

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Bakalářská práce

**Technický a ekonomický návrh fotovoltaické elektrárny pro
potřeby rodinného domu**

Autor: Mária-Anna Turociová

Vedoucí práce: Ing. Libor Straka

Rok: 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Turociová** Jméno: **Mária-Anna** Osobní číslo: **474394**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Technický a ekonomický návrh fotovoltaické elektrárny pro potřeby rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Technical and Economical design of Photovoltaic Power Plant for Family House

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s obnovitelnými zdroji energie a jejich aplikacemi ve světě a v České republice.
2. Uveďte zjednodušený technický návrh fotovoltaické elektrárny pro potřeby rodinného domu.
3. Ekonomicky zhodnoťte uvedený návrh fotovoltaické elektrárny.

Seznam doporučené literatury:

1. Mastný, P, et al.: Obnovitelné zdroje elektrické energie, ČVUT, 2011, 1. vydání.
2. Wenham, S.R., et al.: Applied photovoltaics, 2nd edition, London:Earthscan 2007
3. www.eru.cz
4. www.mpo.cz

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Libor Straka, FS, ústav přístrojové a řídicí techniky - 12110

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **28.01.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Libor Straka
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně. Veškeré použité informační zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury na konci práce a citovány v textu podle normy ČSN ISO 690.

V Praze dne 14.05.2020

.....

Turociová Mária-Anna

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Liboru Strakovi za odborné vedení, dobré rady, vstřícnost a trpělivost při konzultacích a vypracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá technickým návrhem fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu a ekonomickým zhodnocením tohoto návrhu. V teoretické části je popsána současná situace obnovitelných zdrojů ve světě a v České Republice. V praktické části se práce zabývá technickým návrhem fotovoltaické elektrárny. Uvedený návrh fotovoltaické elektrárny je následně ekonomicky zhodnocen v závěrečné části.

Klíčová slova

Solární energie, Fotovoltaika, Fotovoltaická elektrárna, Fotovoltaický systém, Fotovoltaický článek, Fotovoltaický panel, Elektrická energie, Rodinný dům

Abstract

The Bachelor's thesis deals with the technical plan of the photovoltaic power station on the roof of a family house and with the economical evaluation of this plan. In the theoretical part, the current situation of renewable resources in the world and in the Czech republic is described. In the practical part, the thesis deals with the technical plan of the photovoltaic power station. Presented technical plan of the photovoltaic power station is economically evaluated in the final part.

Keywords

Solar energy, Photovoltaics, Photovoltaic power station, Photovoltaic system, Photovoltaic cell, Photovoltaic panel, Electricity, Family house

OBSAH

Seznam zkratk	1
ÚVOD	3
1 SEZNÁMENÍ S OBNOVITELNÝMI ZDROJI ENERGIE A JEJICH APLIKACEMI VE SVĚTĚ A V ČESKÉ REPUBLICE	4
1.1 Stav světového klimatu.....	4
1.2 Obnovitelné zdroje energie.....	6
1.3 Solární energie	7
1.4 Situace ve světě	7
1.5 Zajímavosti ze světa	9
1.6 Obnovitelné zdroje energie v ČR	9
1.7 Podpora OZE v ČR.....	11
1.8 Energetická náročnost novostaveb	12
2 ZJEDNODUŠENÝ TECHNICKÝ NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO POTŘEBY RODINNÉHO DOMU	15
2.1 Základní princip funkce a vlastnosti FV článku	15
2.1.1 Náhradní schéma FV článku	16
2.1.2 Voltampérová charakteristika FV článku.....	16
2.2 Typy FV článků	17
2.2.1 Monokrystalické články	18
2.2.2 Polykrystalické články	18
2.2.3 Tenkovrstvé články	18
2.3 Způsoby zapojení FV systémů	19
2.3.1 Autonomní systémy (Grid-off).....	19
2.3.2 Hybridní systémy	19
2.3.3 Systémy přímo spojené se sítí bez akumulace (Grid-on).....	20
2.4 Základní informace o rodinném domě v Čerčanech.....	20
2.4.1 Vytápění, ohřev vody a elektrické spotřebiče	21
2.5 Zjednodušený návrh hybridního systému bez možnosti akumulace energie do baterie pro dva typy FV panelů	22
2.5.1 Výpočet roční produkce elektrické energie vyrobené hybridním systémem pro dva typy FV panelů	22
2.5.2 Konstrukce pro šikmé střechy – řešení nad střechou	26
2.5.3 Střídač.....	27
2.5.4 Domovní přípojková skříň	30

2.5.5	Připojovací skříň pro FV panely	30
2.5.6	Kabely	31
2.6	Návrh hybridního systému s možností akumulace energie do baterie pro dva typy FV panelů.....	31
2.6.1	Solární baterie	32
2.6.2	BMS	33
2.7	Podmínky připojení standardního režimu k distribuční síti.....	34
3	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ UVEDENÉHO NÁVRHU FVE	35
3.1	Dotace Nová zelená úsporám	35
3.2	Počáteční investice do FVE bez možnosti akumulace energie do baterie.....	36
3.3	Počáteční investice do FVE s možností akumulace energie do baterie.....	37
3.4	Stanovení roční spotřeby elektrické energie RD	39
3.5	Porovnání roční výroby elektrické energie FVE s roční spotřebou elektrické energie RD.....	42
3.6	Roční výdaje za elektřinu	44
3.6.1	Distribuční sazba	44
3.6.2	Produkt na elektřině před instalací FVE	44
3.6.3	Produkt na elektřině po instalaci FVE.....	46
3.7	Výdaje na provoz FVE	48
3.8	Roční příjmy	49
3.9	Kritéria ekonomické efektivity	50
3.9.1	Stanovení ročního CF	51
3.9.2	Doba návratnosti investice	53
3.9.3	Čistá současná hodnota	54
3.9.4	Citlivostní analýza.....	55
3.9.5	Vnitřní výnosové procento	56
	ZÁVĚR.....	58
	Seznam použité literatury.....	61
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek.....	68
	Seznam grafů	69

Seznam zkratek

OZE	Obnovitelný zdroj energie
ČR	Česká republika
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FV	Fotovoltaický
UNFCCC	Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu
EU	Evropská unie
OECD	Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
OTE	Operátor trhu s elektřinou
ERÚ	Energetický regulační úřad
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
NZEB	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPP	Bod maximálního výkonu
EVA	Ethylen-vinyl-acetát
RD	Rodinný dům
DC	Stejnoseměrný
AC	Střídavý
NT	Nízký tarif
VT	Vysoký tarif
NZÚ	Nová zelená úsporám
EUA	European Union Allowance
EUAA	European Union Aviation Allowance
ZK	Zákazník

CF	Cash Flow
PP	Doba návratnosti investice
NPV	Čistá současná hodnota
IRR	Vnitřní výnosové procento
RCF	Roční ekvivalentní cashflow

ÚVOD

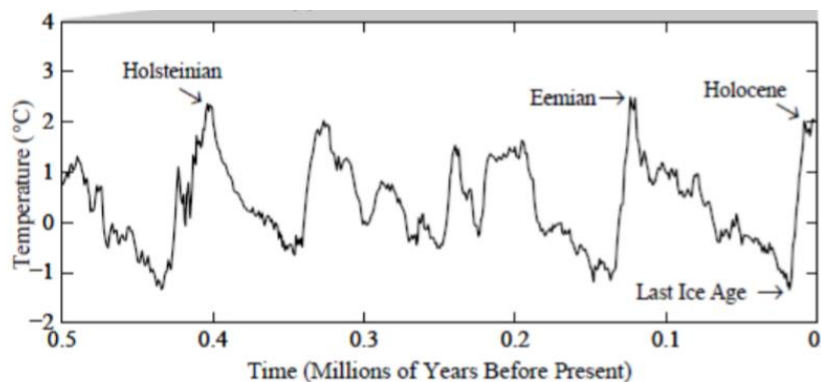
V dnešní době neustále roste spotřeba elektrické energie. Většinu elektrické energie získáváme spalováním fosilních paliv, jejichž zásoby jsou omezené a neustále se zmenšují. Toto je jeden z hlavních důvodů, proč se společnost stále více obrací na obnovitelné zdroje energie, které představují v podstatě nevyčerpatelný, čistý zdroj energie. Dalším důvodem je také snaha snížit emise skleníkových plynů produkovaných při výrobě této energie. Do obnovitelných zdrojů energie jsou proto investovány nemalé finanční prostředky a zavádí se různé programy podpor obnovitelných zdrojů, neboť výroba energie z obnovitelných zdrojů je ekonomicky často nekonkurenceschopná v porovnání s konvenčními zdroji. Další nevýhodou je potřeba velkých ploch pro získání dostatku energie a také neovlivnitelnost vnějších klimatických podmínek. Mezi obnovitelné zdroje s největším potenciálem v České republice patří biomasa a fotovoltaika.

Tato bakalářská práce se bude zabývat fotovoltaikou, respektive návrhem fotovoltaické elektrárny na střeše rodinného domu. Hlavním cílem práce je nejdříve v teoretické části seznámit s problematikou obnovitelných zdrojů ve světě a v České republice, v praktické části vytvořit návrh fotovoltaické elektrárny a nakonec v závěrečné ekonomické části zhodnotit uvedený návrh fotovoltaické elektrárny z ekonomického hlediska.

1 SEZNÁMENÍ S OBNOVITELNÝMI ZDROJI ENERGIE A JEJICH APLIKACEMI VE SVĚTĚ A V ČESKÉ REPUBLICE

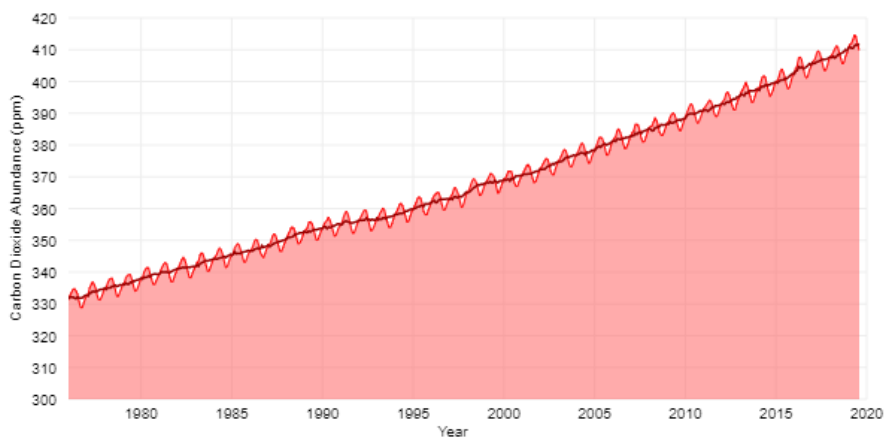
1.1 Stav světového klimatu

Klimatická změna související s globálním oteplováním je aktuálně velmi diskutovaným tématem. Faktorů ovlivňujících klimatický systém je několik, avšak vliv člověka je podle mnohých považován za hlavní příčinu oteplování Země. Nicméně je vhodné podívat se i na druhou stranu věci, a to že k výrazným klimatickým změnám docházelo z hlediska rozsahu několika milionů let vcelku pravidelně. [1] [2]



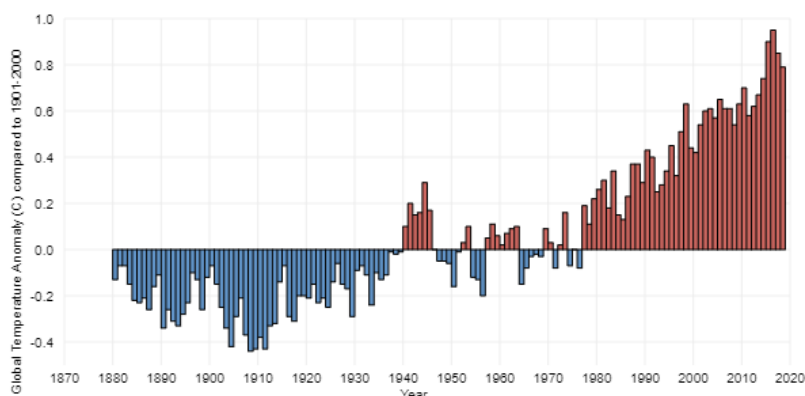
Obrázek č. 1 – graf popisující teplotní změny v průběhu 0,5 milionu let [2]

Novodobá společnost je závislá na fosilních palivech: ropě, plynu a uhlí. Jejich spalováním se však do ovzduší uvolňují skleníkové plyny, jejichž koncentrace v atmosféře rapidně narůstá. Hlavními sledovanými skleníkovými plyny v atmosféře jsou oxid uhličitý CO_2 , metan CH_4 a oxid dusný N_2O . V roce 2019 byla naměřena koncentrace CO_2 v atmosféře 410,45 ppm (parts per milion = počet molekul oxidu uhličitého na milion molekul a atomů suchého vzduchu), což je o 10,3 % více, než v roce 1999. [3]



Obrázek č. 2 – graf popisující nárůst CO₂ v průběhu let 1975 – 2020 [4]

S rostoucí koncentrací skleníkových plynů v atmosféře souvisí také zvyšování globální teploty Země. Od počátku 21. století se průměrná globální teplota zvýšila o 0,74 °C. Za poslední století se pak průměrná teplota evropského kontinentu zvýšila o 1,2 °C. [5]



Obrázek č. 3 – graf ukazující teplotní anomálie (v porovnání s lety 1901-2000) v průběhu let [6]

Za současného vývoje bez jakýchkoliv opatření se předpokládá, že se svět oteplí o 3 - 4 °C, což by mělo katastrofální dopady na Zemi. Už jen nárůst průměrné globální teploty o 2 °C by znamenalo extrémní výkyvy počasí, úplné roztání ledovců, zvýšení hladiny oceánů, sucha, „climate refugee“, roztání permafrostu, uvolnění dalšího metanu do atmosféry a další. [7]

Na ochranu klimatu vzniklo několik mezinárodních dohod. Základní klimatickou mezinárodní dohodou je Rámcová úmluva Organizace spojených národů o změně klimatu (UNFCCC). Tato dohoda byla přijata v roce 1992 v Rio de Janeiru. Jejím cílem byla především spolupráce jednotlivých zemí na omezení klimatu a celosvětového nárůstu teploty. Zanedlouho po přijetí UNFCCC si však zakladatelé uvědomili, že jsou zapotřebí důraznější opatření. V roce

1997 byl proto přijat Kjótský protokol. Začátkem roku 2013 začalo platit druhé kontrolní období, jehož součástí je změna dohodnutá v Dohě, ve které se členské země zavázaly ke snížení emisí o 18 % oproti úrovni emisí v roce 1990. Dohoda se však vztahovala pouze na 14 % celosvětových emisí. Velké státy jako USA, Rusko, Kanada, Japonsko ani Nový Zéland se druhého období neúčastnily. V roce 2016 proto vstoupila v platnost Pařížská dohoda. Hlavním cílem Dohody je snížení nárůstu průměrné globální teploty, který by neměl překročit hranici 1,5 °C. Státy, které se přihlásily k Pařížské dohodě, jsou dohromady zodpovědné za 55 % celosvětových skleníkových emisí. ČR se spolu s ostatními členskými státy EU zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů o 20 % do roku 2020 a o 40 % do roku 2030. Ve druhé polovině století je pak snaha dosáhnout karbonově neutrální společnosti. [8] [9]

Snížit takto rapidně emise skleníkových plynů znamená zbavit se závislosti na fosilních palivech. Jednou z efektivních možností je orientace energetiky na obnovitelné zdroje energie.

1.2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou v současné době považovány za jediné čisté zdroje energie, které mají obrovský ekologicko-energetický potenciál. Je to proto, že jejich využívání má malý dopad na životní prostředí. Použitím OZE by se měly snížit emise skleníkových plynů a tím i úroveň znečištění. Na rozdíl od neobnovitelných zdrojů energie se dokážou v rámci krátkého časového úseku částečně nebo zcela obnovovat a to samy nebo za pomoci člověka. Původ OZE je především v jaderných přeměnách v nitru Slunce, v teple zemského nitra, či setrvačnosti soustavy Země-Měsíc. Mezi OZE řadíme:

- sluneční energii,
- energii vody,
- větrnou energii,
- geotermální energii,
- energie přílivu a mořských vln
- a biomasu.

Využití OZE je limitováno několika faktory, jako je malá plošná koncentrace, nestejně rozložené územní rozložení, proměnlivá intenzita v průběhu roku/dne a velké investiční náklady. [10] [11]

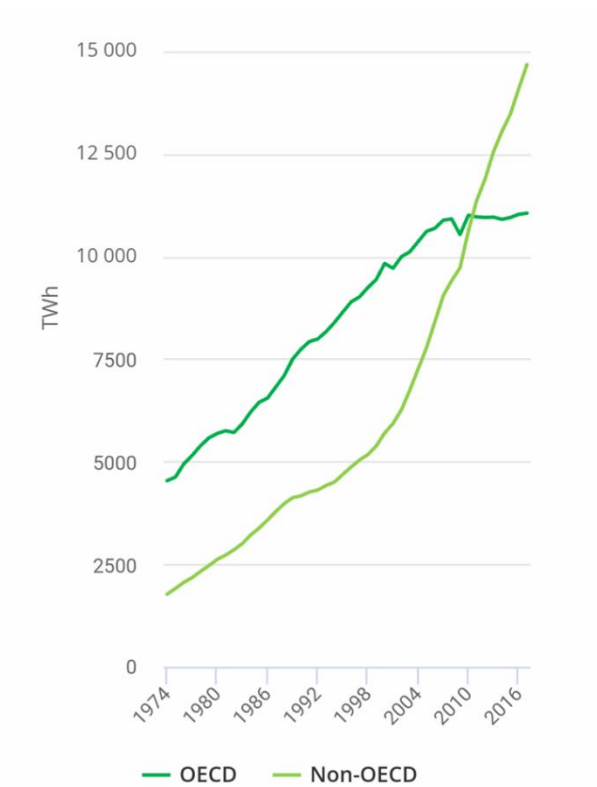
1.3 Solární energie

Slunce je hlavním zdrojem energie naší planety. Ke vzniku sluneční energie dochází v nitru Slunce a na Zemi putuje především ve formě elektromagnetického záření. Země však pohlcuje dopadající sluneční záření pouze ze dvou třetin. Zbytek je odražen od atmosféry, zemského povrchu nebo vody zpět do vesmíru. Ze získaného slunečního záření je pak téměř polovina zachycena pevným povrchem a vodou, zhruba 30 % se spotřebuje na vypařování vody a 20 % je pohlceno zemskou atmosférou. Sluneční energie se tedy přeměňuje na jiné formy energie. Mezi tyto formy patří přímá sluneční energie, biomasa, energie vody a energie větru.

