

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra výkonové elektroniky a strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ekonomické hodnocení integrace bateriového úložiště u domácích
fotovoltaických instalací

Autor práce: **Vojtěch Mészáros**
Vedoucí práce: **Ing. et. Ing. Martin Vinš**

2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vojtěch MÉSZÁROS**
Osobní číslo: **E19B0021P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Téma práce: **Ekonomické hodnocení integrace bateriového úložiště u domácích fotovoltaických instalací**
Zadávající katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

1. Popište bateriové technologie používané v úložištích u domácích fotovoltaických instalací.
2. Formulujte klíčové aspekty ekonomického hodnocení integrace jednotlivých bateriových technologií.
3. Na vhodné případové studii zpracujte vlastní ekonomické hodnocení a rozhodněte o ekonomické výhodnosti použití baterií.


Rozsah bakalářské práce: **30-40**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**



Seznam doporučené literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. et Ing. Martin Vinš**
Research and Innovation Centre for Electrical
Engineering

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

Abstrakt

Tato práce se zabývá ekonomickým hodnocením integrace bateriových systémů do domácích fotovoltaických instalací. Nejprve je vysvětlen princip funkce fotovoltaiky, přičemž jsou představeny i druhy fotovoltaických panelů a jejich konstrukce. Následně je vysvětlen princip bateriových článků a poté je provedeno porovnání různých typů baterií s potenciálem využití v domácích fotovoltaických instalacích za účelem výběru optimální technologie do případové studie. Dále jsou vysvětleny základní pojmy potřebné pro výpočet peněžních toků plynoucích z investice do fotovoltaického systému v podobě úspory peněz za energii jako je odhad solární energie dopadající na osluněnou plochu, produkce elektrické energie fotovoltaickými panely a odhad spotřeby elektrické energie v domácnosti. Nakonec jsou na definované případové studii provedena hodnocení instalace bez integrované baterie a s integrovanou baterií, přičemž výsledky jsou srovnávány a vyhodnoceny vhodnou metodou ekonomické analýzy.

Klíčová slova

Baterie, bateriový článek, ekonomická analýza, fotovoltaika, fotovoltaická elektrárna, integrace, intenzita slunečního záření, rezidenční.

Abstract

This work deals with the economic evaluation of the integration of battery systems into domestic photovoltaic installations. First, the principle of photovoltaic function is explained, while the types of photovoltaic panels and their construction are introduced. Subsequently, the principle of battery cells is explained and then a comparison of different types of batteries with the potential for use in domestic photovoltaic installations is made in order to select the optimal technology for the case study. Furthermore, the basic concepts needed to calculate the cash flows from investing in a photovoltaic system in the form of energy savings such as the estimate of solar energy falling on the sunlit area, the production of electricity by photovoltaic panels and the estimation of household electricity consumption are explained. Finally, evaluations of the installation without integrated battery and with integrated battery are performed on a defined case study, while the results are compared and evaluated by a suitable method of economic analysis.

Key Words

Battery, battery cell, economic analysis, photovoltaic, photovoltaic power plant, integration, solar radiation intensity, residential.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. et. Ing. Martinu Vinšovi, za jeho cenné rady a velkou trpělivost.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
Úvod	13
1 Sluneční záření	14
1.1 Intenzita slunečního záření	15
2 Fyzika pevných látek (polovodičů)	16
2.1 Pásová struktura pevných látek	16
2.2 Polovodič typu N	17
2.3 Polovodič typu P	17
2.4 P-N přechod	18
3 Fotoelektrický jev	20
4 Fotovoltaický článek	21
4.1 Monokrystalické články	22
4.2 Polykrystalické články	22
4.3 Tenkovrstvé články	23
4.4 Fotovoltaický Panel	24
4.5 Orientace a sklon fotovoltaických panelů	25
4.6 Fotovoltaické elektrárny	26
5 Baterie (akumulátor)	28
5.1 Základy akumulátoru	28
5.2 Olověné baterie (Pb)	29
5.3 Lithiové baterie	30
5.3.1 Lithium-polymerové baterie (Li-Pol)	31
5.3.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO ₄)	31
5.3.3 Lithium-nikl-mangan-kobalt oxid (NMC)	32
5.4 Grafenové baterie	32

5.5	Výsledné srovnání jednotlivých technologií	32
6	Topologie zapojení fotovoltaických elektráren	34
7	Ekonomická analýza.....	38
7.1	Diskontní úroková míra a její význam pro hodnocení projektů	38
7.2	Metody ekonomické analýzy	38
7.2.1	Statické metody.....	38
7.2.2	Dynamické metody	38
8	Případové studie a jejich hodnocení.....	41
8.1	Popis objektu	41
8.2	Specifikace komponentů případových studií	41
8.2.1	Fotovoltaické panely	42
8.2.2	Střídač.....	42
8.2.3	Baterie.....	43
8.2.4	Shrnutí parametrů vybraných komponentů ovlivňujících výsledný výpočet ekonomické analýzy.....	43
8.3	Množství energie slunečního záření dopadající na FV panely.....	43
8.4	Výroba FV panelů	46
8.5	Spotřeba energie domácnosti	47
8.6	Cena elektrické energie.....	51
8.7	Dotace Nová zelená úsporám.....	53
8.8	Investiční kapitál varianty 1	53
8.9	Investiční kapitál varianty 2	54
8.10	Chronologický postup výpočtu ekonomické analýzy obou variant případové studie	55
8.11	Návrh výpočtu peněžních toků.....	56
9	Výsledky	57
9.1	Výsledný odhad množství solární energie dopadajícího na panely.....	57

9.2	Výsledný odhad produkce elektrické energie	58
9.3	Výsledky ekonomické analýzy varianty 1	59
9.4	Výsledky ekonomické analýzy varianty 2	60
9.5	Výsledné srovnání obou variant	61
	Závěr	63
	Seznam obrázků	65
	Seznam tabulek	67
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	68
	Přílohy	I

Seznam symbolů a zkratek

AC	alternating current, střídavý proud	
AM	air mass,	
a-Si	amorfní křemík	
CdTe	kadmium-telurid	
CIGS	měď-indium-galium-diselenid	
DC	direct current, stejnosměrný proud	
DoD	depth of discharge, hloubka vybití	
EU	Evropská unie	
EVA	ethylene-vinyl acetate	
FV	fotovoltaický, -á, -é	
FVE	fotovoltaické elektrárna	
FVS	fotovoltaický systém	
LiCoO ₂	oxid lithný-kobaltnatý	
LiFePO ₄	fosforečnan lithno-železitý	
LiNiMcCoO ₂	lithium-nikl-mangan-kobalt oxid	
LiPF ₆	lithium hexafluorofosát	
Li-pol	Lithium-polymer	
NZÚ	nová zelená úsporám	
Si	křemík	
<i>a</i>	azimut Slunce	(°)
<i>a_s</i>	azimut osluněné plochy	(°)
CF _t	peněžní tok	(Kč)
E _{FV}	elektrická energie fotovoltaických panelů	(kWh)

