1 ks	816,00	816,00
Stykač RSI 20-10	1 ks	456,00	456,00
Kabel CYKY-J 5x1,5	10 m	25,60	256,00
Kabel CYKY-J 4x10	4 m	125,00	500,00
Trubka PC 20	8 m	16,00	128,00
KRABICE PRO PŘEVOD V STÁV. ER			
Přístrojová skříň 8M	1 ks	281,00	281,00
Kombichránič OLE 168/1	1 ks	1 240,00	1 240,00
Zásuvka soklová	1 ks	372,00	372,00
Svorkovice HLAK + sv. řadová	1 ks	422,00	422,00
TRASA OD RD K RFVE A NA PŮDU	1 ks	2 000,00	2 000,00
STŘECHA, TECHNOLOGIE FVE			
Panel LONGi 450 Wp	11 ks	4 372,00	48 092,00
Střešní hák nastavitelný NEREZ	32 ks	214,00	6 848,00
TRIC profil 6m	6 ks	1 129,00	6 774,00
TRIC spojka	2 ks	74,00	148,00
Krajovka	16 ks	58,00	928,00
Středovka	14 ks	54,90	768,60
Vrut RAPID	64 ks	10,00	640,00
SSY SOFAR střídač HYD 8KTL-3PH	1 ks	55 545,00	55 545,00
SSY SOFAR baterie HV BTS 5,12	2 ks	57 579,00	115 158,00
SSY SOFAR BMS BTS PRO BATERIE BTS	1 ks	8 765,00	8 765,00
CYA 6	30 m	22,00	660,00
Oko CY 6/6	15 ks	12,00	180,00
Konektor FVE	6 ks	30,00	180,00
CYY6	52 m	25,00	1 300,00
Recyklační poplatek	1 ks	532,00	532,00

UZEMNĚNÍ			
Zemnicí tyč ZT 1,5 X	5 ks	395,00	1 975,00
Drát FeZn 10	5 m	44,00	220,00
Krabice Ph 8711 + SZA + OKO	1 ks	236,00	236,00
CYA 25	25 m	84,00	2 100,00
Trubka VRM 16 + příchytky	1 ks	150,00	150,00
ROZVADĚČ FVE DC + AC			
Rozvaděč 18M	1 ks	783,00	783,00
Rozvaděč 12M	1 ks	505,00	505,00
Pojistkový odpínač OPVF 1000 + pojistky	1 ks	480,00	480,00
Svodič FLP 12,5/4	1 ks	3 947,00	3 947,00
Svodič SLP 700 V/Y	1 ks	2 201,00	2 201,00
Relé VS 116K	1 ks	308,00	308,00
Vypínač MSO 32/3	1 ks	834,00	834,00
Jistič LTN 16B/3	1 ks	129,00	129,00
Pojistkový spodek + pojistka	3 ks	56,00	168,00
Svorka RSP	1 ks	46,00	46,00
Stykač RSI 40/40	1 ks	1 533,00	1 533,00
Jistič LTN 6B/1	1 ks	129,00	129,00
Pomocný a propojovací materiál	1 ks	500,00	500,00
ÚPRAVA ELEKTROINSTALACE			
CYKY-J 5x4	44 m	44,30	1 949,00
CYKY-J 3x1,5	26 m	15,30	397,80
CYKY-J 3x2,5	55 m	25,20	1 386,00
CY 4	13 m	13,00	169,00
ROZVADĚČ RB			
Rozvaděč OEZ RZB-Z 3S72	1 ks	4 236,00	4 236,00
Vypínač MSO 32/3	1 ks	834,00	834,00
Jistič LTE 6B/1	1 ks	112,00	112,00
Jistič LTE 10B/1	13 ks	83,00	1 079,00
Jistič LTE 16B/1	2 ks	83,00	166,00
Jistič LTE 16B/3	2 ks	355,00	670,00
Jistič LTE 20B/3	3 ks	411,00	1 233,00
Pomocný a propojovací materiál	1 ks	2 000,00	2 000,00
PROJEKT	1 ks	5 500,00	5 500,00
REVIZE	1 ks	5 000,00	5 000,00
VYŘÍZENÍ DOTACE	1 ks	2 500,00	2 500,00
MONTÁŽ, DOPRAVA	1 ks	60 000,00	60 000,00
Celkem			383 693,00