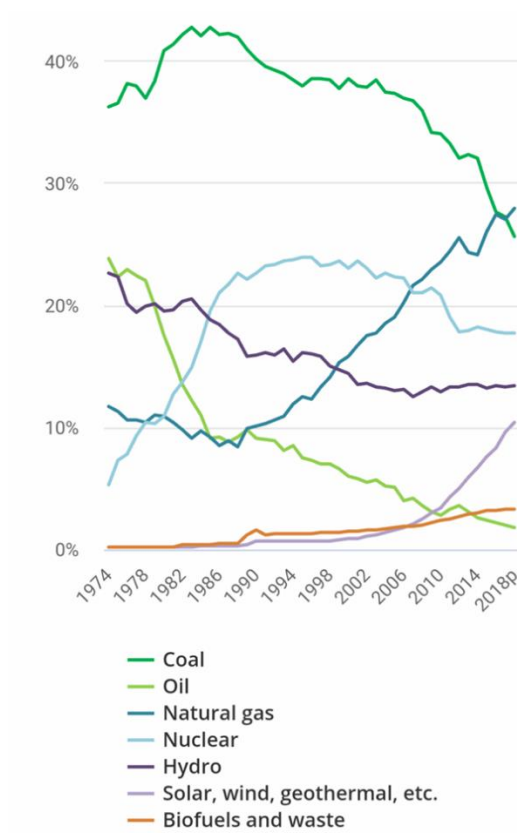
Sluneční energie dopadající na Zemi mnohonásobně převyšuje energetické potřeby lidstva. Problémem je však skutečnost, že plošná hustota energie dopadající na jednotku plochy je relativně nízká a k jejímu získávání jsou potřebná technická zařízení. Další nevýhodou je velmi silné kolísání množství energie dopadající na zemský povrch, jak s časem, tak s místem. Teoretickou hodnotu dopadajícího množství energie za jednotku času na jednotkovou plochu mimo zemskou atmosféru vyjadřuje sluneční konstanta, jejíž hodnota je přibližně 1360 W/m^2 . Při porovnání hustoty výkonu na jednotku plochy fotovoltaických elektráren s parními, jadernými či vodními elektrárnami, zjistíme, že je tato hodnota velmi nízká, což je jedna z nevýhod výroby elektrické energie tímto způsobem. [11] [12]

1.4 Situace ve světě

S rostoucím počtem obyvatel, rozvíjející se ekonomikou a rostoucími civilizačními požadavky se celosvětová výroba a spotřeba elektrické energie každým rokem zvyšuje. V roce 2018 bylo celosvětově vyprodukováno 26672 TWh elektrické energie, což je 4% nárůst oproti předcházejícímu roku. [13]



Obrázek č. 4 – graf vývoje světové hrubé produkce elektřiny mezi lety 1974 – 2016 [13]



Obrázek č. 5 – graf procentuálního zastoupení zdrojů podílejících se na světové hrubé produkci energie v zemích OECD [13]

Nejvíce elektrické energie se prozatím vyrábí z uhlí, jaderného paliva a zemního plynu, avšak zastoupení OZE zcela jistě narůstá. V roce 2017 se OZE podílely na celkové světové spotřebě téměř 14 %. [13]

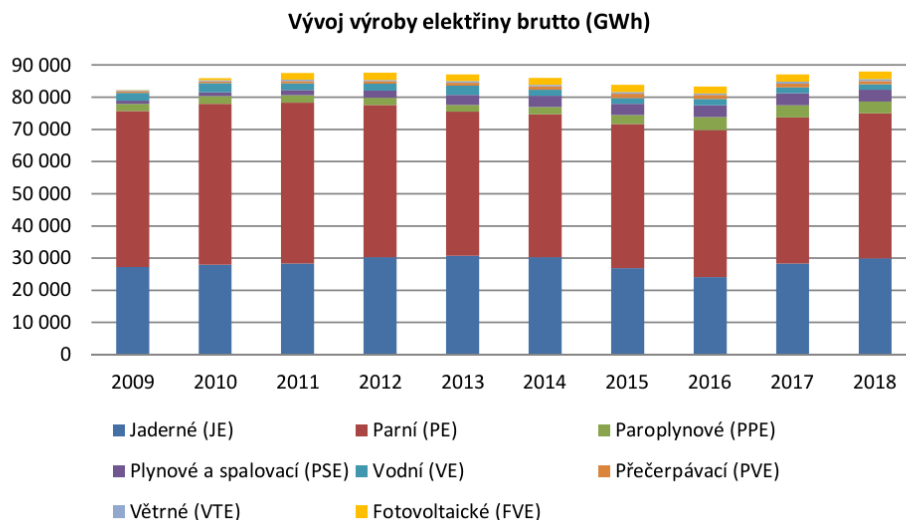
1.5 Zajímavosti ze světa

Na Novém Zélandu vznikne první plovoucí solární elektrárna o výkonu několika jednotek MW, která bude zároveň největší v zemi. Projekt je dílem Aucklandské vodárenské společnosti a energetické společnosti Vector, které se na výstavbě budou společně podílet. Nová elektrárna bude vystavena v areálu odpadní čističky vod na hladině nádrže Rosedale a měla by snížit její provozní náklady. Výhodou solární elektrárny instalované na vodní hladině je přirozené chlazení vodou a při použití speciálních aplikací je možná až trojnásobná výtěžnost výroby solární energie oproti fixním systémům. [14]

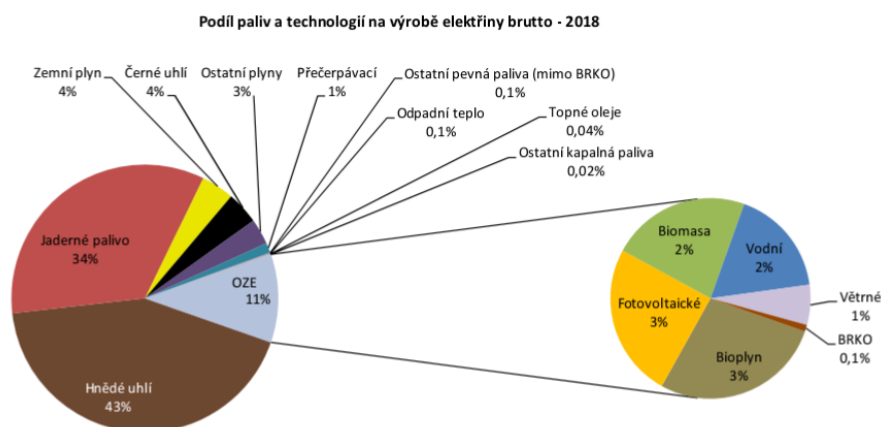
Další novinkou je revoluční technologie průhledných solárních panelů, které by mohly vytvořit malé elektrárny i z obyčejných budov. Tato technologie je již aplikovaná v Číně, Austrálii či Polsku. Průhledné solární panely jsou instalovány v oknech případně na fasádách budov a umožňují výrobu energie především pro vlastní spotřebu budovy. Panely nejsou na bázi křemíku. Hlavním stavebním prvkem je sloučenina halogenů perovskit, který dokáže být průhledný a malou změnou chemického složení může pohlcovat různé vlnové délky světla. Perovskitové solární panely byly navrženy tak, aby byly ohebné a nepohlcovaly viditelné spektrum světla, ale především UV a infračervené záření. Výhodou pohlcování infračerveného záření je jeho přeměna na elektrickou energii, která by jinak způsobovala zahřívání. Perovskitové solární panely jsou jednodušší na výrobu, a tudíž představují levnější možnost oproti rozšířeným křemíkovým solárním panelům. [15] [16]

1.6 Obnovitelné zdroje energie v ČR

Celková výroba elektřiny brutto překročila v roce 2018 88 TWh, což je o 1,1 % více než v roce 2017. Výroba elektřiny brutto z OZE však klesla na 9404 GWh tedy o 2,2 %. Fotovoltaické elektrárny zaznamenaly tento rok nárůst výroby o 6,7 %, stejně jako větrné elektrárny, jejichž produkce vzrostla o 2,6 %, avšak v případě vodních elektráren došlo k výraznějšímu poklesu o téměř 13 %. Podobný pokles o 12,3 % zaznamenala také biomasa. [17]



Obrázek č. 6 – graf vývoje výroby elektřiny brutto v průběhu let 2009 – 2018 v ČR [17]



Obrázek č. 7 – grafy ukazující podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v roce 2018 v ČR [17]

V ČR se drtivá většina elektrické energie vyrábí v parních a jaderných elektrárnách. OZE zažívají v posledních letech rozmach, avšak jejich příspěvek k výrobě elektrické energie je poměrně malý. [17]

ČR nedisponuje příliš příznivými podmínkami pro rozsáhlý rozvoj obnovitelných zdrojů, které by v budoucnosti zcela zastoupily parní a jaderné elektrárny. V okolí našeho státu není moře, takže získávání energie přeměnou energie vln a přílivu není možné. Co se týče vodní energetiky, naše řeky nemají dostatečné množství vody ani spád. Navíc místa, kde mají vodní elektrárny smysl, jsou již pro tyto účely využita. ČR nemá ani příliš příznivé povětrnostní podmínky, a proto je větrná energie využita v malém rozsahu. Míst, kde jsou podmínky příznivější (horské oblasti a vrchoviny) je omezený počet, což dále limituje výstavbu větrných

elektráren. Mezi obnovitelné zdroje s největším potenciálem na našem území tedy patří přímá sluneční energie a biomasa. [10] [11]

1.7 Podpora OZE v ČR

V ČR existuje několik režimů podpory využití obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny.

Na základě zákona 165/2012 Sb. z roku 2013 došlo k úpravě podmínek podpory OZE tak, aby se naplnily stanovené cíle: zvýšení podílu OZE na hrubé konečné spotřebě a výraznější využití OZE jako primárních energetických zdrojů. [18]

Důležitou podporou je zcela jistě finanční podpora. Jednou z forem finanční podpory je investiční podpora z dotačních programů, které podporují výrobu elektřiny a tepla z OZE. [18]

Mezi programy patří Státní program na podporu úspor energie a využití OZE. O dotaci mohou požádat podniky všech velikostí pohybující se v energetickém odvětví a využívající pro výrobu tepla a elektřiny OZE. Výše dotace se pohybuje mezi 0,5 - 400 miliony korun a vztahuje se např. na výstavbu a obnovu malých vodních elektráren, rozvod tepla z bioplynových stanic, stavbu kogenerační jednotky využívající bioplyn, výstavbu a modernizace zdrojů tepla apod. [18] [19]

Dalším programem, který využívají převážně domácnosti, je program Nová zelená úsporám. Dotace je zaměřena na úsporu energie v rodinných a bytových domech. Rozlišujeme tři základní oblasti podpory:

- oblast podpory A - snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů,
- oblast podpory B - výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností,
- oblast podpory C - efektivní využití zdrojů energie.

Výše podpory může pokrýt až 50 % z celkových způsobilých výdajů. [18] [20]

Posledním důležitým dotačním programem je Program rozvoje venkova. Hlavním cílem je zajistit konkurenceschopnost a inovaci zemědělských podniků, ochranu ekosystémů závislých na zemědělství, vytvořit nové pracovní pozice v zemědělském sektoru a podpořit hospodářský rozvoj. [18] [21]

Zelené bonusy a výkupní cena představují další finanční a provozní formu podpory.

Zelený bonus vyplácí OTE za veškerou vyrobenou a naměřenou elektrickou energii z OZE s výjimkou technologické vlastní spotřeby elektřiny. Při podpoře formou zelených bonusů si musí výrobce najít sám svého odběratele elektrické energie a s ním si sjednat cenu. Část vyrobené elektřiny je také možné využít pro vlastní spotřebu a s obchodníkem sjednat smlouvu pouze na dodávku nespotřebovaných přebytků (v případě, že dochází k přetokům do elektrizační soustavy bez smlouvy o dodávce, jedná se o neoprávněnou dodávku bez nároku na podporu). Zelený bonus je zpravidla spojen s vyšším výnosem korespondujícím zvýšené riziko prodeje vyrobené elektřiny oproti výkupní ceně.

V případě výkupních cen má vykupující povinnost od výrobce elektřiny z OZE vykoupit veškerý objem elektřiny naměřené v předávacím místě výroby elektřiny a distribuční nebo přenosové soustavy a dodané do elektrizační soustavy za cenu stanovenou aktuálním cenovým rozhodnutím. Garance patnáctileté prosté návratnosti se ze zákona vztahuje pouze na podporu formou výkupní ceny za podmínky splnění technických a ekonomických parametrů stanovených vyhláškou č. 296/2015 Sb., č. 347/2012 Sb. případně vyhláškou č. 475/2005 Sb., ve znění platném v době uvedení výroby do provozu. Tato cena je po dobu životnosti výroby zachována jako minimální s pravidelnou 2% indexací, s výjimkou výroben využívajících biomasu, bioplyn nebo bio kapaliny. Výkupní ceny jsou po zadání výroby do systému OTE fakturovány přímo vykupujícímu. Výkupní cena je na rozdíl od zeleného bonusu účtována včetně DPH.

Podpora formou zelených bonusů či výkupních cen se však pro nově postavené FVE neuděluje (podpora je pouze u FVE postavených do roku 2013). [18] [22]

U určených výroben elektřiny zabývajících se výrobou elektrické energie z OZE je možné také osvobození, snížení případně vrácení daní. [18]

1.8 Energetická náročnost novostaveb

V květnu 2018 vyšla již třetí směrnice Evropského parlamentu a Rady EU 2018/844/EU o energetické náročnosti budov, kterou se mění přechozí směrnice 2010/31/EU a 2012/27/EU. Nová směrnice požaduje od 1. 1. 2020 výstavbu budov s téměř nulovou spotřebou energie, zkráceně NZEB = Nearly Zero Energy Buildings. NZEB je budova, jejíž spotřeba je výrazně kryta z OZE. Do české legislativy budou požadavky směrnice promítnuty do 10. 3. 2020.

Směrnice upřesňuje a doplňuje některé termíny. Nově stanovuje pravidla pro výpočet energetické náročnosti budov, která je určena na základě vypočtené či skutečné spotřeby

energie a odráží typickou energii pro vytápění prostor, chlazení prostor, přípravu teplé vody, větrání, zabudované osvětlení a jiné technické systémy budov. Směrnice mění také požadavky na hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla. Budovy postavené po 1. 1. 2020 budou muset tuto hodnotu snížit o 30 % oproti hodnotě průměrného součinitele prostupu tepla referenční budovy, jejíž parametry stanovuje ČSN 73 0540-2. Dojde tedy ke zpřísnění požadavků na obálky domů (obvodové zdi, okna, izolace). Neobnovitelná primární energie NZEB je dalším parametrem, u kterého směrnice stanovuje snížení o 25 % oproti referenční budově. [23] [24] [25]

U každé budovy je nutné opatřit průkaz energetické náročnosti budovy, zkráceně PENB, což je odborný dokument popisující spotřebu energie objektu za jednotku času (obvykle jednoho roku) a vychází ze zákona 406/2000 Sb. Podle měrné roční spotřeby energie v kWh/m² je budova rozdělena do několika kategorií A až G. PENB je nezbytný pro prodej, pronájem, užívání a větší změny dokončené budovy. [26]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY
vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodáření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo:

PSČ, místo:

Typ budovy:

Plocha obálky budovy: m²

Objemový faktor tvaru A/V: m³/m²

Celková energeticky vztažná plocha: m²

FOTO

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie <small>(Energie na vstupu do budovy)</small>	Neobnovitelná primární energie <small>(Vliv provozu budovy na životní prostředí)</small>																																										
Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">Mimořádně úsporná</td><td style="width: 20px;">A</td><td style="width: 20px;">← XXX</td></tr> <tr><td>Velmi úsporná</td><td>B</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td>Úsporná</td><td>C</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td>Méně úsporná</td><td>D</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td>Nehospodárná</td><td>E</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td>Velmi nehospodárná</td><td>F</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td>Mimořádně nehospodárná</td><td>G</td><td>← XXX</td></tr> </table>	Mimořádně úsporná	A	← XXX	Velmi úsporná	B	← XXX	Úsporná	C	← XXX	Méně úsporná	D	← XXX	Nehospodárná	E	← XXX	Velmi nehospodárná	F	← XXX	Mimořádně nehospodárná	G	← XXX	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">Dop.</td><td style="width: 20px;">A</td><td style="width: 20px;">← XXX</td></tr> <tr><td>XXX</td><td>B</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td></td><td>C</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td></td><td>D</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td></td><td>E</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td></td><td>F</td><td>← XXX</td></tr> <tr><td></td><td>G</td><td>← XXX</td></tr> </table>	Dop.	A	← XXX	XXX	B	← XXX		C	← XXX		D	← XXX		E	← XXX		F	← XXX		G	← XXX
Mimořádně úsporná	A	← XXX																																									
Velmi úsporná	B	← XXX																																									
Úsporná	C	← XXX																																									
Méně úsporná	D	← XXX																																									
Nehospodárná	E	← XXX																																									
Velmi nehospodárná	F	← XXX																																									
Mimořádně nehospodárná	G	← XXX																																									
Dop.	A	← XXX																																									
XXX	B	← XXX																																									
	C	← XXX																																									
	D	← XXX																																									
	E	← XXX																																									
	F	← XXX																																									
	G	← XXX																																									
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok	XX,X																																										
	XX,X																																										

Obrázek č. 8 – vzor průkazu energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb. - první strana [26]


DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Popis opatření je v průběhu průřezu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je záznamně šipkou **Doporučeno**

PODÍL ENERGO NOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok



Elektrikina ze sítě - XX,X
 Slunce a n. prostředí - XX,X
 Zemní plyn - XX,X

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlnkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{ext} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)			
							
Minimální doporučení	A	Dop.		Dop.		Dop.	
Dobrá	B		Dop.			XX	XX Dop.
Středně dobrá	C	XX,XX	XX				
Dobrá	D	Dop.		XX			
Středně dobrá	E	XX			Dop.		
Dobrá	F				XX		
Minimální nepřijatelná	G						
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Zpracovatel: _____ Osvědčení č.: _____

Kontakt: _____ Vyhотовeno dne: _____

Podpis: _____

Obrázek č. 9 – vzor průřezu energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb. - druhá strana [26]

2 ZJEDNODUŠENÝ TECHNICKÝ NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO POTŘEBY RODINNÉHO DOMU

2.1 Základní princip funkce a vlastnosti FV článku

Základním principem FV článku je fotoelektrický jev, při němž jsou z látky uvolňovány elektrony v důsledku absorpce elektromagnetického záření. Fotoelektrický jev dělíme na vnější a vnitřní. U vnějšího fotoelektrického jevu dochází k uvolnění elektronů z povrchu materiálu (kovu). Při vnitřním fotoelektrickém jevu jsou elektrony uvolňovány uvnitř materiálu (polovodiče), čímž se zvyšuje jeho vodivost. [27]

FV článek využívá vnitřního fotoelektrického jevu. Pro funkci FV článku je nutné, aby se v látce uvolnil elektron a vznikl pár elektron – díra. Z tohoto důvodu se používají polovodiče, ve kterých jsou elektrony a díry separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Pokud bychom totiž použili jako materiál kov, došlo by k okamžité rekombinaci tohoto páru. FV článek lze zjednodušeně popsat jako velkoplošnou polovodičovou diodu s jedním PN přechodem. [11]

Klasický krystalický FV článek se skládá ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana obrácena ke slunečnímu světlu je záporně dotována fosforem, vrstva ležící pod ní je kladně dotována bórem. Aby bylo možné ze solárního článku odebírat proud, jsou na přední i zadní straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Na zadní straně je to většinou provedeno jako celoplošná elektroda. Naproti tomu přední strana musí co nejlépe propouštět světlo. Z toho důvodu se kontakty většinou skládají z tenké mřížky, která zakrývá jen velmi malou část plochy povrchu článku. Na povrchu článku by se světlo mělo co nejméně odrážet, aby se absorbovalo co nejvíce fotonů. Proto se na povrch článku umísťuje antireflexní vrstva, která dává šedým křemíkovým článkům jejich typickou černou barvu u monokrystalických článků, popřípadě modrou barvu u polykrystalických článků. [28]

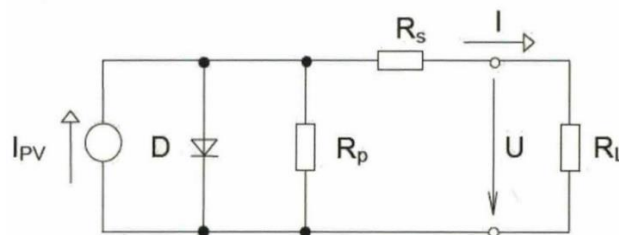
Jednotlivé FV články z krystalického křemíku mají pracovní napětí okolo 0,5 V a proudovou hustotu několik desítek mA/cm². Je proto třeba spojovat jednotlivé články do série do funkčních bloků – modulů. Pro sériové spojení je třeba, aby všechny články měly stejný proud I_{mp} . Pokud je v řetězci sériových článků článek částečně či úplně zastíněn, dochází k výraznému poklesu výkonu modulu a zastíněný článek je výrazně zatížen. Články, nebo části řetězce se proto přemost'ují překlenovacími diodami. V reálném provozu musí být FV články chráněny před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Do série spojené FV články se zpravidla

spojují s vysoce průhledným tvrzeným sklem pomocí EVA (= laminační fólie), zadní strana je kryta diodami. [29]

2.1.1 Náhradní schéma FV článku

FV článek můžeme popsat pomocí náhradního schématu. V ozářené oblasti přechodu PN se generuje proud I_{PV} , přičemž oblast typu P se nabíjí kladně a oblast typu N záporně. Tím je přechod propustně polarizován a část proudu I_{PV} teče zpět diodou D. Technické nedokonalosti PN přechodu jsou modelovány svodovým odporem R_p , vliv odporu materiálu a proudových sběrnic je modelován sériovým odporem R_s .