G_{ref}	referenční sluneční ozáření	(kWh/m ²)
H	nadmořská výška	(m)
h	výška slunce nad obzorem	(m)
I	intenzita celkového záření	(W/m ²)
I_0	solární konstanta	(W/m ²)
I_D	Intenzita difuzního záření	(W/m ²)
IK	investiční kapitál	(Kč)
i_n	nižší úroková míra	(-)
I_P	Intenzita přímého záření	(W/m ²)
I_{Ph}	intenzita přímého záření na vodorovnou plochu	(W/m ²)
I_{Pn}	Intenzita přímého záření na kolmou plochu	(W/m ²)
i_v	vyšší úroková míra	(-)
k	teplotní koeficient	(K.m ² /W)
n	doba životnosti projektu	(-)
NPV	čistá současná hodnota	(Kč)
P_{pk}	špičkový výkon panelů	(kWp)
Q_s	skutečné množství dopadající energie	(Wh/m ²)
r	diskontní úroková míra	(-)
t_{FV}	teplota článku	(° C)
t_{ref}	referenční teplota článku	(° C)
T_{sd}	doba návratnosti	(-)
t_v	teplota vzduchu	(° C)
VVP	vnitřní výnosové procento	(%)
Z	součinitel znečištění	(-)

α	úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné plochy	(°)
γ	teplotní součinitel	(%/K)
γ	úhel dopadu paprsků na obecně položenou plochu	(°)
ε	součinitel závislosti výšky slunce na obzorem	(-)
η_{FV}	účinnost fotovoltaických panelů	(%)
η_{ref}	referenční účinnost fotovoltaických panelů	(%)
τ	poměrná doba slunečního svitu	(-)

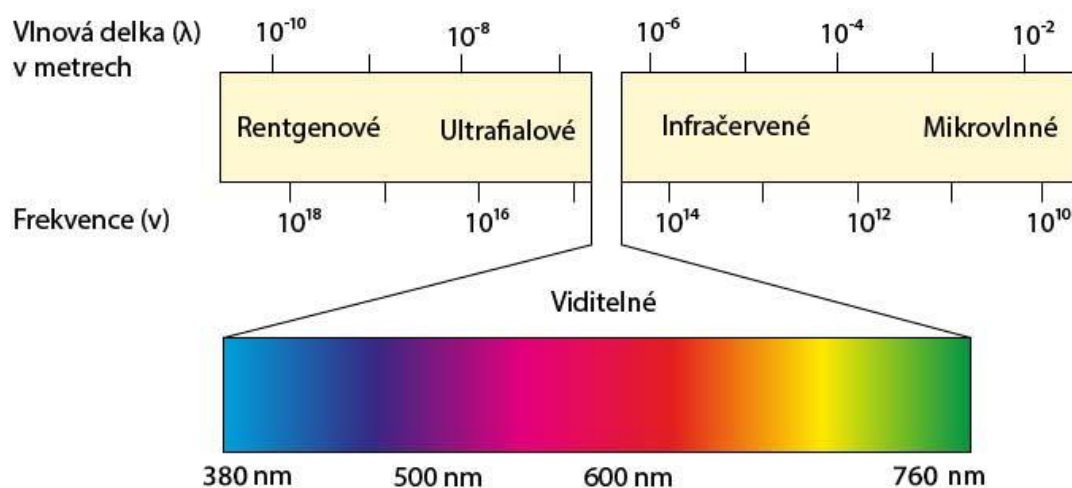
Úvod

Téma obnovitelných zdrojů energie je v dnešní době (zejména v Evropě) velmi diskutované. Lidstvo si totiž začíná uvědomovat negativní dopady na životní prostředí vlivem používání fosilních paliv jako zdrojů elektrické energie. Spalování uhlí nebo ropy do ovzduší exhalační spousta nežádoucích látek v podobě jedovatých plynů nebo popílku. Velice nežádoucí je také skleníkový plyn CO_2 , který nejspíše urychluje globální změnu klimatu. Členské státy EU se tak snaží o větší uhlíkovou neutralitu. Jedna z možností, jak snížit dopad emisí skleníkových plynů a dalších nežádoucích látek na životní prostředí je využívat obnovitelné zdroje energie jež v tomto směru představují ekologičtější variantu oproti fosilním palivům (například uhlí), které se ve velké míře používají dnes. Zařízení využívající OZE, produkují elektrickou energii bez emisí nežádoucích látek. Do této kategorie spadají například vodní, větrné nebo solární a fotovoltaické elektrárny, které pro svou funkci využívají sluneční energii. [49]

Cílem této práce je vyhodnotit ekonomickou výhodnost integrace bateriového systému v domácí fotovoltaické elektrárně. Pro určení ekonomické výhodnosti takové investice se provede srovnání na vhodné případové studii bez integrované baterie a s integrovanou baterií. Pro ekonomické srovnání těchto dvou investic je nutné stanovit příjmy plynoucí z obou investic v podobě úspory peněz za elektřinu. Z toho důvodu bude proveden výpočet energetické bilance, při kterém se rozlišuje, zda je elektrická energie vyrobená fotovoltaickými panely (případně energie uvolněná z baterie) použita pro napájení domácnosti, nebo zda je dodávána do distribuční sítě. Pro určení bilance je nutné provést výpočet produkce elektrické energie fotovoltaické elektrárny, který závisí na vnějších vlivech jako je velikost intenzity Solárního záření v konkrétní lokalitě nebo mění se účinnost FV článků v závislosti na jejich teplotě. Do výpočtů ekonomického srovnání se budou rovněž zahrnovat těžko odhadnutelné proměnné jako je cena za spotřebu elektrické energie a cena za dodávky elektřiny do sítě. Na závěr se provede citlivostní analýza, která se bude zabývat změnou výsledků ekonomických analýz, při uvažování jiných hodnotách vstupních parametrů.