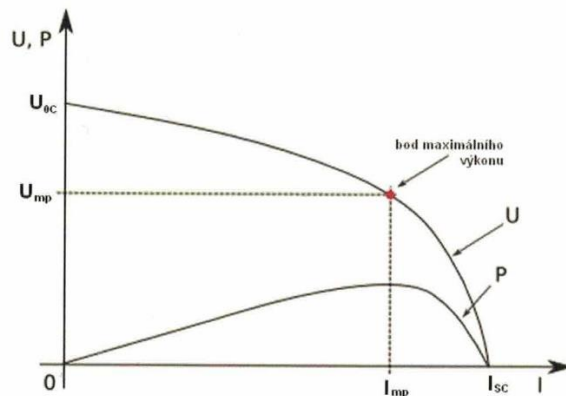
Velikost sériového a paralelního odporu má vliv na účinnost FV článku. V případě malého sériového odporu R_s účinnost FV článku roste s rostoucí intenzitou záření, dosahuje maxima a až při velkých intenzitách záření začíná klesat. Pokud je sériový odpor R_s velký, účinnost FV článku s rostoucí intenzitou záření klesá. [11]



Obrázek č. 10 – náhradní schéma FV článku [11]

2.1.2 Voltampérová charakteristika FV článku

Důležitou charakteristikou FV článku je voltampérová charakteristika, která podává základní informaci o jeho činnosti. Hraničními veličinami jsou napětí naprázdno U_{0C} , které představuje maximální napětí článku v případě, že k němu není připojen žádný spotřebič a proud nakrátko I_{sc} , který udává maximální hodnotu proud, kterou může FV článek při dané intenzitě záření dodávat.



Obrázek č. 11 – zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [11]

Účinnost lze popsat následující rovnicí:

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}}$$

kde

- $U_{mp} \cdot I_{mp}$ = maximální výkon FV článku
- P_{in} = výkon dopadajícího slunečního záření

Výkon solárního článku se určuje jako součin proudu a napětí. Pro každý článek existuje pracovní bod na charakteristice, ve kterém je výkon největší. Tento bod je označován jako bod maximálního výkonu MPP o napětí U_{mp} a proudu I_{mp} . Výkon určitého solárního článku závisí na ozáření, na spektru světla a na teplotě článku.

Mezi základní charakteristické provozní parametry patří I_{sc} , U_{0c} , U_{mp} , I_{mp} a $P_m = U_{mp} \cdot I_{mp}$, dále pak ještě činitel plnění $FF = (U_{mp} \cdot I_{mp}) / (U_{0c} \cdot I_{sc})$ a účinnost $\eta = (U_{mp} \cdot I_{mp}) / P_{in}$.

Tyto charakteristické parametry jsou vždy určovány za standardních testovacích podmínek, tj. při standardní testovací teplotě $STC = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, intenzitě slunečního záření $I = 1000 \text{ W/m}^2$ a definované vzduchové hmotě (Air Mass) $AM = 1,5$. [11]

2.2 Typy FV článků

FV články na bázi křemíku, které patří mezi články první generace, dominují dnešnímu trhu. Křemík je jedním z nerozšířenějších prvků na Zemi. Není jedovatý a v elektronice jde o dobře známý a vyzkoušený materiál, u něhož se podařilo velmi dobře zvládnout všechny

technologické operace k vytváření struktur. Na trhu se vyskytují také články druhé generace neboli tenkovrstvé články. Jejich účinnost je však podstatně nižší. [11] [28]

2.2.1 Monokrystalické články

Monokrystalické (= skládající se z jediného krystalu) křemíkové články mají většinou tvar čtverce se zaoblenými rohy. Povrch článku má typicky tmavou až černou barvu. Elektrická kvalita tohoto typu článku je velká. Monokrystalické články dosahují účinnosti i přes 21 %, průměrná účinnost článků je 15 až 17 %. Monokrystalický křemík se většinou vyrábí Czochralského metodou. Výsledný produkt ve formě kulaté tyče se nejprve přiřízne na požadovaný průřez (např. čtverec se zaoblenými rohy) a poté se řeže na destičky o tloušťce 3 mm. [28]

2.2.2 Polykrystalické články

Polykrystalické (= skládající se z mnoha krystalů) články jsou čtvercového tvaru a mají charakteristickou modrou barvu. Účinnost těchto článků leží mezi 13 až 16 %. Výroba polykrystalického křemíku je v porovnání s výrobou monokrystalického křemíku jednodušší a levnější. Křemík se ve vakuu zahřeje na teplotu 1500 °C a v grafitovém kelímku se regulovaně ochlazuje až do blízkosti bodu tání. Tímto způsobem vznikají polykrystalické křemíkové bloky, které se následně nařežou na tyče a poté na tenké destičky. [28]

2.2.3 Tenkovrstvé články

Vysoká spotřeba materiálu a energie udržují výrobní náklady krystalických křemíkových článků na vysoké úrovni. Z toho důvodu došlo v 90. letech 20. století k posílení vývoje a výroby tenkovrstvých článků, u nichž jsou výrobně-technické náklady a spotřeba materiálu podstatně nižší. Tenkovrstvá technologie nabízí mnoho pozitivních vlastností. Patří mezi ně menší citlivost na teplotu a zastínění, flexibilita, geometrická volnost, lepší využití spektrální nabídky slunce, homogenní vzhled, možná průhlednost materiálu, možnost integrace a použití umělého světla. Největší nevýhodou tenkovrstvých článků je podstatně nižší účinnost, která je v porovnání s krystalickými křemíkovými články zhruba poloviční. [28]

2.3 Způsoby zapojení FV systémů

2.3.1 Autonomní systémy (Grid-off)

Autonomní systémy, nebo také „ostrovní systémy“, se používají převážně v místech, kde není dostupná veřejná elektrická distribuční síť, například v odlehlých oblastech nebo tam, kde by zřízení elektrické přípojky bylo drahé. Grid-off systémy našly uplatnění také jako zdroj elektrické energie pro napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení, u zahradního osvětlení a světelných reklam. Při tomto zapojení je veškerá vyrobená elektrická energie spotřebována v objektu a často se využívá její uložení do akumulátorových baterií. Tyto baterie jsou speciálně navrženy tak, aby se pomalu nabíjely a vybíjely. [11] [30]



Obrázek č. 12 – blokové schéma systému Grid-off [11]

2.3.2 Hybridní systémy

Hybridní systémy jsou kombinací klasické síťové elektrárny (Grid-on) a ostrovního systému (Grid-off) a zapojují se do tzv. Zeleného bonusu. Jsou vhodné tam, kde je možno podstatnou část produkce spotřebovat přímo v objektu a případné přebytky jsou prodávány do sítě. Výhodou je tedy maximální využití vyrobené energie v místě výroby ať už pro vytápění, ohřev teplé vody, klimatizaci, zavlažování, provoz bazénu nebo jiných spotřebičů. Další výhodou tohoto systému je integrovaná funkce pro využití přebytečné energie ve výkonových špičkách, kdy inteligentní hybridní měnič dokáže přeměrovat přebytečnou energii do předem určených, energeticky náročných spotřebičů. [11] [30]



Obrázek č. 13 – zapojení hybridního FV systému [11]

2.3.3 Systémy přímo spojené se sítí bez akumulace (Grid-on)

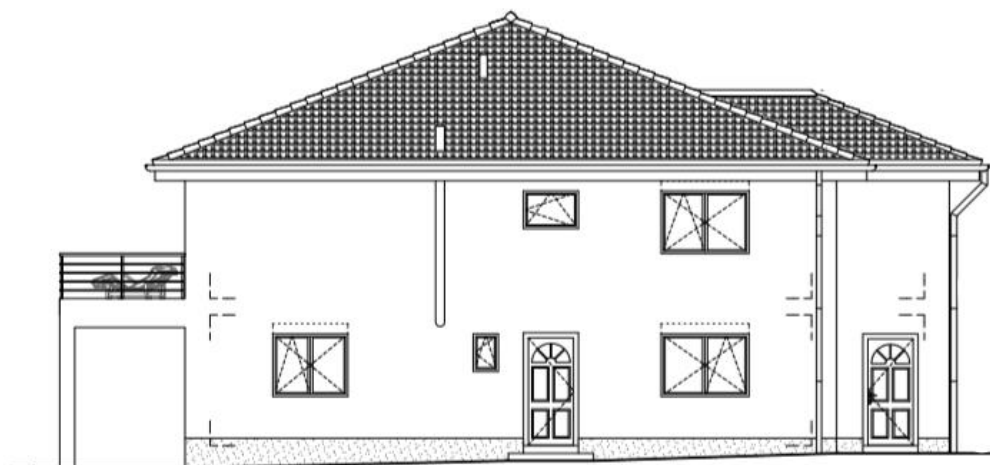
Systémy Grid-on se používají v případě, že je veškerá vyrobená elektrická energie dodávána do distribuční sítě a prodávána za tzv. výkupní cenu. Tyto systémy se skládají z většího počtu FV panelů. Tento způsob je méně obvyklý a pro majitele FVE tohoto typu i legislativně složitý. [11] [30]

2.4 Základní informace o rodinném domě v Čerčanech

Novostavba rodinného domu bude umístěna na parcele č. 2209/48 v obci Čerčany v místní části Vysoká Lhota (okres Benešov). Předpokládaný termín zahájení stavby je léto 2019 a předpokládaný termín dokončení stavby je v roce 2021. Rodinný dům bude nepodsklepený, s komínem, s jedním nadzemním podlažím a obytným podkrovím se 3 bytovými jednotkami. V přízemí 2x 3 + kk a v podkroví 1x 4 + 1. Předpokládaný počet obyvatel rodinného domu je 10 osob. Rodinný dům splňuje veškeré požadavky daných norem a je zařazen do klasifikační třídy B – velmi úsporný. [31]

Základní bilance stavby:

- El. energie - instalovaný soudobý příkon: 25,3 kW
- Spotřeba vody: 350 m³/rok
- Produkováno množství odpadních vod: 350 m³/rok
- Potřeba energie na vytápění: 23 MWh/rok
- Potřeba energie na ohřev TV: 15,7 MWh/rok



Obrázek č. 14 – severovýchodní pohled na rodinný dům [31]

2.4.1 Vytápění, ohřev vody a elektrické spotřebiče

Vytápění bytových jednotek bude lokální (pro každou bytovou jednotku samostatný zdroj tepla) zajištěno třemi kondenzačními plynovými kotli, přičemž bytová jednotka v podkroví bude doplněna ještě elektrokotlem, který bude sloužit jako záložní zdroj tepla. Plynové kotle na zemní plyn se na pokrytí dílčí potřeby energie na vytápění dohromady podílejí 95 %. Zbýlých 5 % představuje elektrokotel, který využívá elektřinu. Dohromady se na vytápění za rok spotřebuje 23 MWh z toho 1,15 MWh elektrické energie. [31] [32]

Ohřev teplé vody bude taktéž lokální, zajištěn kombinovanými zásobníkovými ohřivači, které budou převážně využívat elektrickou energii. Bytová jednotka v podkroví bude ještě vybavena jedním elektrickým přímotopným bojlerem pro přípravu teplé vody pro kuchyň a druhou koupelnu. Celkem je na ohřev vody ročně potřeba 12 MWh elektrické energie. [31] [32]

Osvětlení bude provedeno svítidly s úspornými zdroji. Celkově je na osvětlení za rok potřeba 0,35 MWh elektrické energie. [31] [32]

Rodinný dům bude vybaven standardními elektrickými spotřebiči běžně užívanými ve stavbách pro bydlení. [31]

2.5 Zjednodušený návrh hybridního systému bez možnosti akumulace energie do baterie pro dva typy FV panelů

Navrhovaný FV systém bude pokrývat spotřebu elektrické energie při užívání elektrických spotřebičů v domácnostech, spotřebu elektrické energie pro ohřev vody a spotřebu elektrické energie pro vytápění (elektrokotel). Přebytky elektrické energie pak budou dodány do sítě.

2.5.1 Výpočet roční produkce elektrické energie vyrobené hybridním systémem pro dva typy FV panelů

FV panely budou umístěny na část střechy lichoběžníkového tvaru mírně na jihovýchod. Plocha této strany střechy je přibližně 92,7 m². Délka delší hrany je 19,2 m, délka kratší hrany je 5 m a výška je 7,66 m. [31]

Pro návrh FV systému budou použity dva typy panelů:

➤ polykrystalické panely – solární panely Canadian solar 330Wp POLY [33]

• technické parametry panelu:

▪ šířka	0,992 m
▪ výška	1,960 m
▪ hmotnost	22,4 kg
▪ max. účinnost	16,97 %
▪ nominální výkon panelu	330 Wp
▪ napětí naprázdno (U_{0C})	45,6 V
▪ zkratový proud (I_{SC})	9,45 A
▪ jmenovité napětí (U_{mp})	37,2 V
▪ maximální proud při zátěži (I_{mp})	8,88 A
▪ maximální systémové napětí	1000 V

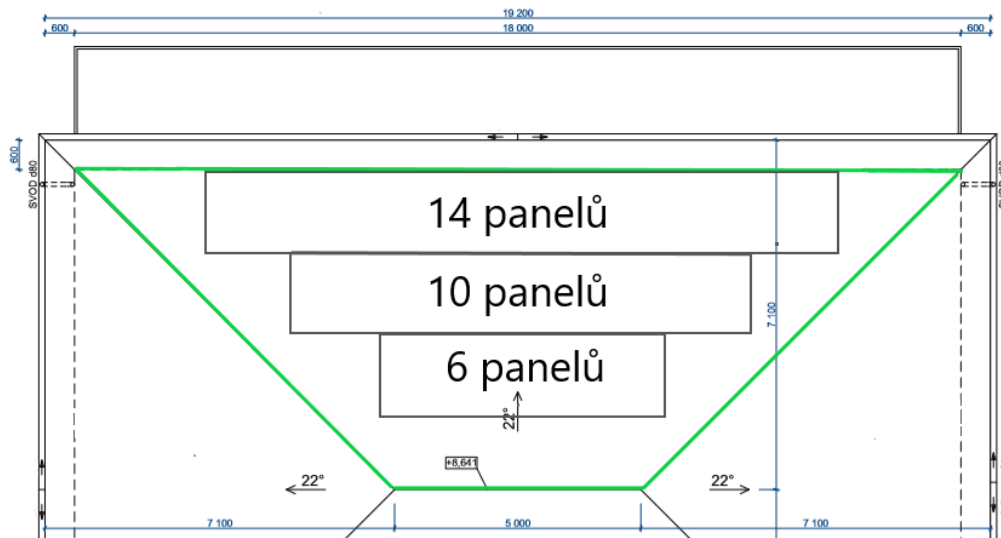
➤ monokrystalické panely – solární panely LG 330Wp MONO [34]

• technické parametry panelu:

▪ šířka	1,016 m
▪ výška	1,686 m
▪ hmotnost	18 kg
▪ max. účinnost	19,3 %
▪ nominální výkon panelu	330 Wp
▪ napětí naprázdno (U_{0C})	40,9 V

- zkratový proud (I_{sc}) 10,45 A
- jmenovité napětí (U_{mp}) 33,7 V
- maximální proud při zátěži (I_{mp}) 9,8 A
- maximální systémové napětí 1000 V

Na střechu bude umístěno v obou případech celkem 30 panelů o celkovém špičkovém výkonu 9,9 kWp. Celková plocha instalovaných polykrystalických panelů je 58,3 m² a pokrývá střechu z 62,9 %. Celková plocha v případě monokrystalických panelů je rovna 51,4 m² a pokrývá plochu střechy z 55,4 %.



Obrázek č. 15 – geometrické rozložení a umístění FV panelů na střeše rodinného domu [31]

Roční produkce elektrické energie FV systémem bude stanovena na základě výpočtu měsíční produkce elektrické energie dle vztahu [35]:

$$E_m = 0,9 \cdot \frac{P_s}{G_{ref}} \cdot H \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

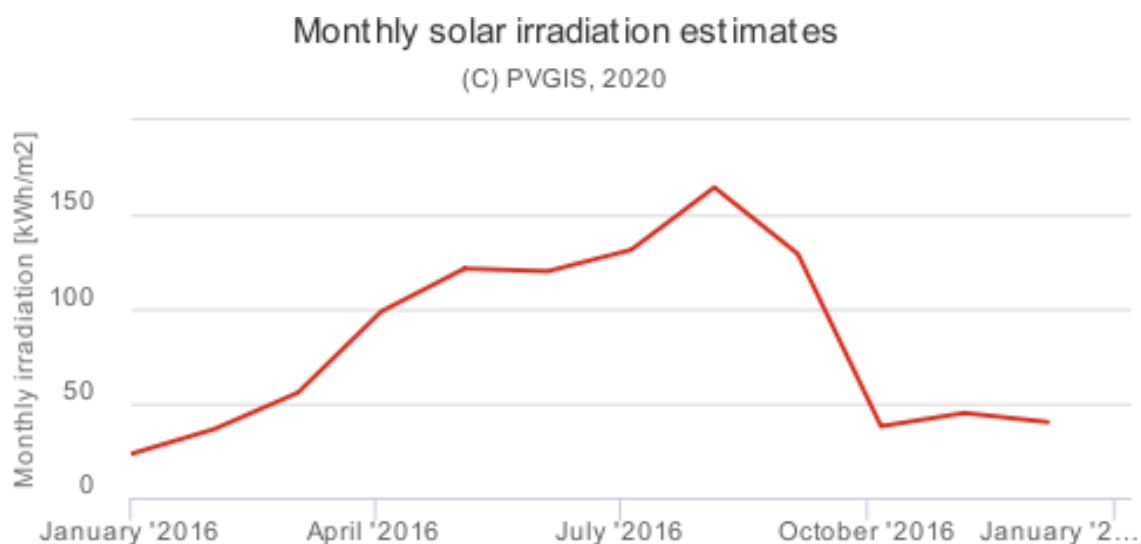
kde

- H [kWh/m².měsíc] - měsíční dávka slunečního ozáření
- P_s [kW] - špičkový výkon instalovaných panelů, pro oba typy panelů je roven 9,9 kW
- η_{FV} [%] - měsíční účinnost panelů
 - polykrystalický panel $\eta_{FVpoly} = 16,97$ %
 - monokrystalický panel $\eta_{FVmono} = 19,3$ %
- η_{ref} [%] - referenční účinnost panelů

- polykrystalický panel $\eta_{\text{refpoly}} = 14,8 \%$
- monokrystalický panel $\eta_{\text{refmono}} = 15,9 \%$
- G_{ref} [kWh/m²] - hodnota referenčního slunečního ozáření rovna 1 kW/m²
- P [%] - srážka vlivem elektrických ztrát rovna 8 %

Elektrické ztráty rozvodu v budově je možné zjednodušeně uvažovat následovně: ztráty na DC vedení 2 %, ztráty na měniči a sledovači výkonového maxima okolo 5 % a ztráty na AC vedení cca 1 %. Optické ztráty vlivem nekolmého úhlu dopadu slunečního záření během roku na FV moduly jsou v rovnici zohledněny konstantou 0,9. [35]

Hodnoty H měsíčních dávek slunečního ozáření jsou vzaty z databáze PVGIS: monthly irradiation data z roku 2016. [36]

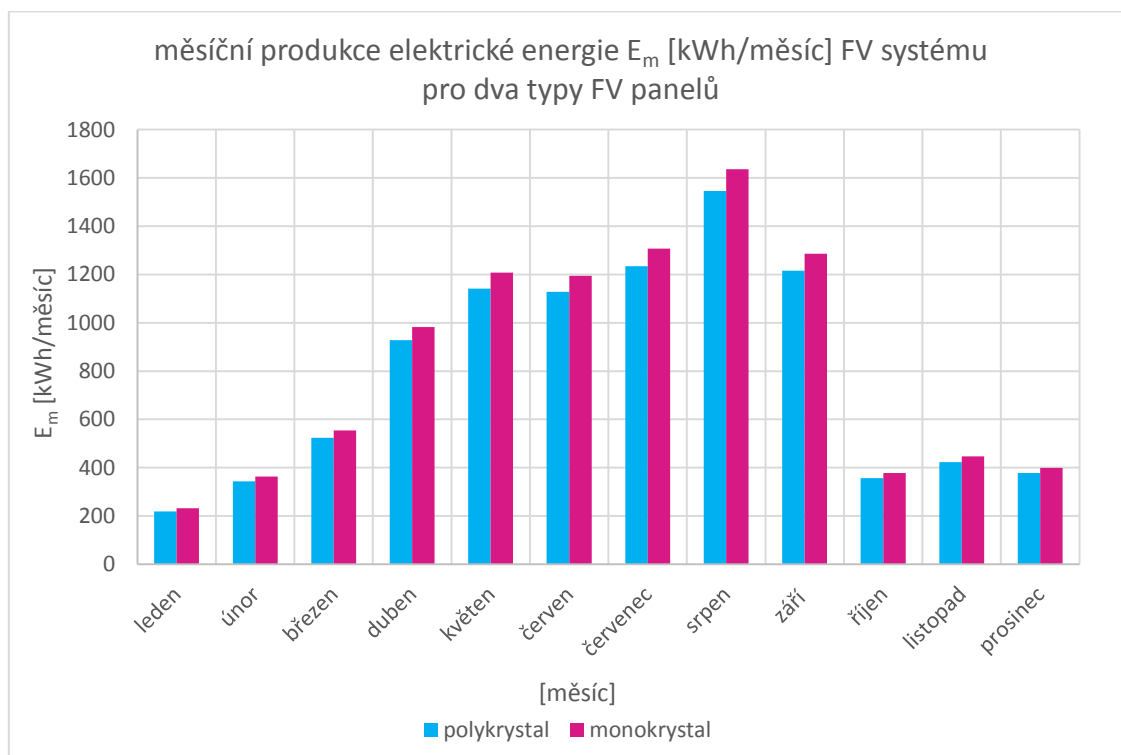


Obrázek č. 16 – měsíční dávka slunečního záření H [kWh/m²] ve zvolené oblasti Čerčany v průběhu roku 2016 [36]

Tabulka č. 1 – tabulka prezentující výsledky výpočtu měsíční E_m [kWh/měsíc] a roční E [kWh/rok] produkce el. energie pro dva typy FV panelů

		polykrystalické panely		monokrystalické panely	
měsíc	H [kWh/m ² .měsíc]	E_{mpoly} [kWh/měsíc]	E_{poly} [kWh/rok]	E_{mmono} [kWh/měsíc]	E_{mono} [kWh/rok]
leden	23,30	219,00	9430	231,84	9990
únor	36,47	342,78		362,88	
březen	55,72	523,72		554,42	
duben	98,73	927,97		982,37	
květen	121,45	1141,52		1208,43	
červen	120,00	1127,89		1194,01	
červenec	131,35	1234,57		1306,94	
srpen	164,50	1546,15		1636,78	
září	129,30	1215,30		1286,54	
říjen	37,92	356,41		377,31	
listopad	44,93	422,30		447,06	
prosinec	40,12	377,09		399,20	

Vypočtená hodnota roční produkce elektrické energie E [MWh/rok] na základě uvedeného vzorce je v případě použití polykrystalických panelů $E_{poly} = 9,43$ MWh/rok a v případě monokrystalických panelů $E_{mono} = 9,99$ MWh/rok.



Graf č. 1 – graf měsíční produkce elektrické energie E_m [kWh/měsíc] pro dva typy FV panelů

Z grafu č. 1 je jasné, že FVE bude vyrábět nejvíce elektrické energie od dubna do září, tedy půl roku. Po zbytek roku jsou příspěvky FVE poměrně malé. Důvodem je závislost FV panelů na intenzitě slunečního záření, která se v mírném podnebném pásu v průběhu roku s ročními obdobími mění. Nejméně slunečního záření je koncem podzimu, v zimních měsících a začátkem jara.

2.5.2 Konstrukce pro šikmé střechy – řešení nad střechou

Nosná konstrukce je důležitou součástí každé FVE, neboť slouží k upevnění modulů, v tomto případě na střechu rodinného domu. Konstrukce musí zachytit síly působící na panely a přenést je na konstrukci střechy, aniž by se opírala o střešní krytinu.

Při návrhu samotného projektu FVE je proto nutné vzít v úvahu statiku střechy (jeden FV panel váží cca 20 kg) a skutečnost, že by měl být zajištěn maximální osvit FV panelů tzn., že by FV panely neměly být zastíněny okolními stavbami nebo předměty na střeše. Střecha bude v případě instalace 30 FV panelů zatížena o víc jak 500 kg, což lze vyřešit například zesílenými vazníky.

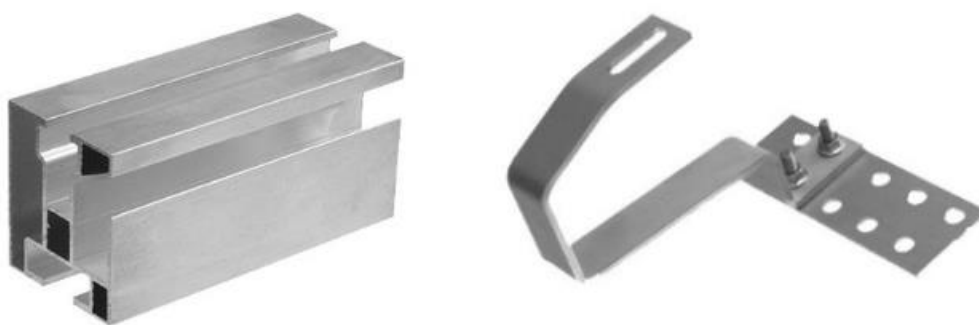
Výslednou instalaci dále ovlivní také sklon střechy, typ střešní krytiny, materiál krovů, orientace střešní roviny vůči světovým stranám či pouze estetická stránka věci. [28] [37] [38]

Novostavba rodinného domu bude mít klasickou šikmou střechu, u které střešní krytina slouží zejména pro odvod dešťové vody. Šikmé střechy jsou zpravidla provedeny jako studené střechy, což znamená, že střešní konstrukce je odvětraná a skládá se (v případě novostavby) z [28]:

- střešní krytiny (pálené střešní tašky),
- střešní latě,
- kontralatě (svislé latě),
- střešní fólie
- dřevěný krov s tepelnou izolací.

V případě nadstřešních systémů jsou všechny konstrukční díly (upevnění, elektrické přívody a kabely) vystaveny povětrnostním vlivům, což je hlavní nevýhodou tohoto systému. Na druhou stranu zde dochází k volnému odvětrávání modulů, které se pozitivně projevuje na energetickém výnosu. Čerčany se nachází v oblasti s mírným větrem, který po většinu roku nepřesahuje rychlost 50 km/hod, takže k extrémním povětrnostním vlivům, které by mohly být příčinou poškození konstrukčních dílů na střeše, by nemělo docházet. [28] [39]

Kovová konstrukce se obecně skládá ze tří hlavních součástí: nosníky (profily), střešní háky a upevnění modulů. Profily (hliníkové či žárově pozinkovaná ocel) jsou pomocí speciálně tvarovaných střešních háků kotvené přímo do krovů pomocí šroubů a tvoří rošt pro upevnění panelů nad střechou. Při instalaci systému na RD se sofistikovanější skladbou střešní konstrukce je možné střešní háky kotvit do laťování, popřípadě do podbití střešní krytiny. Střešní háky jsou přizpůsobené pro konkrétní typ střešní tašky tak, aby háky neležely na taškách, protože by se tašky mohly mechanickým zatížením poškodit a střecha by byla netěsná. Na místech, kde se krov provrtá a přišroubuje se uchycovací háky, je potřeba tašky upravit, aby nedošlo k narušení rovinnosti střechy a tím k případnému zatékání nebo podfuku tašek. Důležité je také vyrovnat nerovnosti střechy, abychom získali rovnou plochu pro upevnění modulů. K upevnění modulů se používají bodové nebo lineární svorky. Většinou se moduly upevňují bodově na okrajích, a to: oboustrannými středovými svorkami mezi dvěma moduly a jednostrannými svorkami na vnějších okrajích krajních modulů. Dále je nutné, aby mezi moduly zůstala dilatační spára, aby v důsledku teplotní roztažnosti nedošlo k pnutí a zlomení modulu. Při upevňování modulů je tedy třeba dbát na to, aby byly použity správné svorky, moduly byly pevně a bezpečně osazeny v předepsaných upevňovacích pozicích a šrouby na moduly nepůsobily příliš velkým tlakem. Výsledkem je plocha FV panelů tvořící samostatnou rovinu obvykle několik centimetrů nad rovinou střešní krytiny (4 – 7 cm), jejíž funkce odvodu dešťové vody zůstane zachována. [28] [37] [38]



Obrázek č. 17 – hliníkový profil (vlevo), kombinovaný střešní hák (vpravo) [40]

2.5.3 Střídač

Střídač (invertor) je zařízení, které umožňuje propojení mezi FV panely a rozvodnou sítí a slouží k přeměně DC napětí vyrobeného FV panely na AC napětí, které přizpůsobuje frekvenci a velikosti napájecí sítě. Střídač může mít však spoustu dalších funkcí jako je monitoring sítě a

provozních údajů, ochranné funkce, optimalizace výnosů systému či funkci upozornění na jakýkoliv problém či chybu systému. [41]

Pomocí moderní výkonové elektroniky probíhá převod na AC napětí jen s malými ztrátami. Maximální účinnost střídačů se většinou pohybuje v rozmezí 90 – 98 %. Zajímavější hodnotou je však pro naši zeměpisnou šířku spíše evropská účinnost, která je měřena při měnících se klimatických podmínkách a je průměrem účinnosti při různých stupních zatížení střídače. [41]

Dalším důležitým faktorem střídače je účinnost přizpůsobení MPP. Jedná se o parametr udávající, jak rychle dokáže střídač měnící se klimatické podmínky zaregistrovat a na změnu adekvátně a přesně reagovat. Aby střídač dodával do sítě maximální výkon, musí pracovat v bodě maximálního výkonu solárního generátoru. Regulátor MPP nebo také MPP tracker ve střídači vyrovnává pracovní bod přizpůsobením proudu FV panelů tak, aby byla splněna podmínka max. výkonu článků tj. $dP/dI = 0$. [28] [41] [42]

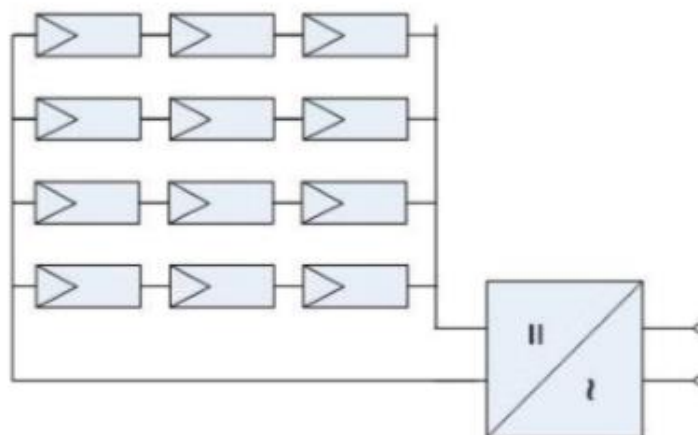
V současné době se používají především samostatně řízené střídače, u kterých tvarování zapínacích a vypínacích impulzů pro elektronické výkonové spínače řídí mikroprocesor. Pulzně-šířkovou modulací DC napětí se vytvářejí impulzy, které se podobají sinusovému průběhu. Samostatně řízené střídače fungují i při výpadku síťového napětí. [28]

Střídače dělíme podle způsobu zapojení FVE na hybridní a ostrovní. Hybridní invertor umožňuje provoz FV systému při dostupnosti sítě i bez ní. Takovýto měnič je schopen v reálném čase regulovat množství energie odebírané ze sítě nebo z akumulátoru. Ostrovní střídače jsou používány v instalacích grid-off, které nejsou připojené na síť. [43]

Podle konstrukce můžeme rozdělit střídače na zařízení s transformátorem a bez transformátoru. Hlavní výhodou střídače bez transformátoru je vyšší účinnost, naopak nevýhodou je absence galvanického oddělení, což znamená, že primární strana (DC proud) a sekundární strana (AC proud) mají vodivé propojení. U střídačů bez transformátoru je tedy nutné nainstalovat dodatečná ochranná zařízení. [28]

Střídače dále dělíme z hlediska jejich zapojení v systému FVE na centrální, řetězcové (decentrální) a modulové. Centrální střídače jsou připojeny na mnoho větví a používají se pro větší FV systémy. Další rozšířenou koncepcí jsou řetězcové střídače, kdy je instalace rozdělena do několika střídačů, na které je napojeno několik větví FV panelů. FV panely jsou vzájemně

propojeny do série, případně paralelně. S modulovými střídači se setkáváme jen zřídka. [11] [28] [43]



Obrázek č. 18 – centrální zapojení střídače [11]

Navržený FV systém bude připojený k distribuční síti třífázově (u menších FV systémů do cca 5 kWp bývá napojen na nízkonapěťovou síť jednofázově) a měl by pokud možno stejnoměrně napájet všechny tři fáze sítě. [28]

Použit bude jeden hybridní třífázový beztransformátorový střídač GoodWe GW10K-ET zapojený centrálně. Technické parametry střídače [44]:

▪ maximální DC vstupní výkon	13 kW
▪ maximální DC vstupní napětí	1 kV
▪ jmenovité DC vstupní napětí	650 V
▪ maximální vstupní proud	11 + 11 A
▪ maximální zkratový proud	13,8 + 13,8 A
▪ počet stringů na vstup	1 + 1
▪ výstupní AC výkon	10 kW
▪ maximální účinnost	98,3 %
▪ euro účinnost	97 %
▪ provoz bez akumulátoru	ano
▪ ochrana proti přepětí AC výstupu	ano

Jednotlivé FV panely se sériově propojí do dvou větví po patnácti panelech. Sériové propojení znamená, že napětí jednotlivých FV panelů se sčítají a proud zůstává stejný. Pro oba typy panelů při tomto sériovém zapojení součet napětí FV panelů, tedy maximální systémové napětí, nepřekročí hodnotu 1000 V. Geometrické uspořádání modulů v řadách se tedy od

elektrického uspořádání do řad liší. Stejně dlouhé větve se pak paralelně propojí, přičemž se sečtou jejich proudy. Součet proudů pro oba typy panelů je v mezích dovoleného vstupního proudu střídače. [28]

Pro zajištění ochrany bude za střídačem ještě umístěn třífázový 16-ti ampérový jistič.

2.5.4 Domovní přípojková skříň

Novostavba RD se napojí k elektrické distribuční síti kabelem k přípojkové skříni, která bude spolu s elektroměrovým rozvaděčem umístěna v pilíři v oplocení pozemku. Střed okének elektroměru musí být ve výšce 1,5 - 1,7 m nad definovaným povrchem od země dle ČSN EN 61439-3. Jištění v přípojkové skříni bude provedeno pomocí nožových pojistek PN000 3x50 A. První a druhý stupeň přepět'ové ochrany bude umístěn před elektroměrovým rozvaděčem. Je-li přepět'ová ochrana instalována na vstupu do objektu, chrání nejen střídavou část FV zařízení, ale i zbývající elektroinstalaci v domě. [31] [45]

Přepět'ová ochrana typu 1 představuje tzv. hrubou ochranu, kterou poskytuje svodič bleskového proudu. Střední třídou ochrany je přepět'ová ochrana typu 2 tzn. svodič přepětí. [46]

Odběr elektrické energie RD bude měřen třífázovým dvousazbovým elektroměrem, který bude umístěn v elektroměrovém pilíři v oplocení pozemku. Před elektroměrem bude třífázový hlavní jistič o velikosti 40 A. Přívodní vedení bude provedeno napět'ovou soustavou 3+PEN, ~50 Hz, 230/400V, TN-C, vnitřní rozvody napět'ovou soustavou 3+PE+N, ~50 Hz, 230/400V, TN-S. Místem přechodu TN-C a TN-S je rozvaděč v objektu. [31]

2.5.5 Připojovací skříň pro FV panely

Jestliže se FV zařízení skládá z několika větví, jsou tyto větve svedeny dohromady v připojovací skříni pro FV panely a propojeny s hlavním DC vedením, které vede ke střídači. Připojovací skříň pro FV panely by měla být provedena ve třídě ochrany 2 a měla by mít jasné oddělení kladné a záporné strany uvnitř skříně. [28]

Přepět'ovou ochranu typu 2 lze použít na DC straně u rodinných domů s vnější ochranou proti blesku, pokud jsou FV panely v ochranném pásmu jímače (hromosvodu) a je dodržena dostatečná přeskoková vzdálenost s. Nejsou-li obě tyto podmínky splněny, pak je potřeba instalovat přepět'ovou ochranu typu 1. Pro navrhovaný systém budeme počítat s tím, že předchozí podmínky jsou splněny. [45]

Jako přepěťová ochrana bude sloužit kombinovaný svodič přepětí CITEL DS60VGPV-1000G/51, který je schopen svádět jak přepětí, tak i bleskové proudy a je určen pro ochranu FV zařízení. Jedná se o kombinovanou přepěťovou ochranu typu 1 a 2 o napěťové úrovni 1 kV (DC). Přepěťová ochrana bude instalována v přípojovací skříni pro FV panely a bude chránit DC stranu. [47]

V důsledku úderu blesku nebo přepětí na DC straně mohou být ohroženy i další elektrické systémy. Obecně platí, že FV systém nezvyšuje ohrožení budovy bleskem, nicméně každý úder blesku může vytvořit přepětí. Je proto důležité uvažovat i s ochranou datových a komunikačních linek, které by měly být chráněny proti indukovanému přepětí. Střídače novějších generací mají totiž kromě AC a DC vstupů většinou rozhraní pro sběr a přenos dat. [28] [45]

2.5.6 Kabely

Elektrická propojovací vedení mezi jednotlivými panely solárního generátoru a vedení k přípojovací skříni pro FV panely nebo ke střídači musí být položena tak, aby byla zajištěna před vzájemnými zkraty a zkraty se zemí. To se většinou provádí odděleným uložením kladného a záporného vedení s dvojitou izolací. [28]

Venkovní a vnitřní vedení určené pro vedení DC proudu, tzn. kabelové propojení: panely – přípojovací skříň FV panelů – střídač, bude realizováno solárním kabelem H1Z2Z2-K s průřezem 4 mm², který je bezhalogenový (lepší z hlediska životního prostředí). [28] [48]

Vedení, které povede AC proud a propojuje střídač přes elektroměr a ochranná zařízení s rozvodnou sítí, bude provedeno třífázovým silovým kabelem CYKY-J 4x10 mm². [28] [31]

2.6 Návrh hybridního systému s možností akumulace energie do baterie pro dva typy FV panelů

Návrh hybridního systému s baterií se bude od předchozího lišit pouze tím, že bude instalována solární baterie a příslušenství potřebné k jejímu provozu. Roční hodnota vyrobené elektrické energie FV panely, konstrukce, střídač a další součásti FV systému probrány v kapitole 2.5 zůstávají tedy stejné.