1 Sluneční záření

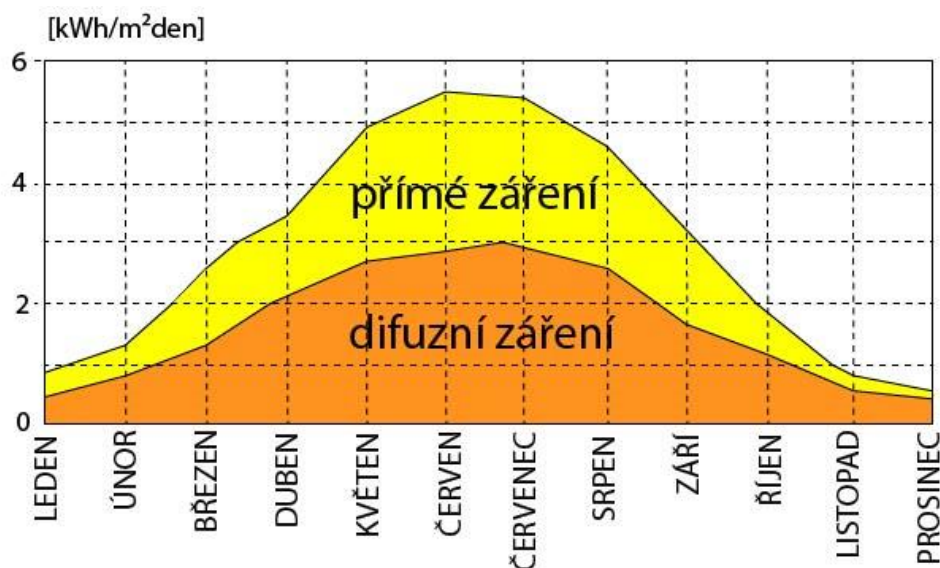
Sluneční záření je prvotním zdrojem většiny dostupných forem energie, které se na Zemi nachází. Například větrná energie vzniká rozdílnou intenzitou ohřevů částí planety, což vyvolá větrné proudění. Sluneční energie vychází z termonukleárních reakcí přímo ve Slunci a přenáší se k Zemi formou elektromagnetického záření. Slunce produkuje světlo ve velkém rozsahu vlnových délek. Viditelné spektrum je v rozsahu asi 400-650 nm (nanometrů). Z energetického hlediska je důležité infračervené záření z oblasti 650-2 000 nm. Solární energie se považuje za v blízké době nevyčerpatelnou (odhad je miliarda let). Problém nastává s její dostupností, protože při cestě na povrch musí projít skrz atmosféru. Během tzv. solárního dne je tedy všude dostupná, ale energetický výnos se liší v každé lokalitě. Existuje několik faktorů, které mají vliv na množství získané energie. Záleží na zeměpisné šířce, roční době, lokálním klimatu a orientaci plochy, na kterou záření dopadá. Území České republiky nedisponuje takovým potenciálem jako například Španělsko nebo některé africké státy. Přesto v této oblasti může Slunce vyzářit přes 1 000 kWh (kilowatthodin) energie slunečního záření za rok na metr čtvereční plochy. Přeměna elektromagnetického záření na elektrickou energii probíhá mimo jiné pomocí fotovoltaického článku, který využívá fotoelektrického jevu. [1]



Obr. 1: Světelné spektrum [2]

1.1 Intenzita slunečního záření

Je to míra energie slunečního záření dopadající na povrch Země skrz její atmosféru. Toto záření lze rozdělit do dvou složek. Přímá složka záření pochází přímo ze Slunce bez změny směru. Tato složka je však podmíněna bezoblačnou oblohou, jinak se vychyluje v mracích nebo mlze. Intenzita tohoto záření klesá s nárůstem délky dráhy slunečních paprsků v atmosféře. Difuzní záření je složka, která vzniká rozptylem slunečního záření na částicích vyskytujících se v atmosféře, například molekuly vzduchu, vodní kapky a aerosoly. K této složce se řadí také záření odražené od okolních ploch. Difuzní záření dopadá na osluněnou plochu i při vysoké míře oblačnosti. V případě jasné oblohy se potom sčítá přímá a difuzní složka a vzniká tak intenzita celkového záření. Výpočty pro stanovení intenzity slunečního záření jsou popsány v kapitole 7. [3]



Obr. 2: Závislost přímého a difuzního záření v jednotlivých měsících [4]

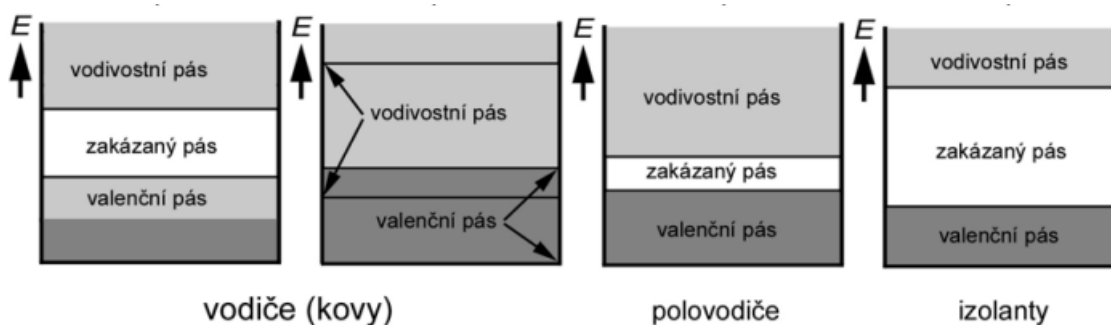
2 Fyzika pevných látek (polovodičů)

Látka představuje základní formu hmoty. Mohou se vyskytovat v kapalně, plynně, plazmové nebo pevné formě. Každá látka je tvořena atomy. Atom je nejmenší částice běžné hmoty, kterou už nelze chemickými prostředky dále dělit. Tato částice definuje vlastnosti dané látky. Skládá se z atomového jádra a obalu. Jádro obsahuje protony a neutrony, obal je tvořen elektrony. Elektrony jsou částice se záporným elektrickým nábojem. Pevné látky z hlediska elektrických vlastností se mohou dělit na izolanty, vodiče a polovodiče. [5]

Polovodiče jsou materiály, které se za určitých podmínek stávají elektricky vodivé. Většina polovodičů jsou tzv. krystalické látky, tzn. objekty s periodickým uspořádáním základních prvků (atomy, molekuly nebo ionty) do krystalické mřížky. Rozdělují se na polovodiče s vlastní vodivostí (vodivost je způsobena samotným prvkem) a nevlastní (příměsovou) vodivostí. [5]

2.1 Pásová struktura pevných látek

Rozdělení pevných látek dle jejich elektrických vlastností vychází z pásové teorie vodivosti. Existují 3 základní typy pásů. Valenční pás uchovává elektrony vytvářející chemickou vazbu. Zakázaný pás je dán materiálovou konstantou a nelze ho měnit. Nakonec vodivostní pás, ve kterém elektrony, uvolněné z chemické vazby způsobují vodivost dané látky, díky pohybu elektronů v meziatomovém prostoru. Jedná se o nejvyšší energetický pás. [6]



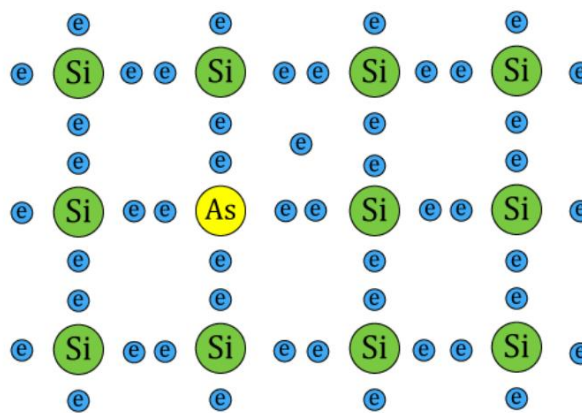
Obr. 3 pásová struktura pevných látek [7]