2.6.1 Solární baterie

Solární baterie slouží pro uskladnění elektrické energie vyrobené z FV panelů, která není spotřebována v okamžiku jejího vzniku. Použití solární baterie tak umožňuje využít vyrobenou elektrickou energii i během noci, zamračeného počasí nebo nadměrného odběru. V domácnostech se nejčastěji používají lithiové baterie. [49]

Lithium-iontová baterie (zkráceně Li-Ion baterie) je druh baterie, která se začala komerčně vyrábět v roce 1991. Hlavními přednostmi lithiových akumulátorů jsou vysoké jmenovité napětí, vysoká hustota energie, nízká hmotnost, dlouhá životnost, nízké samovybití a další. Jejich nevýhodou je pak omezení nabíjecího a vybíjecího proudu, v průběhu vybití dochází k poklesu napětí, velký vnitřní odpor aj. [50]

Způsob zapojení baterie, střídače a FV panelů bude tzv. DC coupling, které se využívá v případě hybridních měničů. Energie z FV panelů je v DC formě dodávána do hybridního měniče a následně do baterie. Hybridní střídač je připojen i na AC rozvody v domě a přes integrovaný měnič umí do rozvodů domu AC energii z baterie dodávat. Veškerá vyrobená energie z FV panelů tak prochází přes baterii. [51]

Použitý měnič GoodWe GW10K-ET je kompatibilní s lithiovou baterií Pylontech H48050, jež se používá pro větší třífázové FVE [52].

➤ Specifikace střídače GoodWe GW10K-ET pro baterii [44]:

▪ typ baterie	Li-Ion
▪ rozsah napětí baterie	180 – 550 V (DC)
▪ maximální nabíjecí proud	25 A
▪ maximální vybíjecí proud	25 A

➤ Technické parametry baterie Pylontech H48050 [52]:

▪ technologie akumulátoru	LiFePO4
▪ nominální napětí	48 V
▪ nominální kapacita	50 Ah – 2,4 kWh
▪ maximální dovolený DOD (hloubka vybití)	80 %
▪ minimální počet nabíjecích cyklů	4000

Pro zajištění správné funkce střídače GoodWe je potřebné mít připojené minimálně čtyři baterie Pylontech. Pro FV systém s možností akumulace energie bude použito 5 těchto baterií.

Jednotlivé bateriové moduly se propojí sériově, což znamená, že jejich napětí se sčítají do výsledného napětí, které je rovno 240 V. [44] [52]

Tento typ baterie se umísťuje do tzv. racků. Rack je standardizovaný systém pro akumulaci energie umožňující přehlednou montáž a propojování různých elektrických a elektronických zařízení. Pro baterie Pylontech H48050 je vhodné použít systém pro akumulaci energie Powercube-X1, který je určen pro 3 až 7 bateriových modulů s max. kapacitou bateriového systému 16,8 kWh. [52] [53]

2.6.2 BMS

Battery management system, zkráceně BMS, je nutnou součástí každé LiFePO₄ baterie. BMS slouží k vyrovnávání elektrické energie uložené v sério/paralelně spojených článcích. BMS je mimo balancování článků velmi důležité z hlediska ochrany baterie proti nevratnému poškození. Jestliže např. BMS zaregistruje hloubku vybití pod 90 %, ihned odpojuje veškerou dodávku energie z baterie. [54]

Většina řídicích jednotek BMS využívá tzv. aktivní balancování, které je během nabíjení a vybíjení řízeno procesorem. Každý článek v baterii je monitorován a udržován na optimální úrovni, tak aby byla využita max. kapacita každého článku, což prodlužuje životnost baterie a předchází jejímu poškození vlivem hlubokého vybití. Aktivní balancování je technika, která přerozděluje náboj mezi jednotlivými články baterie během cyklu nabíjení a vybíjení, čímž se prodlužuje doba provozu celého systému zvýšením celkového využitelného náboje uloženého v baterii. Touto metodou také dochází ke snížení doby pro nabíjení. [54] [55]

Vzhledem k tomu, že systém akumulace energie s použitými solárními bateriemi musí být s BMS kompatibilní, bude použita řídicí jednotka Pylontech SC0500A-100S pro Powercube-X1, která umožňuje propojit a účinně řídit nabíjení a vybíjení jednotlivých bateriových modulů. [53] [56]

➤ Specifikace BMS Pylontech SC0500A-100S [55]:

- | | |
|--------------------|------------------|
| ▪ pracovní napětí | 100 – 430 V (DC) |
| ▪ maximální proud | 100 A |
| ▪ vlastní spotřeba | 8 W |

2.7 Podmínky připojení standardního režimu k distribuční síti

Pro připojení navrženého FV systému k distribuční soustavě je potřeba, na základě vyhlášky č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, splnit tyto podmínky [57]:

- vyplnit a zaslat žádost o připojení výrobní,
- mít zpracovanou studii připojitelnost,
- uzavřít smlouvu o připojení mezi žadatelem a provozovatelem distribuční soustavy.

Standardní režim připojení umožňuje přetoky elektrické energie do distribuční sítě, čímž se liší od zjednodušeného režimu pro připojení mikrozdroje, u kterého je případná dodávka elektrické energie do distribuční sítě neoprávněná a penalizována. Příjmy z přetoků elektřiny v případě standardního režimu připojení výroben (bez licence – FVE do 10 kWp) nejsou považovány za příjmy z podnikání. [58]

3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ UVEDENÉHO NÁVRHU FVE

3.1 Dotace Nová zelená úsporám

Pro navržený projekt FVE bude využita dotace Nová zelená úsporám, konkrétně oblast podpory C - efektivní využití zdrojů energie, podoblast C.3 – instalace solárních termických a FV systémů. Podmínky podoblasti C.3 jsou [59]:

- majitel domu může o dotaci požádat na jeden RD pouze jednou za dobu trvání Programu, a to i v případě rodinného domu s více bytovými jednotkami,
- při podání žádosti před dokončením RD, musí být nejpozději v okamžiku doložení dokumentů prokazujících řádné dokončení realizace podporovaných opatření prokázáno řádné dokončení domu – doloží se výpis z katastru nemovitostí k novostavbě,
- podpora na FV systémy v podoblasti C.3.4, C.3.5, C.3.6 a C.3.7 se poskytuje pouze na systémy připojené k distribuční soustavě po 1. 1. 2016,
- v podoblasti podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6 a C.3.7 nesmí být maximální instalovaný výkon FV systému vyšší než 10 kWp.

Tabulka č. 2 – dotace NZÚ, tabulka popisující podoblasti podpory, typy systémů a výši podpory [59]

dotace NZÚ		
Podmínky oblasti podpory C		
Podoblast C.3		
Podporované typy systémů		
Podoblast podpory	Typ systémů	Výše podpory
C.3.4	FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 kWh.rok ⁻¹	55 000 Kč
C.3.7	FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 4 000 kWh.rok ⁻¹	150 000 Kč

V tabulce č. 2 jsou uvedeny podoblasti podpory s podporovaným typem systému a výší podpory, která bude z této tabulky pro další výpočty nejdůležitější. Do podoblasti C.3.4 spadá navržený hybridní systém bez možnosti akumulace energie do baterie (kapitola 2.5) a do

podoblasti C.3.7 hybridní systém s možností akumulace energie do baterie (kapitola 2.6). Oba navržené hybridní systémy splňují požadavky v podoblastech podpory C.3.4 a C.3.7. [59]

Žádost o dotaci se podává elektronicky vyplněním online formuláře. Žádosti jsou přijímány až do 31. prosince 2021 (nebo do vyčerpání alokace) Státním fondem životního prostředí ČR. Program NZÚ je financován z výnosů prodeje tzv. emisních povolenek EUA a EUAA. [60]

3.2 Počáteční investice do FVE bez možnosti akumulace energie do baterie

Počáteční investice do FV systému bez možnosti akumulace elektrické energie do baterie se určí sečtením cen veškerých důležitých a v technické části bakalářské práce popsanych komponentů. Většina cen byla zjištěna konkrétně, avšak ceny některých komponentů jako např. přípojkové skříně pro FV panely, přepěťové ochrany datových linek či cena za instalaci FVE byly stanoveny odhadem.

Investice do FV systémů bez baterie jsou stejné, pokud bychom nezapočítali FV panely, neboť ceny ostatních komponentů se neliší. Rozdíl investic je tedy způsoben použitím různě drahých FV panelů a činí přibližně 77 100 Kč.

Tabulka č. 3 – jednotlivé položky FVE bez baterie (monokrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48]

hybridní systém bez akumulace		
monokrystalické panely		
název položky	cena s DPH	počet kusů
panel LG 330Wp MONO	5 978,61 Kč	30
set pro 6 panelů (konstrukce)	7 387,84 Kč	1
set pro 10 panelů (konstrukce)	10 056,98 Kč	1
set pro 14 panelů (konstrukce)	12 723,82 Kč	1
hybridní 3f měnič GoodWe GW10K-ET	82 728,00 Kč	1
přípojková skřín pro FV panely	1 500,00 Kč	1
kombinovaný svodič přepětí CITEC DS60VGPV-1000G/51	4 796,00 Kč	1
jistič 16 A třífázový	435,00 Kč	1
přepěťová ochrana datových linek	2 000,00 Kč	1
solární kabel H1Z2Z2-K s průřezem 4 mm ² (100m)	2 299,00 Kč	/
instalace FVE	25 000,00 Kč	/
rezerva	3 000,00 Kč	/
investice do FVE celkem bez dotace NZÚ	331 285 Kč	
dotace NZÚ	55 000 Kč	
investice do FVE s dotací NZÚ	276 285 Kč	

Celková hodnota investice do FV systému bez baterie s monokrystalickými panely je bez dotace NZÚ 331 285 Kč. S použitím dotace NZÚ se tato částka sníží o 55 000 Kč na 276 285 Kč.

Tabulka č. 4 – jednotlivé položky FVE bez baterie (polykrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48]

hybridní systém bez akumulace		
polykrystalické panely		
název položky	cena s DPH	počet kusů
panel Canadian solar 330Wp POLY	3 410,02 Kč	30
set pro 6 panelů (konstrukce)	7 387,84 Kč	1
set pro 10 panelů (konstrukce)	10 056,98 Kč	1
set pro 14 panelů (konstrukce)	12 723,82 Kč	1
hybridní 3f měnič GoodWe GW10K-ET	82 728,00 Kč	1
přípojková skříň pro FV panely	1 500,00 Kč	1
kombinovaný svodič přepětí CITEL DS60VGPV-1000G/51	4 796,00 Kč	1
jistič 16 A třífázový	435,00 Kč	1
přepětřová ochrana datových linek	2 000,00 Kč	1
solární kabel H1Z2Z2-K s průřezem 4 mm ² (100m)	2 299,00 Kč	/
instalace FVE	25 000,00 Kč	/
rezerva	3 000,00 Kč	/
investice do FVE celkem bez dotace NZÚ	254 227 Kč	
dotace NZÚ	55 000 Kč	
investice do FVE s dotací NZÚ	199 227 Kč	

V případě FV systému bez baterie s polykrystalickými panely je celková hodnota investice bez dotace NZÚ 254 227 Kč a s dotací NZÚ 199 227 Kč.

3.3 Počáteční investice do FVE s možností akumulace energie do baterie

Pro FV systém s možností akumulace elektrické energie do baterie jsem vycházela z počáteční investice do FV systému bez baterie. K této investici jsem přičetla ještě investici do bateriového systému a provedla drobné úpravy. Opět platí, že podstatná část cen za jednotlivé komponenty byla zjištěna konkrétně a některé ceny byly stanoveny odhadem.

I v tomto případě jsou investice do bateriového systému stejné pro oba typy FV panelů, takže se výsledná hodnota investic bude opět lišit pouze použitím různého typu FV panelů tedy o cca 77 100 Kč.

Tabulka č. 5 – jednotlivé položky FVE s baterií (monokrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48] [52] [53] [56]

hybridní systém s akumulací		
monokrystalické panely		
název položky	cena s DPH	počet kusů
panel LG 330Wp MONO	5 978,61 Kč	30
set pro 6 panelů (konstrukce)	7 387,84 Kč	1
set pro 10 panelů (konstrukce)	10 056,98 Kč	1
set pro 14 panelů (konstrukce)	12 723,82 Kč	1
hybridní 3f měnič GoodWe GW10K-ET	82 728,00 Kč	1
přípojková skříň pro FV panely	1 500,00 Kč	1
kombinovaný svodič přepětí CITEL DS60VGPV-1000G/51	4 796,00 Kč	1
jistič 16 A třífázový	435,00 Kč	1
přepěťová ochrana datových linek	2 000,00 Kč	1
solární kabel H1Z2Z2-K s průřezem 4 mm ² (100m)	2 299,00 Kč	/
baterie Pylontech H48050	25 231,00 Kč	5
pylontech box Rack Powercube-X1	22 491,66 Kč	1
BMS Pylontech SC0500A-100S	23 291,00 Kč	1
kabelový set pro spojení baterií	1 310,00 Kč	5
instalace FVE s baterií	30 000,00 Kč	/
rezerva	5 000,00 Kč	/
investice do FVE celkem bez dotace NZÚ	516 773 Kč	
dotace NZÚ	150 000 Kč	
investice do FVE s dotací NZÚ	366 773 Kč	

Za FV systém s monokrystalickými panely s možností akumulace energie do baterie by investor bez dotace NZÚ zaplatili 516 773 Kč. V tomto případě je dotace NZÚ mnohem vyšší než v případě FV systému bez baterie a s využitím této dotace by zaplatil 366 773 Kč.

Tabulka č. 6 – jednotlivé položky FVE s baterií (polykrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48] [52] [53] [56]

hybridní systém s akumulací		
polykrystalické panely		
název položky	cena s DPH	počet kusů
panel Canadian solar 330Wp POLY	3 410,02 Kč	30
set pro 6 panelů (konstrukce)	7 387,84 Kč	1
set pro 10 panelů (konstrukce)	10 056,98 Kč	1
set pro 14 panelů (konstrukce)	12 723,82 Kč	1
hybridní 3f měnič GoodWe GW10K-ET	82 728,00 Kč	1
přípojková skříň pro FV panely	1 500,00 Kč	1
kombinovaný svodič přepětí CITEK DS60VGPV-1000G/51	4 796,00 Kč	1
jistič 16 A třífázový	435,00 Kč	1
přepěťová ochrana datových linek	2 000,00 Kč	1
solární kabel H1Z2Z2-K s průřezem 4 mm ² (100m)	2 299,00 Kč	/
baterie Pylontech H48050	25 231,00 Kč	5
pylontech box Rack Powercube-X1	22 491,66 Kč	1
BMS Pylontech SC0500A-100S	23 291,00 Kč	1
kabelový set pro spojení baterií	1 310,00 Kč	5
instalace FVE s baterií	30 000,00 Kč	/
rezerva	5 000,00 Kč	/
investice do FVE celkem bez dotace NZÚ	439 715 Kč	
dotace NZÚ	150 000 Kč	
investice do FVE s dotací NZÚ	289 715 Kč	

V případě instalace polykrystalických panelů má investice do FV systému s možností akumulace energie do baterie bez dotace NZÚ hodnotu 439 715 Kč. S využitím dotace NZÚ pak 289 715 Kč.

Cena za FV systém s baterií se tak oproti investici do FV systému bez baterie bez započítání dotace NZÚ zvýší o cca 185 500 Kč. Pokud bychom započítali i dotaci NZÚ, rozdíl mezi investicemi do FV systému bez baterie a s baterií by byl přibližně 90 500 Kč.

3.4 Stanovení roční spotřeby elektrické energie RD

Tato kapitola navazuje na podkapitolu 2.4.1, ve které byl popsán způsob provedení vytápění, ohřevu teplé vody, osvětlení a vybavení domu elektrickými spotřebiči. Vzhledem k tomu, že RD není ještě postaven a nejsou tudíž k dispozici žádné údaje o skutečné spotřebě elektrické energie RD, budu vycházet z hodnot uvedených v protokolu PENB a v projektové dokumentaci RD – Elektrická instalace.

Na vytápění se ročně spotřebuje 1,15 MWh elektrické energie, kterou využívá elektrokotel instalovaný v bytové jednotce v podkroví (4 + 1). Vzhledem k tomu, že ostatní bytové jednotky k vytápění elektrickou energií nevyužívají, bude celá spotřeba 1,15 MWh započítána k celkové spotřebě bytové jednotky v podkroví. V průběhu roku se reálná spotřeba elektrické energie na vytápění mění. Nejvíce se topí v zimních měsících a na přelomu podzim/zima a zima/jaro, v létě naopak nejméně. [32]

Na ohřev teplé vody je ročně potřeba 12 MWh elektrické energie. I zde se předpokládá, že teplou vodu obecně potřebujeme více v chladnějších měsících a v létě méně. Pro zjednodušení výpočtů se těchto 12 MWh/rok rozdělí do spotřeby všech tří bytových jednotek následovně: bytová jednotka (4 + 1) – 6 MWh/rok (v této jednotce je instalován zásobníkový ohřívač vody a bojler, v ostatních pouze zásobníkový ohřívač vody), bytová jednotka (3 + kk) – 3 MWh/rok a druhá bytová jednotka (3 + kk) – 3 MWh/rok. [32]

Na osvětlení se ročně spotřebuje 0,35 MWh elektrické energie. Pro zjednodušení se tato roční spotřeba rozdělí rovnoměrně do spotřeby všech tří bytových jednotek (tzn. roční spotřeba elektrické energie na osvětlení jedné bytové jednotky = 0,35 MWh/3). [32]

RD bude vybaven elektrickými spotřebiči, běžně užívanými ve stavbách pro bydlení. [31]

Tabulka č. 7 – spotřebiče elektrické energie s příkonem [W] pro bytovou jednotku 4 + 1 [31]

název spotřebiče	příkon [W]
elektrokotel	4500
zásobníkové ohřívače vody	4400
sporák	2000
trouba	2000
pračka	2200
myčka	2200
lednička A+++	X
kondenzační sušička	900
televize, počítač a příslušenství	1200
drobné kuchyňské spotřebiče	3000
ovládací prvky a signalizace	500
elektrický topný žebřík	800

V rámci úspory elektrické energie by se do každé bytové jednotky pořídila lednice spadající do energetické třídy A+++, což znamená, že lednice ročně spotřebuje 175 kWh elektrické energie.

Na základě všech uvedených předpokladů jsem rozpočítala do jednotlivých měsíců pro každou bytovou jednotku zvlášť roční spotřebu elektrické energie na vytápění a na ohřev teplé vody a vypočítala měsíční spotřebu elektrické energie užíváním elektrických spotřebičů v dané domácnosti.

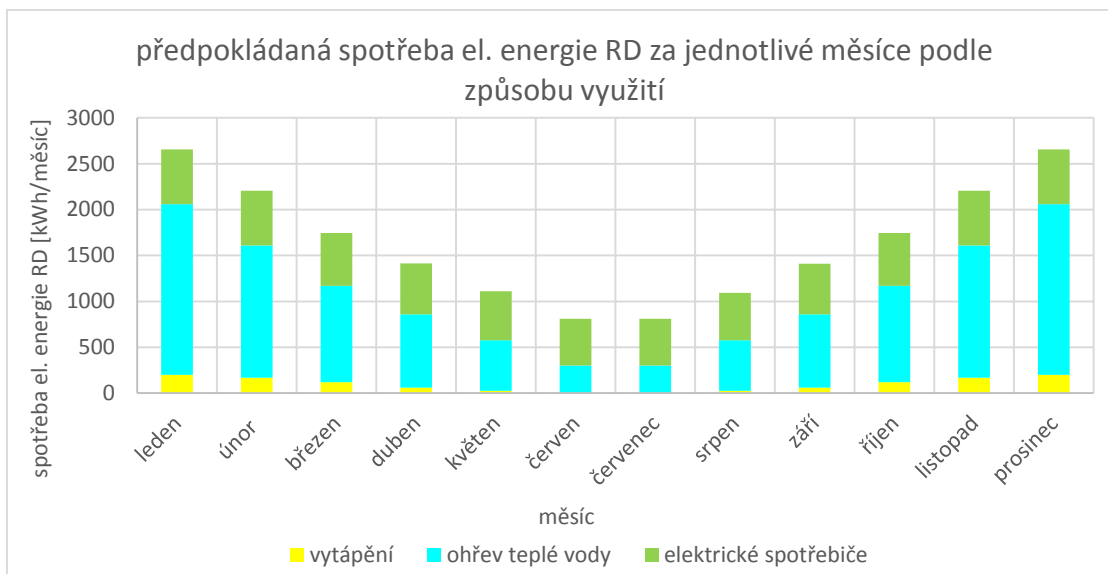
Při výpočtu měsíční spotřeby elektrické energie užíváním elektrických spotřebičů jsem počítala se scénářem, kdy v bytové jednotce 4 + 1 a 3 + kk bydlí čtyřčlenná rodina a v poslední bytové jednotce 3 + kk pár. Uvažovala jsem například s tím, že obě rodiny v průběhu každého týdne vaří (využívají sporák i troubu), perou minimálně tři krát týdně (černé, bílé, barevné) a myčku využívají alespoň tři krát týdně. V případě páru je frekvence využívání těchto spotřebičů samozřejmě menší.