Elektrické vlastnosti materiálů jsou dány šířkou zakázaného pásu, ta je závislá na meziatomové vzdálenosti atomů v krystalu. Jak je vidět z Obr. 3, valenční a vodivostní pásy se u vodičů překrývají, aby tak elektrony mohly projít z jednoho pásu do druhého, stačí jim dodat (vnější) energii o hodnotě, menší než 0,1 eV (elektronVolt). U polovodiče už se

projevuje šířka zakázaného pásu. Je tak nutné vygenerovat energii dostatečně velkou k tomu, aby elektrony dokázaly překonat zakázaný pás a vznikla tzv. elektronová vodivost (0,1 – 3 eV). Izolanty disponují největší šířkou zakázaného pásu. Aby byly elektrony schopné dostat se z valenčního pásu do vodivostního, je potřeba vynaložit energii vyšší než 3 eV. U nevlastních polovodičů se ovlivňuje jejich vodivost, tedy šířka zakázaného pásu, pomocí procesu zvaným dotování, kdy se cíleně přidávají příměsi do krystalické mřížky polovodičových materiálů, obsahujících 4 valenční elektrony. Příměsové polovodiče vznikají tak, že malé množství atomů křemíku nahradí atomy jiného prvku (na 100 000 atomů křemíku stačí 1 atom arsenu) obsahující 5 nebo 3 valenční elektrony. [8]

2.2 Polovodič typu N

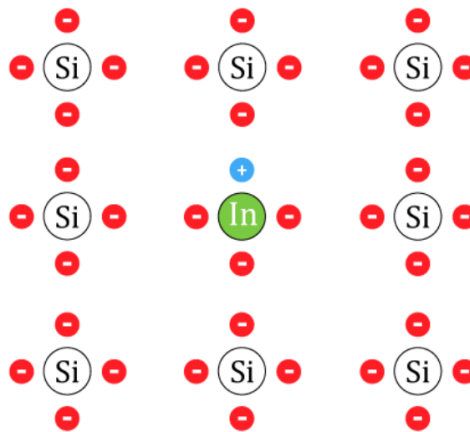
Takovýto nevlastní polovodič vzniká přidáním prvku z V. skupiny chemické tabulky prvků (P, As, Sb). Tento prvek, který se často nazývá donor (dárce), obsahuje 5 valenčních elektronů. 4 využívá pro vytvoření vazebných elektronových párů, pátý elektron zůstává volný, majoritní nosiče náboje jsou tak elektrony. [8]



Obr. 4: Krystalická mřížka polovodiče typu N [8]

2.3 Polovodič typu P

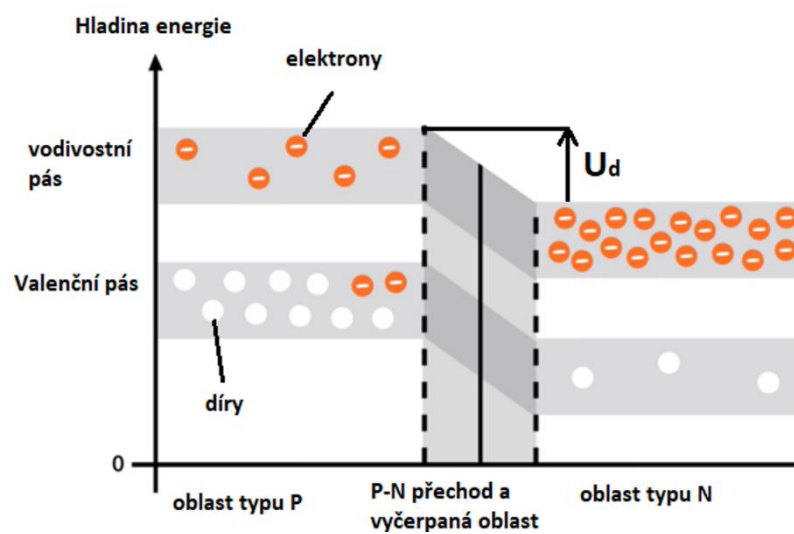
Pokud se malé množství atomů křemíku nahradí atomy ze III. Skupiny (akceptory), vznikne polovodič typu P. Například Indium obsahuje 3 valenční elektrony. V mřížce tak bude nedostatek elektronů a majoritními nosiči náboje se stanou kladně nabité „fiktivní“ náboje, nazývané díry. [8]



Obr. 5 Krystalická mřížka polovodiče typu P [8]

2.4 P-N přechod

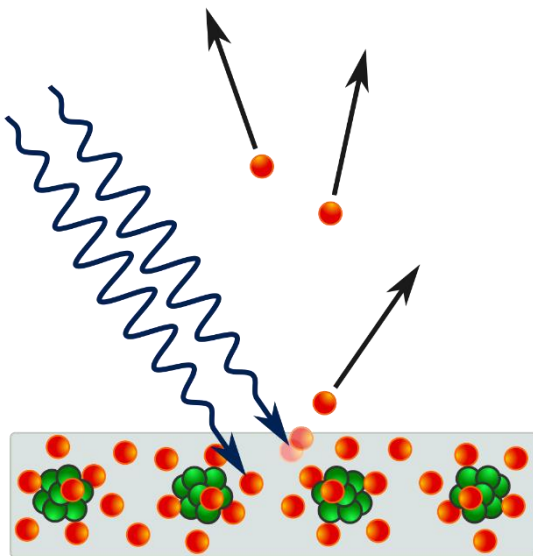
P-N přechod je rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N. Vzniká spojením dvou materiálů s různou koncentrací nosičů náboje. Jedna strana materiálu je polovodič typu P, jehož majoritní nosiče jsou elektrony. Druhá strana je polovodič typu N obsahující jako majoritní nosiče náboje díry. Ihned po vytvoření P-N přechodu nastává difuze děr z polovodiče typu P do polovodiče typu N a difuze elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P. Jakmile se majoritní nosiče náboje jednoho druhu dostanou do prostředí s majoritními nosiči opačného druhu, začnou rekombinovat. Rekombinace je proces, kdy elektron přechází na nižší energetickou hladinu, tedy z vodivostního pásu do valenčního, kde se spojí s kladným nábojem (dírou), znamená to zánik páru elektron-díra (za předpokladu rovnovážného stavu, tj. napětí na P-N přechodu $U=0$ V). Na rozhraní těchto dvou polovodičů tak vzniká vyčerpaná oblast, která se chová jako izolant tzn. nenachází se zde téměř žádné volné nosiče náboje. Šířka této oblasti je pak závislá na koncentraci donorů a akceptorů v příměsi. Dalším důležitým parametrem PN přechodu je difuzní napětí (nebo také potenciálová bariéra) U_d , vyznačené na Obr. 6. Je to výškový rozdíl energetických hladin obou materiálů. Potenciálová bariéra udává, jak velké napětí v propustném směru se musí připojit na P-N přechod, aby se vodivostní pásy obou polovodičů vyrovnaly a P-N přechodem tak začal procházet proud. [9]