Výsledná měsíční spotřeba elektrické energie jednotlivých bytových jednotek se pak pro dané využití (vytápění, ohřev teplé vody a elektrické spotřebiče) sečte, čímž jsem dostala celkovou měsíční spotřebu elektrické energie RD podle využití.

Tabulka č. 8 – spotřeba elektrické energie všech bytových jednotek v jednotlivých měsících a podle využití [31]

spotřeba elektrické energie RD (všech tří bytových jednotek) za jednotlivé měsíce				
měsíc	vytápění [kWh/měsíc]	ohřev teplé vody [kWh/měsíc]	elektrické spotřebiče [kWh/měsíc]	celková spotřeba el. energie RD [kWh/měsíc]
leden	200,0	1860,0	594,5	2654,5
únor	170,0	1440,0	594,5	2204,5
březen	120,0	1050,0	575,3	1745,3
duben	60,0	800,0	554,5	1414,5
květen	25,0	550,0	535,3	1110,3
červen	0,0	300,0	509,6	809,6
červenec	0,0	300,0	509,6	809,6
srpen	25,0	550,0	517,6	1092,6
září	60,0	800,0	551,3	1411,3
říjen	120,0	1050,0	575,3	1745,3
listopad	170,0	1440,0	594,5	2204,5
prosinec	200,0	1860,0	594,5	2654,5
celkem [kWh/rok]	1150	12000	6706	19856

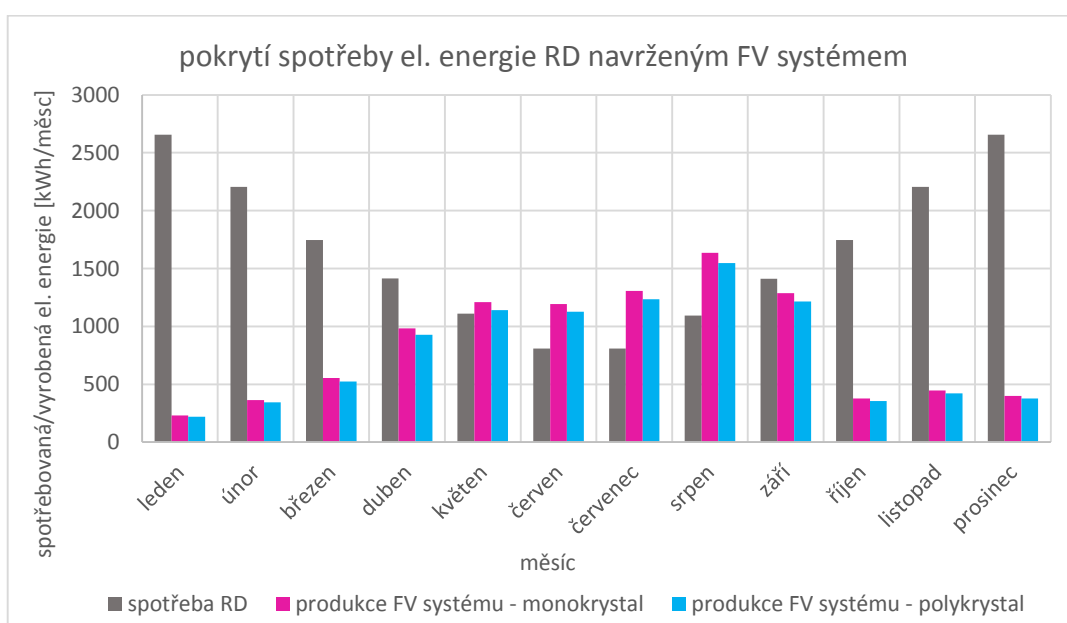
Z tabulky č. 8 vidíme, že roční spotřeba elektrické energie všech bytových jednotek používáním elektrických spotřebičů vychází 6,7 MWh/rok. Celkově RD za rok spotřebuje 19,9 MWh elektrické energie.



Graf č. 2 – graf předpokládané spotřeby elektrické energie RD za jednotlivé měsíce a podle způsobu využití elektřiny

3.5 Porovnání roční výroby elektrické energie FVE s roční spotřebou elektrické energie RD

Hybridní systém s baterií se od hybridního systému bez baterie liší samozřejmě možností akumulace energie, což znamená, že energie, kterou FV systém vyrobí a nespotřebuje se, se uloží do baterie a poté je možné tuto uloženou energii využít např. večer, kdy jsou většinou všichni obyvatelé doma a spotřeba elektrické energie je logicky větší než přes den, kdy jsou dospělí v práci a děti ve škole. FV panely tedy v obou případech (s baterií i bez baterie) vyrábí měsíčně stejné množství elektrické energie. Rozdíl je jen v tom, že u hybridního systému s baterií můžeme elektrickou energii uložit na „později“.



Graf č. 3 – graf prezentující pokrytí spotřeby elektrické energie RD navrženým FV systémem v jednotlivých měsících

Z grafu č. 3 je zřejmé, že spotřeba elektrické energie bytových jednotek je v letních měsících nejnižší a v zimních měsících nejvyšší. Toto je obecně velkou nevýhodou FVE, protože FVE v zimních měsících vyrábí nejméně elektrické energie, kdežto v letních měsících nejvíce, tedy přesně naopak než je spotřeba elektrické energie RD a než bychom ideálně požadovali.

Dále z grafu č. 3 vidíme, kdy nám navržený FV systém vyrobí menší nebo větší množství elektrické energie než je spotřeba RD. V lednu, únoru, březnu, dubnu, září, říjnu, listopadu a prosinci FV systém vyrobí menší množství elektrické energie. V těchto měsících FV systém k pokrytí spotřeby RD aspoň částečně přispívá, nicméně je potřeba odebírat převážné množství elektrické energie ze sítě. Celkem je nutné v těchto měsících z distribuční sítě odebrat 11,4 MWh v případě FV systému s monokrystalickými panely a 11,7 MWh v případě FV systému s polykrystalickými panely.

Tabulka č. 9 – množství elektrické energie odebrané z distribuční sítě pro oba typy FV panelů

odběr elektřiny z distribuční sítě				
	monokrystalické panely		polykrystalické panely	
měsíc	množství el. energie [kWh/měsíc]	celkem el. energie [kWh/rok]	množství el. energie [kWh/měsíc]	celkem el. energie [kWh/rok]
leden	2422,63	11393	2435,47	11649
únor	1841,59		1861,69	
březen	1190,85		1221,55	
duben	432,10		486,50	
září	124,73		195,97	
říjen	1367,96		1388,86	
listopad	1757,41		1781,67	
prosinec	2255,27		2277,38	

V květnu, červnu, červenci a srpnu FV systém vyrobí větší množství elektrické energie než je spotřeba RD. Tyto přebytky, ve výši 1,5 MWh v případě FV systému s monokrystalickými panely a 1,2 MWh v případě FV systému s polykrystalickými panely, budou dodány do distribuční sítě.

Tabulka č. 10 – množství elektrické energie dodané do distribuční sítě pro oba typy panelů

elektrina dodaná do distribuční sítě				
	monokrystalické panely		polykrystalické panely	
měsíc	množství el. energie [kWh/měsíc]	celkem el. energie [kWh/rok]	množství el. energie [kWh/měsíc]	celkem el. energie [kWh/rok]
květen	98,16	1524	31,25	1228
červen	384,44		318,32	
červenec	497,37		425,00	
srpen	544,21		453,58	

3.6 Roční výdaje za elektřinu

3.6.1 Distribuční sazba

Pro RD bude vybrána distribuční sazba D25d, což je dvoutarifová sazba (nízký a vysoký tarif). NT se uplatňuje po 8 hodin denně s tím, že distributor může operativně dobu platnosti tohoto tarifu měnit. Sazba je vhodná především pro domácnosti, které pro ohřev vody využívají elektrickou energii. V domácnostech se tedy provozují elektrické akumulční spotřebiče jako např. bojler. Podmínkou uplatnění sazby je předpoklad, že v domácnosti bude nainstalovaný elektrický akumulční zásobník pro přípravu teplé vody (nebo vytápění objektu) a také to, že provoz tohoto akumulčního zásobníku bude omezen v době platnosti VT, což znamená, že akumulční zásobník může být v provozu pouze během osmi hodinového časového úseku během noci a přes den, kdy platí VT, musí být odstaven. [61]

3.6.2 Produkt na elektřině před instalací FVE

RD zatím nemá nainstalovanou FVE. Vzhledem k tomu, že se Čerčany nachází v distribučním území ČEZu (ČEZ Distribuce), bude i za dodavatele elektrické energie považován ČEZ (ČEZ Prodej). Dodavatele elektrické energie si každý může zvolit sám, ať už dominantního nebo alternativního, distributora elektrické energie nikoliv. Z nabídky ČEZu jsem vybrala produkt Elektrina na dobu neurčitou, který je, jak název napovídá, na dobu neurčitou s účinností distribučních cen od 1. 1. 2020 a účinností obchodních cen od 1. 3. 2020 (tedy nejnovější ceník). Pro RD budou tedy platit ceny pro distribuční sazbu D25d ve sloupci AKUMULACE 8. [62]

Tabulka č. 11 – ceník produktu: Elektřina na dobu neurčitou a výpočet roční platby za elektřinu za 19,86 MWh/rok (před FVE) [62]

produkt: Elektřina na dobu neurčitou (RD bez FVE)		
distribuční sazba D25d - jistič 3x40 A		
	jednotky	cena včetně DPH
obchodní část ceny	cena za dodávku elektřiny	
	VT	[Kč/MWh] 2 272,38 Kč
	NT	[Kč/MWh] 2 140,49 Kč
	stálá platba	[Kč/měsíc] 95,59 Kč
distribuční část ceny	cena za distribuci elektřiny s DPH	
	VT	[Kč/MWh] 2 236,70 Kč
	NT	[Kč/MWh] 162,82 Kč
	stálá platba za rezervovaný příkon	
ostatní poplatky	nad 3 × 32 A do 3 × 40 A včetně	[Kč/měsíc] 262,57 Kč
	daň z elektřiny	[Kč/MWh] 34,24 Kč
	systémové služby	[Kč/MWh] 93,32 Kč
	činnost OTE	[Kč/měsíc] 6,15 Kč
	POZE	
	podle jističe	[Kč/A/počet fází] 16,06 Kč
podle spotřeby	[Kč/MWh] 598,95 Kč	
celková cena	celková jednotková cena za elektřinu + daň + systémové služby	
	VT	[Kč/MWh] 4 636,64 Kč
	NT	[Kč/MWh] 2 430,87 Kč
	měsíční platby	[Kč/měsíc] 364,31 Kč
	POZE	
	podle jističe	[Kč/A/počet fází] 1 927,20 Kč
podle spotřeby	[Kč/MWh] 598,95 Kč	
celková roční platba	roční spotřeba na vytápění	[MWh/rok] 1,15
	roční spotřeba na ohřev vody	[MWh/rok] 12
	roční spotřeba elektrické spotřebiče	[MWh/rok] 6,71
	celková roční spotřeba RD	[MWh/rok] 19,86
	celková roční platba	[Kč/rok] 79 324 Kč

Celková roční platba byla počítána na základě vzorce uvedeného v ceníku [62]:

roční spotřeba v MWh ve VT (6,71) x 4 636,64 + roční spotřeba v MWh v NT (1,15 + 12) x 2 430,87 + 12 x celkové měsíční platby (364,31) + nižší výsledek z výpočtu POZE: spotřeba v MWh ve VT a NT x 598,95

Vzhledem k tomu, že je uplatněna distribuční sazba D25d, elektrokotel a zásobníkové ohřivače vody využívají pouze NT. Protože je většina elektrických spotřebičů používána ve VT, bude i pro spotřebu elektrické energie užíváním elektrických spotřebičů použit pouze VT.

Za rok se tedy za celkovou spotřebu RD 19,86 MWh zaplatí **79 324 Kč**.

Pokud by byl účet za spotřebu elektřiny celého RD veden pouze na majitele RD - investora do FVE (jako je s tím počítáno v tomto případě) je možné tuto celkovou částku následně vhodně rozpočítat na jednotlivé bytové jednotky.

3.6.3 Produkt na elektřině po instalaci FVE

Nyní už je FVE nainstalovaná. ČEZ Prodej nabízí pro instalace FVE s instalovaným výkonem do 10 kWp splňující podmínky připojení k distribuční soustavě podle vyhlášky č. 16/2016 o podmínkách připojení k elektrizační soustavě produkt ELEKTŘINA PRO SOLÁRY. Smlouva je na 3 roky. Během doby platnosti a účinnosti smlouvy ZK nesmí změnit sjednaný produkt za jiný produkt Obchodníka. Za porušení smlouvy s dobou určitou hrozí ZK vysoké sankce. Účinnost distribučních cen je od 1. 1. 2020 a účinnost obchodních cen od 1. 11. 2019. Pro RD opět platí ceny pro distribuční sazbu D25d ve sloupci AKUMULACE 8. [63]

Při výpočtu celkové roční platby se vychází z předpokladu, že vyrobená elektrická energie FV systémem, ať už s použitím monokrystalických nebo polykrystalických panelů, bude primárně pokrývat spotřebu elektrické energie používáním elektrických spotřebičů v domácnosti, následně bude pokrývat spotřebu elektrické energie pro ohřev teplé vody a nakonec spotřebu na vytápění.

Tabulka č. 12 – ceník produktu: ELEKTRINA PRO SOLÁRY a vypočtené roční platby za elektřinu pro oba typy FV panelů (po FVE) [63]

produkt: ELEKTRINA PRO SOLÁRY (RD s FVE)			
distribuční sazba D25d - jistič 3x40 A			
	jednotky	cena včetně DPH	
obchodní část ceny	cena za dodávku elektřiny		
	VT	[Kč/MWh]	1 996,50 Kč
	NT	[Kč/MWh]	1 996,50 Kč
	stálá platba	[Kč/měsíc]	84,70 Kč
distribuční část ceny	cena za distribuci elektřiny s DPH		
	VT	[Kč/MWh]	2 236,70 Kč
	NT	[Kč/MWh]	162,82 Kč
	stálá platba za rezervovaný příkon		
ostatní poplatky	nad 3 × 32 A do 3 × 40 A včetně	[Kč/měsíc]	262,57 Kč
	daň z elektřiny	[Kč/MWh]	34,24 Kč
	systémové služby	[Kč/MWh]	93,32 Kč
	činnost OTE	[Kč/měsíc]	6,15 Kč
	POZE		
	podle jističe	[Kč/A/počet fází]	16,06 Kč
	podle spotřeby	[Kč/MWh]	598,95 Kč
celková cena	celková jednotková cena za elektřinu + daň + systémové služby		
	VT	[Kč/MWh]	4 360,76 Kč
	NT	[Kč/MWh]	2 286,88 Kč
	měsíční platby	[Kč/měsíc]	353,42 Kč
	POZE		
	podle spotřeby	[Kč/MWh]	598,95 Kč
celková roční platba	monokrystalické panely		
	roční spotřeba na vytápění	[MWh/rok]	1,1
	roční spotřeba na ohřev vody	[MWh/rok]	9,14
	roční spotřeba elektrické spotřebiče	[MWh/rok]	1,16
	celková roční spotřeba RD	[MWh/rok]	11,39
	celková roční platba	[Kč/rok]	39 516 Kč
	polykrystalické panely		
	roční spotřeba na vytápění	[MWh/rok]	1,1
	roční spotřeba na ohřev vody	[MWh/rok]	9,26
	roční spotřeba elektrické spotřebiče	[MWh/rok]	1,29
celková roční spotřeba RD	[MWh/rok]	11,65	
celková roční platba	[Kč/rok]	40 527 Kč	

Celková roční platba byla opět vypočtena pomocí vzorce uvedeného v ceníku [63]:

roční spotřeba v MWh ve VT $(1,16/1,29) \times 4\,360,76$ + roční spotřeba v MWh v NT $(1,1 + 9,14/9,26) \times 2\,286,88 + 12 \times$ celkové měsíční platby (353,42) + nižší výsledek z výpočtu POZE: spotřeba v MWh ve VT a NT $\times 598,95$

V případě FVE s monokrystalickými panely by se za rok zaplatilo za elektřinu 39 516 Kč, což znamená, že by se ročně takto ušetřilo **39 808 Kč** (50,2 %) z původní částky 79 324 Kč. U FVE s polykrystalickými panely by se ročně za celkovou spotřebovanou elektrickou energii zaplatilo 40 527 Kč a tím by se ušetřilo **38 797 Kč** (48,9 %) z původní částky 79 324 Kč.

3.7 Výdaje na provoz FVE

Mezi základní provozní výdaje bychom zařadili:

- pojištění,
- opravy,
- údržbu a péči.

FV zařízení představuje techniku s nízkým rizikem, přesto je s ohledem na vysokou hodnotu FV zařízení a dlouhou životnost smysluplné zařízení pojistit proti škodám. Většina pojišťoven v ČR nabízí krytí škod FV zařízení v rámci pojištění nemovitosti, pokud je FV zařízení součástí této nemovitosti. Hodnotu nemovitosti je pak potřeba přepočítat tak, aby zahrnovala i cenu FV zařízení. Je také vhodné, aby pojišťovna o FV zařízení věděla a případně bylo při uzavření pojistné smlouvy specifikováno na jaké části FV zařízení se má které pojištění vztahovat. [28] [64]

Je dobré pojistit se proti [28]:

- přírodním živlům (zemětřesení, sesuv půdy, povodeň, bouře, mraz, krupobití),
- požáru, zásahu bleskem,
- přepětí, zkratu, zpětnému působení sítě,
- krádeži, vandalismu.

Pro určení výše pojištění budou použity informace od ČSOB pojišťovny, kterou jsem oslovila. Novostavba RD má mít hodnotu cca 10 400 000 Kč. Pro určení pojištění vycházím také z předpokladu, že bez FVE by majitel RD využíval nabídku pojištění staveb Dominant. Po instalaci FVE by si majitel RD vybral vyšší nabídku pojištění staveb Premiant, která obsahuje

všechna možná pojištění v rámci pojištění staveb (tedy i technickou poruchu) a navíc jsou částky v případě pojistného plnění až o polovinu vyšší než v případě nabídky Dominant. Dále uvažuji s tím, že se do hodnoty nemovitosti započítá pouze hodnota FV panelů (častá varianta), takže bych k hodnotě nemovitosti přičetla přibližně 140 000 Kč (průměr investic do obou typů FV panelů). Rozdíl mezi částkou za pojištění nemovitosti bez FVE a částkou za pojištění nemovitosti s FVE by činil cca 1300 Kč. Ročně by tedy majitel za pojištění zaplatil o 1300 Kč více. [65]

FVE fungují většinou mnoho let bez nákladných poruch nebo oprav. Pro tento projekt se tak předpokládá, že jsou použity kvalitní FV panely, kvalitní a správná konstrukce, kvalitní střídač, solární kabely odolné vůči UV záření apod. a o celé FV zařízení bude v rámci údržby a servisu postaráno, tak aby jeho živostnost a bezporuchovost byla co největší. Roční rezervy na opravy tak budou minimální (do těchto oprav se nebude počítat náhrada základních komponent FV systému po ukončení své životnosti). [28]

Jednoduchou údržbu FV panelů případně dalších komponent a vizuální kontrolu si může majitel provádět sám, dá se říci zadarmo. Pro bezproblémový chod FVE však bude předpokládáno, že prvních deset let bude specializovaná firma servis provádět jednou za tři roky a po deseti letech následně každé dva roky. Firma v rámci servisu nabízí [66]:

- celkovou vizuální kontrolu FVE (uchycení panelů, montážní systém, kabeláž, střídače, rozvaděče + protokol o kontrole),
- termovizní měření panelů a svorkovnic
- dotažení DC/AC spojů,
- odstranění drobných závad,
- vyhodnocení případných chybových hlášení měniče, nastavení parametrů.

Tento servis stejně jako případné opravy by firma prováděla prvních deset let jednou za tři roky a poté jednou za dva roky a majitel by za servis a opravy zaplatil přibližně 5 000 Kč.

3.8 Roční příjmy

Za roční příjem považuji částku uspořenoou pořízením FVE a tím i speciálního produktu na elektřinu pro FVE. Pořízením FVE se speciálním produktem se ročně ušetří z platby za elektřinu téměř 50 %.

Dále za roční příjem považuji částku uspořenoou dodávkou elektřiny vyrobené FV systémem do distribuční sítě. Vybraný produkt: ELEKTŘINA PRO SOLÁRY poskytuje ZK

tzv. slevu z provozu výroby elektřiny provozované bez licence ERÚ, která se určuje podle tohoto vzorce [63]:

sleva = [objem elektřiny dodané do distribuční sítě x (40 % x cena za dodávku silové elektřiny ZK)].

V minulosti byl uplatňován tzv. noční proud, což byl levnější tarif, který byl dostupný pouze v nočních hodinách. Dnes už toto neplatí a levnější tarif neboli NT se uplatňuje i přes den. Důvodem je to, že distributoři spínáním NT a VT mohou regulovat odběr v elektrické síti a NT je aktivní pokud je zatížení elektrické sítě nižší. Přesné časy spínání NT a VT se řídí pomocí technologie HDO a dají se zjistit na stránkách distributora, vyplněním kódu. Tyto informace však nejsou dostupné a tak je i pro zjednodušení předpokládáno, že dodávka přebytků elektrické energie se uskuteční pouze ve VT. Tento předpoklad je uplatněn i z toho důvodu, že zatížení v diagramu denního zatížení je v hodinách, kdy FVE vyrábí nejvíce, poměrně velké. [67]

Tabulka č. 13 – roční příjmy z instalace FVE pro oba typy FV panelů

roční příjmy	
monokrystalické panely	
uspořená částka pořízením FVE	39 808 Kč
sleva z prodeje elektřiny	1 217 Kč
příjmy celkem	41 025 Kč
polykrystalické panely	
uspořená částka pořízením FVE	38 797 Kč
sleva z prodeje elektřiny	981 Kč
příjmy celkem	39 778 Kč

3.9 Kritéria ekonomické efektivity

Pro zhodnocení jednotlivých investic budou použity kritéria ekonomické efektivity. Uvažuje se s životností investice 25 let (v případě FVE s baterií i bez baterie) a to především z toho důvodu, že po uplynutí této doby klesne účinnost FV panelů zhruba na 80 %.

Některé důležité komponenty FVE však takto dlouhou životnost nemají a proto je nutné je v průběhu životnosti investice vyměnit za nové. Životnosti jednotlivých komponent jsou stanoveny odhadem a prezentovány v tabulce č. 14.

Tabulka č. 14 – životnosti jednotlivých důležitých komponentů FVE

název položky	životnost [rok]
FV panely	25
konstrukce	25
střídač	20
baterie	15
BMS	15
solární kabely	25

Na základě tabulky č. 14 vidíme, že v průběhu dvaceti pěti let bude nutné v 15. roce investovat znovu do baterií a BMS v případě FVE s možností akumulace energie do baterie a ve 20. roce do nového střídače (platí pro FVE s baterií i bez baterie).

Pro výpočet jednotlivých kritérií je dále nezbytné určit hodnotu diskontu r neboli požadované míry výnosnosti. Diskont představuje časovou hodnotu peněz, cenu ušlé příležitosti (anglicky opportunity cost) nebo míru mého očekávání. Určení diskontu je poměrně náročné a závisí na mnoha faktorech. Lze ho určit například součtem bezrizikové úrokové sazby a rizika. Na základě údajů Ministerstva financí o úrokové sazbě státních dluhopisů za bezrizikovou úrokovou sazbu dosadím 1,5 %. Riziko zvolím 1 %. Diskont r je tedy roven 2,5 % a po celou dobu životnosti investice bude považován za konstantní. [68] [69] [70]

3.9.1 Stanovení ročního CF

Stanovení budoucích hodnot CF je pro výpočet kritérií další nezbytností. Budoucí roční hotovostní toky jsem určila jednoduchým způsobem a to rozdílem ročních příjmů a ročních výdajů v daném roce a při výpočtech jsem vycházela z kapitol 3.6 – 3.9. Roční CF_{diskontovaný} se určí pomocí tohoto vzorce [68]:

$$CF_{diskontovaný} = \frac{CF}{(1+r)^t}$$

Tabulka č. 15 – roční CF v případě FVE bez baterie s monokrystalickými panely

hybridní systém bez baterie				
monokrystalické panely				
rok (t)	roční CF	roční CF _{diskontovaný}	roční příjmy	roční výdaje
1	39 725 Kč	38 756 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
2	39 725 Kč	37 811 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
3	34 725 Kč	32 246 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
4	39 725 Kč	35 989 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
5	39 725 Kč	35 111 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
6	34 725 Kč	29 943 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
7	39 725 Kč	33 419 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
8	39 725 Kč	32 604 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
9	34 725 Kč	27 805 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
10	39 725 Kč	31 033 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
11	34 725 Kč	26 465 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
12	39 725 Kč	29 538 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
13	34 725 Kč	25 190 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
14	39 725 Kč	28 114 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
15	34 725 Kč	23 976 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
16	39 725 Kč	26 760 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
17	34 725 Kč	22 821 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
18	39 725 Kč	25 470 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
19	34 725 Kč	21 721 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
20	-43 003 Kč	-26 243 Kč	41 025 Kč	84 028 Kč
21	34 725 Kč	20 675 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
22	39 725 Kč	23 075 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
23	34 725 Kč	19 679 Kč	41 025 Kč	6 300 Kč
24	39 725 Kč	21 963 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč
25	39 725 Kč	21 427 Kč	41 025 Kč	1 300 Kč

Tabulka č. 16 – roční CF v případě FVE bez baterie s polykrystalickými panely

hybridní systém bez baterie				
polykrystalické panely				
rok (t)	roční CF	roční CF _{diskontovaný}	roční příjmy	roční výdaje
1	38 478 Kč	37 540 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
2	38 478 Kč	36 624 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
3	33 478 Kč	31 088 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
4	38 478 Kč	34 859 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
5	38 478 Kč	34 009 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
6	33 478 Kč	28 868 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
7	38 478 Kč	32 370 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
8	38 478 Kč	31 581 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
9	33 478 Kč	26 807 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
10	38 478 Kč	30 059 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
11	33 478 Kč	25 515 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
12	38 478 Kč	28 611 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
13	33 478 Kč	24 286 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
14	38 478 Kč	27 232 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
15	33 478 Kč	23 115 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
16	38 478 Kč	25 920 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
17	33 478 Kč	22 002 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
18	38 478 Kč	24 671 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
19	33 478 Kč	20 941 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
20	-44 250 Kč	-27 004 Kč	39 778 Kč	84 028 Kč
21	33 478 Kč	19 932 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
22	38 478 Kč	22 351 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
23	33 478 Kč	18 972 Kč	39 778 Kč	6 300 Kč
24	38 478 Kč	21 274 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč
25	38 478 Kč	20 755 Kč	39 778 Kč	1 300 Kč

3.9.2 Doba návratnosti investice

Doba návratnosti investice neboli doba splacení, zkráceně PP, je taková doba, kdy CF přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici. Doba návratnosti investice musí být kratší, než je životnost investice, aby byla efektivní. V případě tohoto projektu se počítá s tím, že CF není konstantní (je v každém roce jiné) a doba návratnosti investice se tak zjistí postupným načítáním ročních částek CF_{diskontovaný}, až se kumulovaný CF_{diskontovaný} bude rovnat investičním nákladům. [68]

Tabulka č. 17 – doba návratnosti jednotlivých variant

varianty			PP [rok]
FVE bez baterie	s dotací NZÚ	MONO panely	9
		POLY panely	6
	bez dotace	MONO panely	10
		POLY panely	8
FVE s baterií	s dotací NZÚ	MONO panely	12
		POLY panely	9
	bez dotace	MONO panely	24
		POLY panely	19

Z tabulky č. 17 je zřejmé, že z pohledu doby návratnosti investice bychom za nejlepší variantu zvolili FVE bez baterie s dotací NZÚ s polykrystalickými panely. Za nejhorší pak FVE s baterií bez dotace NZÚ s monokrystalickými panely, u které je doba návratnosti téměř shodná s životností projektu.

Pro úspěch tohoto kritéria je však nutné splnit dvě podmínky a to, že investice musí být srovnatelné do velikosti a technologie a efekty, co investice přináší, musí být po dobu životnosti rovnoměrné. První podmínka však pro uvedené investice zcela neplatí. [71]

3.9.3 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota neboli NPV (Net Present Value) je součtem diskontovaných hotovostních toků a vypočte se následovně [68]:

$$NPV = \text{investice} + \sum_{t=1}^T \frac{CF}{(1+r)^t}$$

Tabulka č. 18 – hodnoty NPV pro jednotlivé varianty

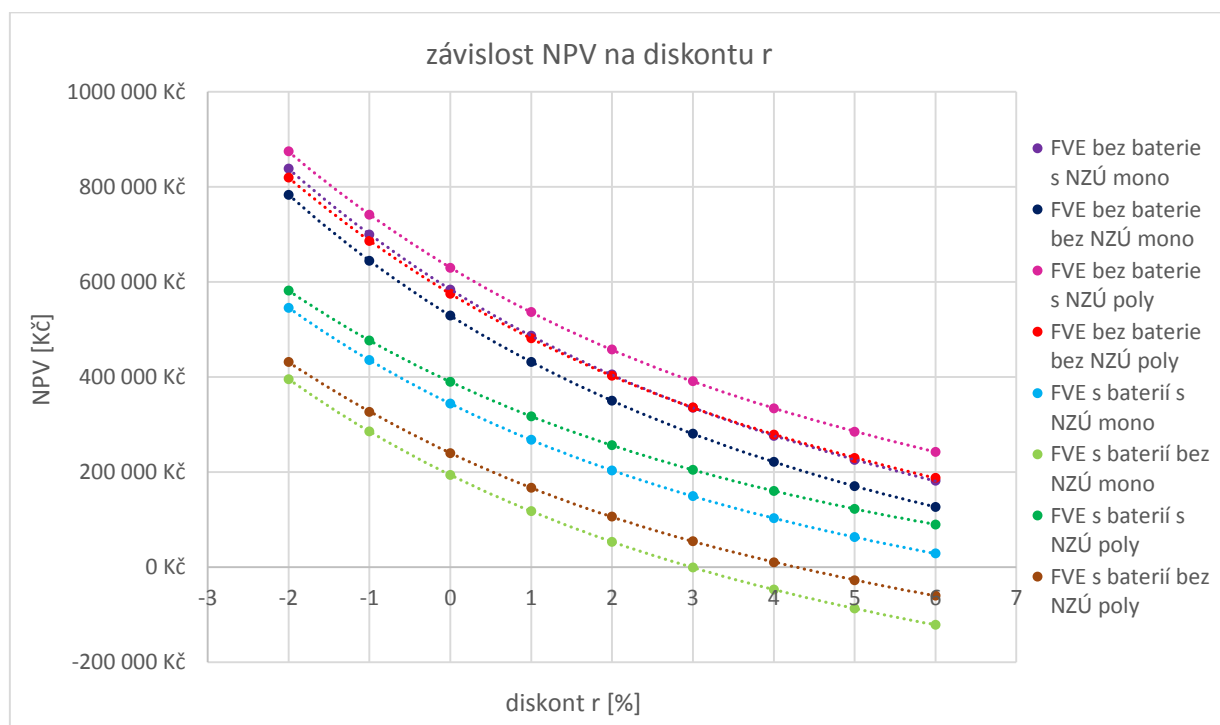
varianty			NPV
FVE bez baterie	s dotací NZÚ	MONO panely	369 065 Kč
		POLY panely	423 147 Kč
	bez dotace	MONO panely	314 065 Kč
		POLY panely	368 147 Kč
FVE s baterií	s dotací NZÚ	MONO panely	175 389 Kč
		POLY panely	229 472 Kč
	bez dotace	MONO panely	25 389 Kč
		POLY panely	79 472 Kč

Podle NPV by opět vyšla nejlépe investice do FVE bez baterie s dotací NZÚ s polykrystalickými panely, neboť tato hodnota NPV je nejvyšší ze všech. Nejhůře zase vyšla investice do FVE s baterií bez dotace NZÚ s monokrystalickými panely.

3.9.4 Citlivostní analýza

Cílem citlivostní analýzy je určit vliv změny vstupní proměnné na výsledek, jinak řečeno určit citlivost výsledků na jednotlivé změny.

Pro tento projekt jsem vybrala citlivostní analýzu závislosti NPV na diskontu r . Hodnotu diskontu jsem měnila od -2 % (po jednom procentu) až do 6 % a sledovala jsem, jak se hodnoty NPV pro jednotlivé varianty mění.



Graf č. 4 – graf závislosti NPV na diskontu

Výsledky citlivostní analýzy jsou prezentovány v grafu č. 4. Vidíme, že pokud se pohybujeme nalevo od hodnoty diskontu $r = 0$ %, hodnoty NPV pro všechny varianty rostou (je to způsobeno záporným diskontem). Naopak, pokud se pohybujeme napravo od nulové hodnoty diskontu, vidíme, že s rostoucím diskontem se NPV pro všechny varianty snižuje. Takovýto průběh odpovídá obecné závislosti NPV na diskontu.

3.9.5 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento neboli IRR (Internal Rate of Return) je taková úroková míra, při které je NPV nulová. Pro IRR platí vztah [68]:

$$NPV = \text{investice} + \sum_{t=1}^T \frac{CF}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Vzhledem k tomu, že je životnost investice 25 let, je poměrně těžké zjistit IRR klasickým výpočtem z uvedeného vzorce. IRR tedy bude stanoveno pouze přibližně na základě dat získaných z citlivostní analýzy, která byla ještě doplněna o hodnoty NPV pro jednotlivé varianty při diskontu $r = 8\%$.

Pro přibližné určení IRR jsem použila základní vzorec pro lineární rovnici:

$$y = ax + b = 0$$

Za proměnnou x jsem dosazovala diskont r a za y hodnotu NPV pro danou variantu a diskont. Získala jsem tak souřadnice dvou bodů nejbližše ose x (pro každou variantu 2 body), které jsem poté proložila přímkou a získala její rovnici. Hodnotu IRR jsem poté určila pomocí tohoto vzorce:

$$x = IRR = \frac{b}{a}$$

Tabulka č. 19 – hodnoty IRR pro jednotlivé varianty

varianty			IRR [%]
FVE bez baterie	s dotací NZÚ	MONO panely	11,1
		POLY panely	13,1
	bez dotace	MONO panely	9,6
		POLY panely	11,5
FVE s baterií	s dotací NZÚ	MONO panely	7,0
		POLY panely	9,4
	bez dotace	MONO panely	3,0
		POLY panely	4,3

Pro realizaci investice musí platit, že je IRR větší než diskont r . Na základě této podmínky by tedy investor mohl realizovat všechny varianty. Nejvyšší hodnotu IRR má však investice do FVE bez baterie s polykrystalickými panely s využitím dotace NZÚ. [68]

Z grafu č. 4 v předchozí podkapitole je však zřejmé, že závislost NPV na diskontu není lineární, což znamená, že vypočtené hodnoty jsou pouze orientační a je jasné, že se křivky pro varianty FVE bez baterie (s dotací i bez ní) pro jednotlivé typy FV panelů a FVE s baterií s dotací NZÚ s polykystalickými panely budou k ose x (diskontu) po určitou dobu pouze přibližovat a hodnoty IRR tak budou vyšší. Pro varianty FVE s baterií s/bez dotace NZÚ s monokrystalickými panely a FVE s baterií bez dotace NZÚ s polykystalickými panely protíná přímka osu x a dostává se do záporné části osy y (NPV). Tyto hodnoty IRR tak budou trochu přesnější.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce je rozdělena do tří tematických částí. První část je teoretická a zabývá se seznámením s OZE a s jejich situací ve světě a v ČR. Druhá část je praktická, kde je proveden návrh FVE. Ve třetí části, která je ekonomicky zaměřená, je návrh FVE zhodnocen z ekonomického hlediska.

V první části je krátce popsán stav světového klimatu a jeho vyhlídky do dalších let. Na toto téma navazuje část věnující se definici a popisu OZE a poté konkrétněji solární energii. Následně se tato teoretická část zabývá situací ve světě. Jak roste výroba a spotřeba elektrické energie ve světě a jaké zastoupení mají zdroje podílející se na světové hrubé produkci elektrické energie. Jsou také probrány technologicky zajímavé fotovoltaické aplikace jako je plovoucí solární elektrárna nebo perovskitové solární panely. Poté je popsán stav OZE v ČR. Nejprve z té technické stránky tzn. výroba elektrické energie v ČR a podíl OZE na této výrobě. Následně ohledně podpor OZE v ČR, kde jsou popsány základní formy podpor. Posledním tématem v této části je energetická náročnost novostaveb, kde jsou uvedeny novinky, které čekají novostavby od 1. 1. 2020 (tedy aktuální téma) a je stručně představen důležitý dokument, který musí každá stavba mít.

Ve druhé, praktické části, se ještě na začátku práce věnuje teoretickému popisu základního principu funkce FV článku, vlastností FV článku, náhradního schématu FV článku, voltampérové charakteristiky FV článku a různých typů FV článků. Teoretická část je pak zakončena různými způsoby zapojení FV systémů. Dále jsou popsány základní informace o RD v Čerčanech. Následně je uvedeno, jakým způsobem se bude řešit vytápění, ohřev teplé vody RD a jaké elektrické spotřebiče se do RD plánují instalovat. Na základě předchozích poznatků je v další kapitole práce řešen zjednodušený návrh FVE bez baterie pro dva typy FV panelů. Na střechu lichoběžníkového tvaru o ploše přibližně 93 m² a se sklonem 22° je v plánu nainstalovat celkem 30 FV panelů, jak monokrystalických tak polykrystalických o celkovém výkonu FVE 9,9 kWp. Ročně by tak FVE s polykrystalickými panely vyrobila 9,43 MWh elektrické energie a FVE s monokrystalickými panely 9,99 MWh. RD bude mít klasickou šikmou střechu s pálenými taškami, na níž budou FV panely pomocí konstrukce upevněny. Pro FVE je další důležitou součástí střídač, který bude hybridní třífázový, beztransformátorový, zapojený centrálně. FV panely se sériově zapojí po patnácti. Následně se spojí paralelně a připojí ke střídači. Práce se poté krátce věnuje popisu AC a DC strany a jejím ochranám. První a druhý stupeň přepěťové ochrany AC strany bude umístěn před elektroměrovým rozvaděčem

v domovní přípojkové skříni. Jako přepěťová ochrana DC strany v připojovací skříni pro FV panely bude sloužit kombinovaný svodič přepětí značky CITEL. Vedení DC strany bude provedeno solárním kabelem H1Z2Z2-K. Následuje návrh FVE s možností akumulace energie pro dva typy FV panelů, který vychází z návrhu FVE bez baterie. Pro FVE s baterií bude použito pět LiFePO4 baterií Pylontech H48050 o celkové kapacitě 12 kWh, které budou umístěny v systému pro akumulaci energie Powercube-X1. Baterie Pylontech H48050 jsou kompatibilní s BMS Pylontech SC0500A-100S, který je pro provoz FVE s akumulací energie nezbytný. Poslední kapitola této části se zabývá podmínkami připojení FVE k distribuční soustavě.