Obr. 6: Vznik vyčerpané oblasti v rovnovážném stavu (upraveno) [10]

3 Fotoelektrický jev

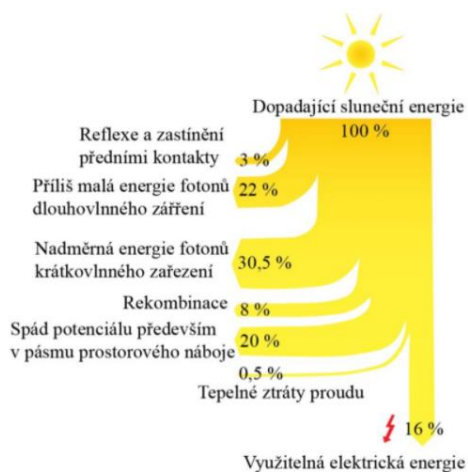
Jedná se o fyzikální jev, při kterém se uvolňují elektrony z obalu atomu, které následně mohou být vyzařovány z dané látky vlivem absorpce elektromagnetického záření určité látky. Tyto vyzařené elektrony se označují jako fotoelektrony. Fotoelektrický jev se dělí na dva druhy, vnější a vnitřní. Pokud jev probíhá na povrchu látky, má se na mysli vnější fotoelektrický jev. Jestliže děj probíhá uvnitř látky, uvolněné elektrony materiál neopouští, ale naopak v něm zůstávají jako volné elektrony a zvyšují elektrickou vodivost. V takovém případě se jedná o vnitřní fotoelektrický jev, který využívají fotovoltaické články.[11]



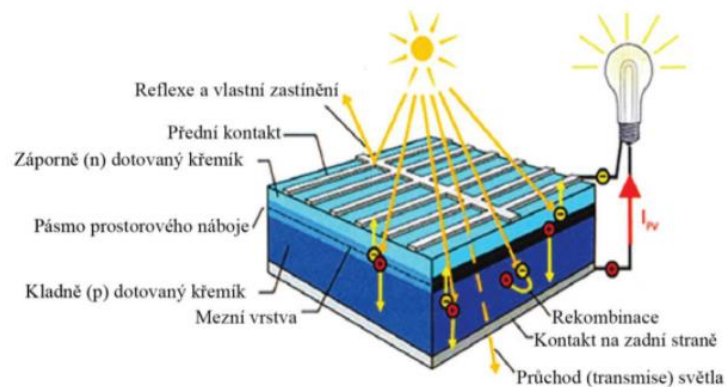
Obr. 7: Princip vnějšího fotoelektrického jevu [11]

4 Fotovoltaický článek

Fotovoltaický článek je polovodič s P-N přechodem, který pro svou funkci využívá fotoelektrického, resp. fotovoltaického jevu. Strana obrácená ke slunečnímu světlu je polovodič typu N, spodní vrstva je potom kladně dotovaný polovodič typu P. Na obou stranách jsou pak umístěny kovové elektrody jako kontakty. Spodní vrstva má většinou zakrytou celou svou plochu elektrodou. Kontakty horní vrstvy jsou tvořeny tenkou mřížkou, která tak dovoluje, aby na fotovoltaický článek dopadalo co nejvíce elektromagnetického záření. Dopadne-li na fotovoltaický článek světlo, energie fotonů může uvolňovat záporně nabitě elektrony z jejich vazeb v atomové mřížce. Aby bylo možné uvolnit elektron z krystalické mřížky křemíku, je zapotřebí, aby měl dopadající foton energii alespoň 1,12 eV, což je energie nutná pro překonání zakázaného pásu křemíku. Fotony se přitom absorbují. Uvolněné elektrony se začnou volně pohybovat a na své původní poloze zanechají kladný náboj v podobě díry. Kladně i záporně elektricky nabitě náboje se potom začnou přitahovat do protějších směrů. Elektrony přecházejí k vrchní elektrodě, díry zase ke spodní. Tím vzniká rozdíl potenciálů neboli stejnosměrné napětí. Na fotovoltaickém článku dochází k různým druhům ztrát, jako například ztráty způsobené rekombinací, tepelné ztráty proudu, reflexe nebo zastínění předními kontakty. Nejvýznamnější ztráty jsou způsobeny příliš malou, nebo naopak velkou vlnovou délkou slunečního záření. V jednom případě se fotony odrazí od fotovoltaického článku a ve druhém případě jím projdou. [1]



Obr. 8: Využití energie v solárním článku [1]

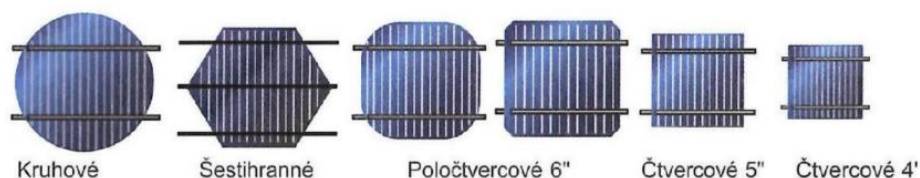


Obr. 9: Přeměna energie v krystalickém článku [1]

Pro fotovoltaické články existuje řada materiálů a koncepcí. Liší se od sebe tvarem a zbarvením, svými vlastnostmi nebo výkonovými parametry. Solární články na bázi krystalického křemíku dominují dnešnímu trhu podílem 86 %, zbylé zastoupení tvoří materiály jako například telurid kadmia, sulfid kadmia, nebo arsenid galia. [1]

4.1 Monokrystalické články

Monokrystalické články se skládají z jediného krystalového ingotu, upraveného na rozměry článku. Většinou jsou čtvercového tvaru s ostrými nebo se zaoblenými rohy. Existují i články kruhového tvaru, ty se však moc nepoužívají z důvodu jejich neefektivního využívání plochy. Povrch má tmavomodré až černé zbarvení. V laboratorních, přesně definovaných světelných a teplotních podmínkách, dosahují účinnosti až 27 %, průměrná účinnost monokrystalických článků je však 19 až 22 %. Životnost se pohybuje na hranici 25 let. Tvar článků je určen procesem výroby. [1], [12]

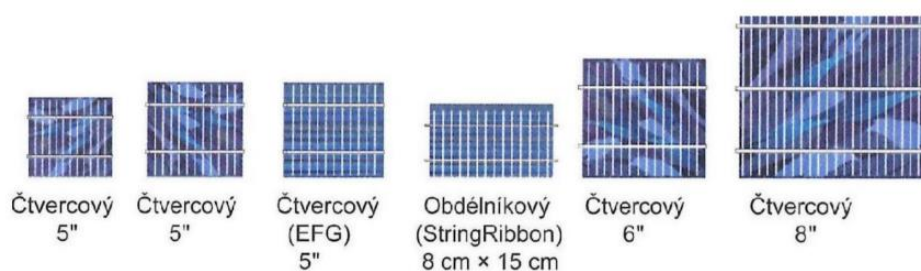


Obr. 10: Druhy monokrystalických článků [1]

4.2 Polykrystalické články

Polykrystalické články se zase skládají z mnoha krystalových ingotů křemíku. Jsou charakteristické svou modře se třpytící krystalickou strukturou. Účinnost se pohybuje průměrně mezi 16 a 19 % v reálných provozních podmínkách. Za ideálních podmínek to

může být až 23 %. Polykrystalický křemík je výrobně jednodušší a levnější než monokrystalický. Životnost těchto článků je odhadována na 25 let provozu. Pro jeho výrobu se používá metoda blokového lití. Křemík se zahřeje ve vakuovém prostoru na teplotu 1500 °C a v grafitovém kelímku se regulovaně ochlazuje až do blízkosti bodu tání. Tak vzniknou polykrystalické křemíkové bloky. Tyto bloky se nejprve rozřežou na tyče a ty pak na destičky. Odpad z řezání není tak velký jako u řezání monokrystalických válců. Výrobní kroky až po hotové solární články se potom shodují s výrobou monokrystalických článků. [1], [12]



Obr. 11: Druhy polykrystalických článků [1]

4.3 Tenkovrstvé články

Tenkovrstvé články se vyrábějí z různých materiálů jako je amorfni křemík (a-Si), telurid kadmia (CdTe) nebo CIGS (měď-indium-galium-diselenid). Tento typ článku je, oproti již zmíněným typům, tenký pouze několik desetin milimetrů. Poskytuje tak při aplikaci nezanedbatelné výhody, mezi které patří flexibilita, nižší citlivost na teplotu a zastínění, geometrická volnost nebo efektivnější využití umělého světla. Jejich účinnost v laboratorních podmínkách dosahuje hodnoty až 14 % a v praxi zhruba 10 %. Samotná životnost je potom o něco nižší než u předchozích článků (zhruba 20 let). Výroba se provádí nanášením vrstvy tenké pouze několik mikrometrů na sklo, plast nebo kov. Oproti krystalickým metodám výroby potřebují menší teplotu (200-500 °C). Využívají se hlavně v případech, kdy není tak výrazné omezení plochy pro instalaci článků. [1], [12]

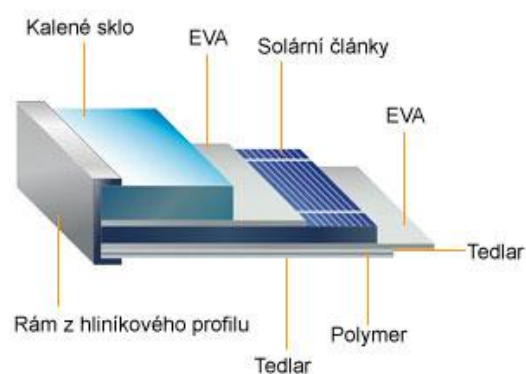


Obr. 12: tenkovrstvý fotovoltaický panel [46]

4.4 Fotovoltaický Panel

Fotovoltaický panel je spojení několika fotovoltaických článků a ochranné konstrukce. Panel je obvykle tvořen 36, 48, 54, 60 nebo 72 články, které se mohou propojit pomocí sběrnic třemi způsoby. Sériovým propojením se zvyšuje výstupní napětí, ale zachovává se výstupní proud panelu, paralelním propojením se zvyšuje maximální odebíraný proud při zachování výstupního napětí panelu a sériově-paralelním propojením se kombinují obě předchozí možnosti, díky čemuž je možné získat požadované výstupní napětí a proud. Solární články jsou velice křehké, citlivé a snadno korodují vlivem vlhka. Je tak nezbytné je ochránit zapouzdřením. Na přední straně se proto nachází tvrzené sklo, které má za úkol ochránit články před mechanickým poškozením. Toto sklo je charakteristické svou vysokou propustností a nízkou odrazivostí světla. Spodní strana panelu je složena ze dvou materiálů. Jednu vrstvu tvoří polyester, který se vyznačuje svou izolační schopností. Druhá vrstva se skládá z Tedlaru, sloužící jako ochrana FV článku proti navlhnutí. Články jsou oboustranně zapouzdřené ochrannou vrstvou EVA (ethylene-vinyl acetate). Jedná se o vysoce propustný materiál, který chrání křehké křemíkové články před poškozením od skla. Výsledný panel je potom uložen v hliníkovém rámu. V rámu se dále nacházejí otvory určené pro uchycení na místo. Na zadní straně je obvykle přítomen propojovací box, díky kterému se mohou jednotlivé panely propojit mezi sebou. Box je vyroben z umělé hmoty odolné proti UV záření. Maximální výkon panelů se pohybuje v rozmezí hodnot od 100 Wp do 450 Wp. Watt peak (Wp) je označení jednotky pro špičkovou hodnotu výkonu fotovoltaického panelu

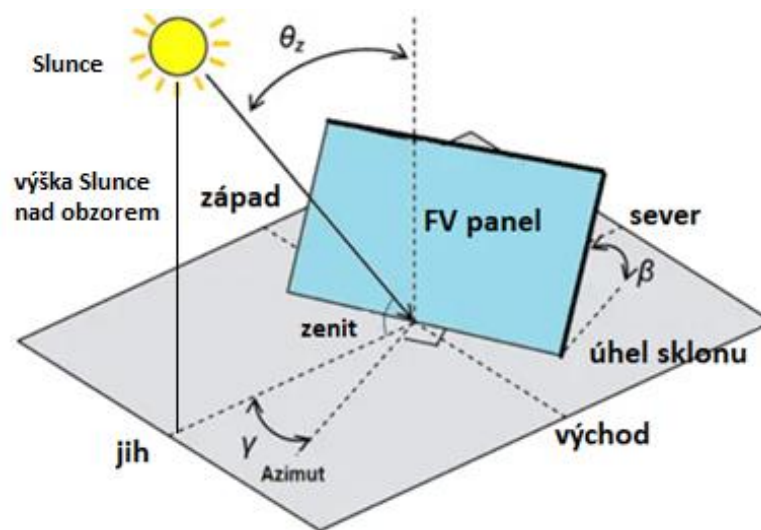
v případě ideálních podmínek. Hodnota se určuje ve v laboratorních podmínkách při standardizovaném ozáření $1\,000\text{ W/m}^2$, teplotě P-N přechodu 25 °C a spektru při $AM = 1,5$. (AM je výraz pro vzduchovou hmotu; dopadají-li sluneční paprsky na povrch plochy v kolmém směru, mají paprsky nejkratší možnou dráhu, AM je potom rovné 1) Účinnost panelů jako celku je potom nižší než účinnost samotného článku, to je dáno tím, že vrchní sklo není absolutně propustné. [1]



Obr. 13: konstrukce fotovoltaického panelu [13]

4.5 Orientace a sklon fotovoltaických panelů

Při instalaci fotovoltaické elektrárny (FVE) na střechu domu je důležitá orientace a sklon plochy vzhledem ke slunci. Poloha Slunce je pak dána dvěma úhly, azimutem a zenitem. Azimut se dá definovat jako úhel, který se mění při pohybu slunce od východu na západ. Pro azimut 0 ° platí, že se Slunce nachází přesně na jihu pro severní polokouli nebo na severu pro jižní polokouli. Zenit je potom úhel mezi slunečními paprsky a vodorovnou plochou. Tento úhel úzce souvisí s výškou Slunce nad obzorem. Jeho maximální hodnoty dosahuje v poledne, kdy je tento úhel roven hodnotě 90 ° . Výška slunce pro konkrétní hodinu se však mění v závislosti ročním obdobím. Nejmenší hodnoty dosahuje v prosinci a největší v červenci.