Poslední částí je část ekonomická. Nejprve je pozornost soustředěna na investice. Pro projekt je v plánu využít dotaci Nová zelená úsporám. Výše této dotace je v případě FVE bez baterie 55 000 Kč a v případě FVE s baterií 150 000 Kč. Pokud by však dotace NZÚ započítána nebyla, byla by hodnota investice do FVE s monokrystalickými panely bez baterie 331 285 Kč, hodnota investice do FVE s polykrystalickými panely bez baterie 254 227 Kč, hodnota investice do FVE s monokrystalickými panely s baterií 516 773 Kč a hodnota investice do FVE s polykrystalickými panely s baterií 436 715 Kč. Pokud se dotace NZÚ započítá, pak má investice do FVE s monokrystalickými panely bez baterie hodnotu 276 285 Kč, investice do FVE s polykrystalickými panely bez baterie hodnotu 199 227 Kč, investice do FVE s monokrystalickými panely s baterií hodnotu 366 773 Kč a investice do FVE s polykrystalickými panely hodnotu 289 715 Kč. Následně se práce věnuje stanovení roční spotřeby elektrické energie RD. Celkem RD za rok spotřebuje 19,9 MWh elektrické energie. 1,15 MWh/rok na vytápění, 12 MWh/rok na ohřev teplé vody a 6,7 MWh/rok používáním spotřebičů. FV systém pokryje měsíční spotřebu RD pouze v květnu, červnu, červenci a srpnu. V dalších měsících k pokrytí spotřeby RD přispívá ale většinu elektrické energie je potřeba odebírat se sítě. V případě FVE s monokrystalickými panely je to 11,39 MWh/rok a pro FVE s polykrystalickými panely je množství odebrané energie 11,65 MWh/rok. Bez FVE by se ročně za spotřebu RD 19,9 MWh zaplatilo 79 324 Kč. S FVE by se však u FVE s monokrystalickými panely ušetřilo ročně 39 808 Kč a u FVE s polykrystalickými panely 38 797 Kč. Instalací FVE a využitím speciálního ceníku je možné ještě získat slevu za elektrickou energii dodanou do distribuční sítě. Celkové roční příjmy by tak v případě FVE s monokrystalickými panely činily 41 025 Kč a v případě FVE s polykrystalickými panely 39 778 Kč. Provoz FVE něco stojí. Ročně je potřeba platit pojištění 1300 Kč (částka, kterou by v případě pojištění FVE majitel zaplatil navíc) a jednou za tři roky 5000 Kč za servis a drobné úpravy. Po deseti letech by pak

servis a případné opravy vykonávala firma jednou za dva roky. Po stanovení všech potřebných hodnot se práce dále zabývá kritérii ekonomické efektivity. Podle kritéria doby splacení, NPV i IRR je nejlepší variantou investice do FVE s polykrystalickými panely s využitím dotace NZÚ. Doba splacení této investice je 6 let, NPV je rovna 423 147 Kč a IRR je přibližně 13,1 %. Nejhorší variantou je pak podle kritérií investice do FVE s monokrystalickými panely bez využití dotace NZÚ. Doba splacení je 24 let, NPV je 25 389 Kč a IRR je rovno 3 %. Druhé nejhorší výsledky měla investice do FVE s baterií bez dotace NZÚ s polykrystalickými panely, z čehož lze usoudit, že v případě FVE s baterií se opravdu dotace NZÚ vyplatí.

Seznam použité literatury

- [1] JANDOUREK, Jan. *Nové vědecké studie tvrdí, že vliv člověka na klimatické změny je prokazatelný* [online]. 2019. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://www.forum24.cz/za-zmeny-klimatu-mohou-lide-rikaji-nove-a-presvedcive-studie/>
- [2] HANSEN, James a SATO, Makiko. *Paleoclimate Implications for Human-Made Climate Change* [online]. Cornell University. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://arxiv.org/vc/arxiv/papers/1105/1105.0968v2.pdf>
- [3] *Koncentrace skleníkových plynů v atmosféře* [online]. Libor Kukliš, 2019. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://magazin.gnosis.cz/koncentrace-sklenikovych-plynu/>
- [4] LINDSEY, Rebecca. *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide* [online]. 2019. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [5] PRETEL, Jan. *Současný vývoj klimatu a jeho výhled* [online]. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR ve spolupráci se Správou jeskyní ČR a Správou NP Šumava, Krkonošského národního parku, NP Podyjí a NP České Švýcarsko, 2009. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.casopis.ochranaprirody.cz/zvlastni-cislo/soucasny-vyvoj-klimatu-a-jeho-vyhled/>
- [6] LINDSEY, Rebecca. *Climate Change: Global Temperature* [online]. 2019. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- [7] ČTK. *Pokud se teplota Země zvýší o dva stupně, dopady budou katastrofální. Omezit oteplování půjde už jen pomocí bezprecedentních změn, varuje OSN* [online]. 2019. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <https://zahranicni.ihned.cz/c1-66279630-pokud-se-teplota-zeme-zvysi-o-dva-stupne-dopady-budou-katastrofalni-omezit-oteplovani-pujde-uz-jen-pomoci-bezprecedentnich-zmen-varuje-osn>
- [8] *Mezinárodní dohody o opatřeních v oblasti klimatu* [online]. European Council, 2018. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/international-agreements-climate-action/>
- [9] *Pařížská dohoda* [online]. Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda

- [10] PROCHÁZKA, Radek. *Základní pojmy a definice* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 30. září 2019.
- [11] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [12] *Formy sluneční energie* [online]. [cit. 2010-11-09]. Dostupné z: <http://pozorovanislunce.eu/slunce/energie-ze-slunce/formy-slunecni-energie.html>
- [13] *Electricity Statistics* [online]. International Energy Agency, 2019. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <https://www.iea.org/statistics/electricity/>
- [14] *Největší fotovoltaická elektrárna na Novém Zélandu vyroste na vodě* [online]. 2019. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2019091006/nejvetsi-fotovoltaicka-elektrarna-na-novem-zelandu-vyroste-na-vode>
- [15] *Energetická revoluce: Průhledné fotovoltaické panely změni okna a fasády budov v chytré zelené elektrárny* [online]. 2019. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?top-produkty/panely/2019072201/energeticka-revoluce-pruhledne-fotovoltaicke-panely-zmeni-okna-a-fasady-budov-v-chytre-zelene-elektrarny>
- [16] VOŘÍŠEK, Lukáš. *Průhledné solární panely změni všechna okna v domě na zdroj energie* [online]. 2019. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <https://insmart.cz/pruhledne-solarni-panely-perovskit/>
- [17] ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018* [online]. Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2019. [cit. 2019-10-17]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf
- [18] *Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012. [cit. 2019-10-18]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/2012/11/NAP.pdf>
- [19] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/oppik/obnovitelne-zdroje-energie/>
- [20] *Nová zelená úsporám – Oblasti podpory* [online]. Ministerstvo životního prostředí. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://archiv.novazelenausporam.cz/oblasti-podpory-3-vyzva/index.htm>
- [21] *Program rozvoje venkova 2014-2020* [online]. Státní zemědělský intervenční fond. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.szif.cz/cs/prv2014>

- [22] *Často kladené otázky* [online]. ERÚ. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze/casto-kladene-dotazy#6>
- [23] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018* [online]. European Commission, 2018. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=CS>
- [24] KEBELE, Karel. *Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3)* [online]. 2018. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>
- [25] *Jaké rodinné domy se budou stavět od roku 2020* [online]. Ateliér NÁŠ DŮM s.r.o.. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <https://www.nasdum.cz/novinky/jake-rodinne-domy-se-budou-stavet-od-roku-2020>
- [26] *PENB, Průkaz energetické náročnosti budovy* [online]. 2018. [cit. 2019-11-06]. Dostupné z: <http://www.chciprukaz.cz/penb/>
- [27] *Fyzikální podstata* [online]. 2017. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/723-fyzikalni-podstata#>
- [28] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2010. [cit. 2019-12-25]. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [29] BENDA, Vítězslav. *Fotovoltaické systémy, Učební texty k semináři* [online]. 2011. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>
- [30] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. Czech nature energy, a.s.. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [31] JÁRKOVÁ, Petra. *Projektová dokumentace RD Čerčany*. 2019. [cit. 2019-11-28]
- [32] NOVÁK, Zdeněk. *Protokol PENB*. 2019. [cit. 2020-03-21]
- [33] *Domů/Solární panely/Solární panel Canadian solar 330Wp POLY* [online]. ifTECH s.r.o.. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-panely/1047-solarni-panel-canadian-solar-330wp-poly.html>
- [34] *Domů/Solární panely/Solární panel LG 330Wp MONO* [online]. ifTECH s.r.o.. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-panely/827-solarni-panel-lg-330wp-mono.html>
- [35] MATUŠKA, Tomáš. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací*. Časopis Vytápění, větrání, instalace [online]. Topinfo s.r.o., 2016. [cit.

- 2020-03-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednodusen-y-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [36] *PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System* [online]. European Commission. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [37] HRON, Aleš. *Střešní fotovoltaiické instalace* [online]. Topinfo s.r.o., 2010. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6717-stresni-fotovoltaiicke-instalace>
- [38] JORDÁN, Milan a CHLACHULA, Filip. *Instalace fotovoltaiických panelů na šikmou střechu* [online]. JAGA GROUP, s.r.o., 2009. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/instalace-fotovoltaiickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [39] *Podnebí Beroun* [online]. meteoblue. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/historyclimate/climatemodel/led/beroun_%c4%8cesko_3079467
- [40] *Konstrukce pro FVE* [online]. ifTECH s.r.o.. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/21-konstrukce-pro-fve>
- [41] *Fotovoltaiický střídač – účinnost není vše* [online]. Topinfo s.r.o., 2009. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaiicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [42] PROCHÁZKA, Radek. *Obnovitelné zdroje* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 11. listopadu 2019.
- [43] *Solární měniče* [online]. ifTECH s.r.o.. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/3-solarni-menice>
- [44] *Hybridní 3f měnič GoodWe GW10K-ET, 10 kW, tří-fázový* [online]. FVE-MP s.r.o.. [2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.fve-mp.cz/eshop/p/hybridni-3f-menic-goodwe-gw10k-et-0-168>
- [45] *Moderní řešení bezpečnosti provozu pro fotovoltaiické elektrárny (FVE)* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.citel.cz/download/Brozura_o_fotovoltaiice_2014_CZ.pdf
- [46] *Přepěťová ochrana* [online]. 2019. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ep%C4%9B%C5%A5ov%C3%A1_ochrana

- [47] *Kombinovaný svodič přepětí CITEL DS60VGPV-1000G/51* [online]. [cit. 2020-03-16].
Dostupné z: <https://www.svodice-prepeti.cz/Kombinovany-svodice-prepeti-CITEL-DS60VGPV-1000G-51-d52.htm>
- [48] *Solární kabel, průřez 4 mm², černý* [online]. SVP Solar s.r.o.. [cit. 2020-03-16].
Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/solarni-kabel/#7026>
- [49] *Solární baterie* [online]. ECO PRODUCT s.r.o.. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely/solarni.baterie>
- [50] *Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1. část)* [online]. 2011. [cit. 2020-03-17].
Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- [51] *Fotovoltaika s akumulací do baterií* [online]. Terms a.s.. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<http://www.termsenergy.cz/fve-c36>
- [52] *Pylontech H48050* [online]. FVE-MP s.r.o.. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<https://www.fve-mp.cz/eshop/p/pylontech-akumulator-h48050-0-84>
- [53] *High voltage energy storage system* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
https://www.fve-mp.cz/data/blob/product-application_pdf-20190206122150-6348-pylontech-powercube-en-datasheet.pdf
- [54] *BMS* [online]. Gottwald – fotovoltaika. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<https://www.fotovoltaika-gottwald.cz/bms>
- [55] *FRODE, Jiří.. Aktivní balancer baterií* [online]. 2019. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<https://vyvoj.hw.cz/aktivni-balancer-baterii.html>
- [56] *Pylontech SC0500A-100S* [online]. FVE-MP s.r.o.. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:
<https://www.fve-mp.cz/eshop/p/pylontech-bms-sc0500a-100s-0-85>
- [57] *16/2016 Sb., Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě* [online]. 2016. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/vyhlascky-platne/vyhlaska-16_2016-ucinnost-od-01_02_2016.pdf
- [58] NEČAS, Filip. *Připojení fotovoltaické elektrárny do 10 kW do sítě* [online]. 2016. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.fbadvokati.cz/cs/clanky/405-pripojenni-fotovoltaicke-elektrarny-do-10-kw-do-site>
- [59] *Podmínky oblasti podpory C* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://archiv.novazelenausporam.cz/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/index.htm>
- [60] *O programu* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/>

- [61] *Distribuční sazba – jak správně vybrat z 11 sazeb?* [online]. 2019. [cit. 2020-03-25]
Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/distribucni-sazba-vyber/>
- [62] *Ceník: ELEKTRINA – smlouva na dobu neurčitou – domácnosti* [online]. ČEZ Prodej, a.s.. [cit. 2020-03-25] Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web-cenik_elektrina_dobu_neurcitou_moo_202001_cezdi.pdf
- [63] *Ceník: ELEKTRINA PRO SOLÁRY – smlouva na 3 roky – domácnosti* [online]. ČEZ Prodej, a.s.. [cit. 2020-03-26] Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2020/moo/web_new-cenik_elektrina_pro-solary_na-tri-roky_moo_122019_cezdi.pdf
- [64] BUBÁK, Zdeněk. *Nezapomeňte zahrnout do pojištění nemovitosti i solární panely a další ekologické prvky* [online]. 2018. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.finparada.cz/5203-Nezapomente-do-pojisteni-nemovitosti-zahrnout-i-solarni-panely.aspx>
- [65] ŠEPEK, JAN. *ČSOB Pojišťovna - pojištění staveb*. 2020. [cit. 2020-04-10].
- [66] *Ceník služeb a oprav pro rok 2019* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://solar-solution.cz/cenik-sluzeb-a-oprav-fve-pro-rok-2018/>
- [67] *Noční proud je minulostí, s nízkým tarifem však můžete ušetřit i dnes* [online]. Topinfo s.r.o., 2018. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/17219-nocni-proud-je-minulosti-s-nizkym-tarifem-vsak-muzete-setrit-i-dnes>
- [68] STARÝ, Oldřich. *Kritéria ekonomické efektivity* [online]. [cit. 2020-04-07].
Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/225801/mod_resource/content/1/Krit%C3%A9ria%20ekonomick%C3%A9%20efektivnosti.pdf
- [69] ZIKMUND, Martin. *Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně* [online]. 5. 8. 2010 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>
- [70] *Emise 1. 4. 2020* [online]. Ministerstvo financí, 23. 12. 2019. Dostupné z: <https://www.sporicidluhopisy.cz/cs/o-dluhopisech/urokove-sazby/dluhopis-republiky/emise-1-4-2020-1185>
- [71] STARÝ, Oldřich. *Rozhodovací metody pro výběr investic* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 17. října 2019

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 – graf popisující teplotní změny v průběhu 0,5 milionu let [2]	4
Obrázek č. 2 – graf popisující nárůst CO ₂ v průběhu let 1975 – 2020 [4]	5
Obrázek č. 3 – graf ukazující teplotní anomálie (v porovnání s lety 1901-2000) v průběhu let [6]	5
Obrázek č. 4 – graf vývoje světové hrubé produkce elektřiny mezi lety 1974 – 2016 [13]	8
Obrázek č. 5 – graf procentuálního zastoupení zdrojů podílejících se na světové hrubé produkci energie v zemích OECD [13]	8
Obrázek č. 6 – graf vývoje výroby elektřiny brutto v průběhu let 2009 – 2018 v ČR [17]	10
Obrázek č. 7 – grafy ukazující podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v roce 2018 v ČR [17]	10
Obrázek č. 8 – vzor průkazu energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb. - první strana [26]	13
Obrázek č. 9 – vzor průkazu energetické náročnosti budovy dle vyhl. č. 78/2013 Sb. - druhá strana [26]	14
Obrázek č. 10 – náhradní schéma FV článku [11]	16
Obrázek č. 11 – zatěžovací a výkonová charakteristika FV článku [11]	17
Obrázek č. 12 – blokové schéma systému Grid-off [11]	19
Obrázek č. 13 – zapojení hybridního FV systému [11]	20
Obrázek č. 14 – severovýchodní pohled na rodinný dům [31]	21
Obrázek č. 15 – geometrické rozložení a umístění FV panelů na střeše rodinného domu [31]	23
Obrázek č. 16 – měsíční dávka slunečního záření H [kWh/m ²] ve zvolené oblasti Čerčany v průběhu roku 2016 [36]	24
Obrázek č. 17 – hliníkový profil (vlevo), kombinovaný střešní hák (vpravo) [40]	27
Obrázek č. 18 – centrální zapojení střídače [11]	29

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 – tabulka prezentující výsledky výpočtu měsíční E_m [kWh/měsíc] a roční E [kWh/rok] produkce el. energie pro dva typy FV panelů	25
Tabulka č. 2 – dotace NZÚ, tabulka popisující podoblasti podpory, typy systémů a výši podpory [59].....	35
Tabulka č. 3 – jednotlivé položky FVE bez baterie (monokrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48]	36
Tabulka č. 4 – jednotlivé položky FVE bez baterie (polykrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48]	37
Tabulka č. 5 – jednotlivé položky FVE s baterií (monokrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48] [52] [53] [56].....	38
Tabulka č. 6 – jednotlivé položky FVE s baterií (polykrystalické panely) včetně cen a počtu kusů a vypočtená výsledná hodnota investice s dotací i bez ní [33] [34] [40] [44] [47] [48] [52] [53] [56].....	39
Tabulka č. 7 – spotřebiče elektrické energie s příkonem [W] pro bytovou jednotku 4 + 1 [31]	40
Tabulka č. 8 – spotřeba elektrické energie všech bytových jednotek v jednotlivých měsících a podle využití [31]	41
Tabulka č. 9 – množství elektrické energie odebrané z distribuční sítě pro oba typy FV panelů	43
Tabulka č. 10 – množství elektrické energie dodané do distribuční sítě pro oba typy panelů. 44	
Tabulka č. 11 – ceník produktu: Elektřina na dobu neurčitou a výpočet roční platby za elektřinu za 19,86 MWh/rok (před FVE) [62]	45
Tabulka č. 12 – ceník produktu: ELEKTRINA PRO SOLÁRY a vypočtené roční platby za elektřinu pro oba typy FV panelů (po FVE) [63].....	47
Tabulka č. 13 – roční příjmy z instalace FVE pro oba typy FV panelů.....	50
Tabulka č. 14 – životnosti jednotlivých důležitých komponentů FVE	51
Tabulka č. 15 – roční CF v případě FVE bez baterie s monokrystalickými panely.....	52
Tabulka č. 16 – roční CF v případě FVE bez baterie s polykrystalickými panely.....	53
Tabulka č. 17 – doba návratnosti jednotlivých variant	54
Tabulka č. 18 – hodnoty NPV pro jednotlivé varianty	54
Tabulka č. 19 – hodnoty IRR pro jednotlivé varianty.....	56

Seznam grafů

Graf č. 1 – graf měsíční produkce elektrické energie E_m [kWh/měsíc] pro dva typy FV panelů	25
Graf č. 2 – graf předpokládané spotřeby elektrické energie RD za jednotlivé měsíce a podle způsobu využití elektřiny	42
Graf č. 3 – graf prezentující pokrytí spotřeby elektrické energie RD navrženým FV systémem v jednotlivých měsících.....	42
Graf č. 4 – graf závislosti NPV na diskontu.....	55