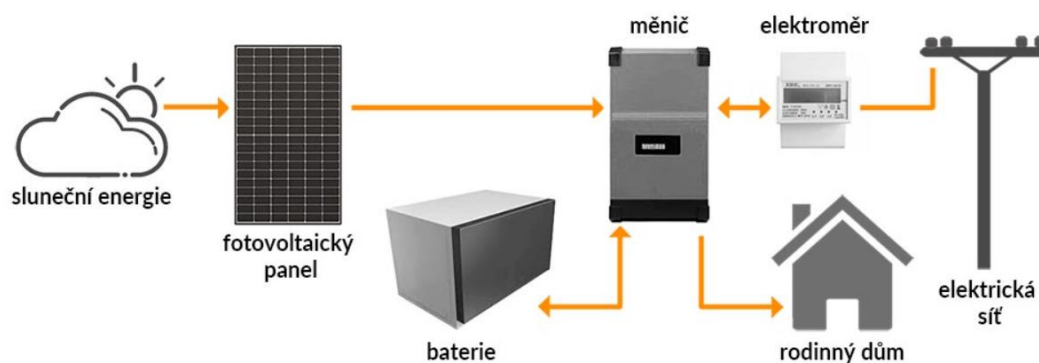
Obr. 14: Zobrazení azimutového a zenitového úhlu (upraveno) [15]

Orientace fotovoltaického panelu se vztahuje k azimutu Slunce. Nejvíce energie panely vyprodukují, budou-li natočeny kolmo ke slunečním paprskům. Při odchylce od optimálního úhlu $\pm 45^\circ$, dochází k poklesu ročního výnosu elektrické energie zhruba o 5 %, při odchylce $\pm 70^\circ$ je pokles výnosu elektrické energie dvojnásobný, tedy 10 %. Úhel sklonu fotovoltaických panelů potom souvisí se zenitem. Pokud je úhel sklonu nehybný, maximální ozáření je dosaženo v rozmezí $30\text{--}45^\circ$. Zisk ozáření ve srovnání s vodorovnou rovinou činí asi 10 %. Na vodorovných plochách se navíc usazuje prach, sníh a listí. Před většími ztrátami lze fotovoltaické zařízení uchránit jen pravidelným čištěním. U ploch, jejichž úhel je větší než 12° , se uplatňuje tzv. samočistící jev způsobený deštěm a gravitací, takže čištění není nutné. Roční ztráty výnosu energie způsobené znečištěním činí obvykle 1 až 5 %. [1], [47]

4.6 Fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna je technické zařízení, které přeměňuje energii ze slunečního záření na energii elektrickou. Skládá se z fotovoltaických panelů, regulátoru, hybridního měniče, propojovacích vodičů, ochranných prvků a v určitých případech i z akumulátoru. Sluneční energie se díky fotovoltaickému jevu přeměňuje na elektrickou energii pomocí fotovoltaických panelů, zapojených do elektrického obvodu se spotřebiči. Sluneční paprsky však vlivem rotace Země a atmosférických podmínek neozářejí danou plochu konstantní intenzitou. Nekonzistentní výroba elektrické energie fotovoltaických systémů má za následek kolísání napětí na jejich výstupu, čímž vzniká potřeba toto napětí regulovat. K tomu slouží regulátor neboli DC/DC měnič. FV elektrárny generují stejnosměrné napětí, většina

spotřebičů v domácnosti ale funguje na napětí střídavé. Hybridní měnič tak DC napětí tzv. „rozstřídá“ na AC. Dále se využívají jističe, které slouží jako ochrana proti zkratu, a napěťové svodiče pro ochranu FVE před přepětím (např. úder blesku). [14]



Obr. 15: Obecné schéma zapojení FVE s baterií [16]

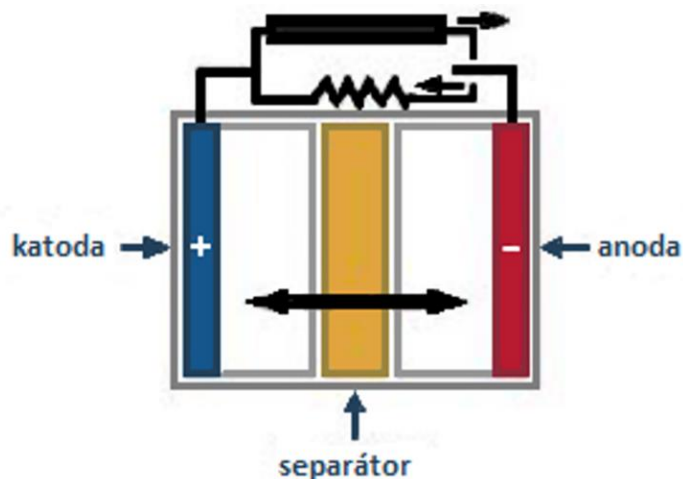
5 Baterie (akumulátor)

Základem elektrochemických baterií (akumulátorů) je tzv. elektrochemický článek. Ten je tvořen kladnou a zápornou elektrodou, které se prostorově oddělují vhodným vodivým elektrolytem. Elektrolyt je látka tekuté nebo plynné formy obsahující pohyblivé ionty s kladným a záporným nábojem. Tyto ionty jsou příčinou iontové vodivosti, které tak umožňují vedení elektrického proudu. [17]

Baterie je zařízení, které slouží pro uchovávání energie, skládá se ze dvou nebo více elektrochemických (galvanických) článků, které se vzájemně propojují. Baterie je soustava tzv. primárních článků, to znamená, že se dají využít jako zdroje elektrické energie pouze jednou, nelze je tedy znovu nabít. V aplikacích bateriového úložiště pro fotovoltaické instalace se používají baterie, které lze opakovaně nabíjet a vybíjet elektrickou energií, takové baterie se nazývají akumulátory. Je to soustava tzv. sekundárních článků. Proces úplného nabití a vybití představuje jeden cyklus a lze ho provádět opakovaně. Životnost používaných akumulátorů může být v řádu stovek až tisíců cyklů. S životností se uvádí hloubka vybití DoD (depth of discharge), při které se dosáhlo takové životnosti. Životnost akumulátoru je doba, za kterou klesne maximální kapacita na 80 % její původní hodnoty. [17]

5.1 Základy akumulátoru

Přestože existuje mnoho typů elektrochemických akumulátorů, základní princip funkce, u nich zůstává podobný. Jeden nebo více elektrochemických článků přeměňuje uloženou chemickou energii na energii elektrickou. Baterie se většinou vyrábí z kovového nebo plastového pouzdra, které obsahuje kladný pól (anoda), záporný pól (katoda) a elektrolyty, které umožňují pohyb iontů mezi nimi. Separátor je potom přítomen pro vytvoření bariéry mezi anodou a katodou, která zabraňuje elektrickým zkratům, ale umožňuje pohyb nosičů iontového náboje, které jsou potřebné k uzavření obvodu při průchodu proudu. Nakonec je použit kolektor k vedení náboje mimo baterii, prostřednictvím připojeného spotřebiče. [18]



Obr. 16: Obecný princip baterie (Upraveno) [18]

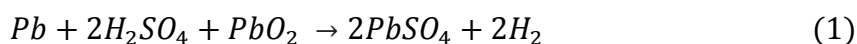
Jakmile je obvod mezi dvěma svorkami uzavřen, baterie uvolňuje elektrickou energii prostřednictvím určitých reakcí. U anody dochází k oxidační reakci, ve které se dva nebo více iontů z elektrolytu spojí s anodou za vzniku sloučeniny, která následně uvolňuje elektrony. Katoda prochází redukční reakcí, při této reakci se katodová látka, ionty a volné elektrony spojují do sloučenin. Anodová reakce tak produkuje elektrony, zatímco reakce na katodě je absorbuje. Tímto procesem se z baterie uvolňuje elektrická energie. Baterie bude uvolňovat elektrickou energii do doby, než elektrodám dojde látka potřebná pro pokračování chemických reakcí, nebo dokud se nepřeruší elektrický obvod. [18]

5.2 Olověné baterie (Pb)

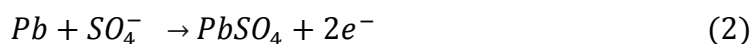
Olověné baterie bývaly jedním z nejpoužívanějších typů baterií ve fotovoltaických systémech. Dnes se používají zejména jako autobaterie. Vyznačují se cyklickou účinností až 70 %. Nevýhoda článků této baterie může být malá hustota gravimetrické energie (25-50 h/kg). Maximální napětí článku je 2,105 V. Její výhodou je potom nízká cena. [19]

Skládá se ze záporné elektrody vyrobené z porézního olova. Kladná elektroda je z oxidu olovičitého. Obě elektrody jsou ponořeny do elektrolytického roztoku kyseliny sírové a vody. Olověné baterie akumulují energii vratnou chemickou reakcí uvedenou níže.

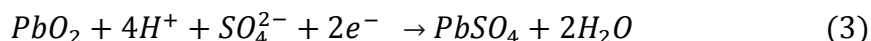
Celková reakce vybíjení:



Na záporné elektrodě:



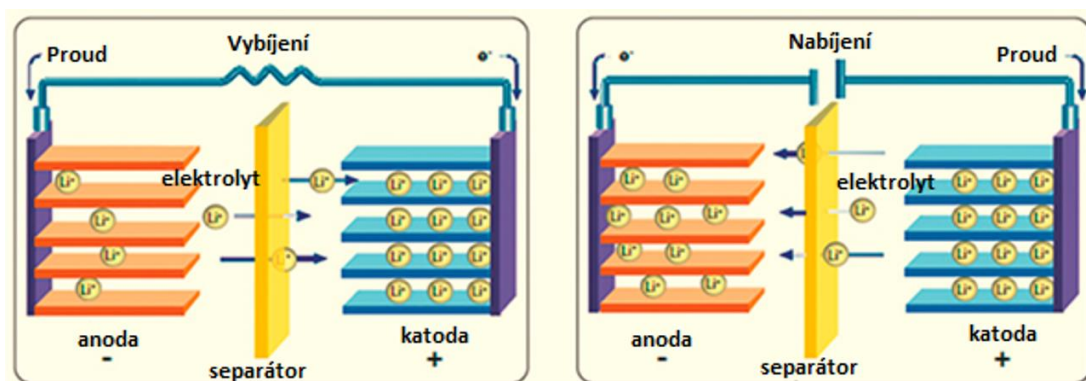
Na kladné elektrodě:



Z výše uvedených rovnic je patrné, že vybíjení baterie způsobuje tvorbu krystalů síranu olovnatého na záporném i kladném pólu a také uvolňování elektronů v důsledku změny valenčního náboje olova. Tvorbu tohoto síranu olovnatého využívá síran z elektrolytu kyseliny sírové obklopující baterii. Elektrolyt se díky tomu stává méně koncentrovaným. Úplné vybití by potom mělo za následek pokrytí elektrod síranem olovnatým a vodou a nikoli kyselinou sírovou obklopující elektrody. Při úplném vybití jsou obě elektrody ze stejného materiálu a nenachází se mezi nimi žádný chemický potenciál ani napětí. V praxi se však vybíjení zastaví na hraničním napětí, dlouho před tímto bodem. [19]

5.3 Lithiové baterie

Dobíjecí lithiová baterie obsahuje kladnou elektrodu, zápornou elektrodu a mezi nimi je elektrolyt z lithiové soli v organickém rozpouštědle. Katoda je vyrobena z oxidu (např. oxid-kobaltnatý, nebo fosforečnan lithio-železitý, lithium-kobalt oxid, lithium-mangan oxid a mnoho dalších). Záporná elektroda je obecně vyrobena z uhlíku (grafitu). Elektrolyt, tvořený nejčastěji lithium hexafluorofosátem (LiPF₆), přenáší kladně nabitě ionty lithia z anody na katodu. Pohyb iontů lithia vytváří v anodě volné elektrony, které generují náboj na kladném kolektoru proudu. Elektrický proud pak teče z kolektoru kladného proudu přes napájené zařízení do kolektoru záporného proudu. Separátor slouží k oddělení elektrod. Pokud se baterie vybíjí a uvolňuje elektrickou energii, anoda uvolňuje ionty lithia ke katodě, čímž tok elektronů proudí z jedné strany na druhou. Při nabíjení dojde k opačné reakci, katoda uvolňuje ionty lithia a anoda je přijímá. [20]



Obr. 17: princip lithium-iontové baterie (upraveno) [21]

Výhodou lithiových akumulátorů oproti jiným druhům je to, že ionty lithia při přesunu do struktury záporné elektrody nevytvářejí chemickou reakci s daným materiálem. Tím je dosaženo vyšší životnosti. Nevýhodou je bezpečnost baterie, protože lithium a jeho sloučeniny jsou vysoce reaktivní materiály. Při styku se vzduchem nebo při navlhnutí tak degradují a může dojít k požáru. V následujících podkapitolách budou představeny takové alternativy této technologie, jejichž název je nejčastěji skloňován ve spojení s FVE. [20]

5.3.1 Lithium-polymerové baterie (Li-Pol)

U tohoto typu baterie není kapalný elektrolyt. Místo něj se zde nachází iontově vodivá polymerní sloučenina. Články jsou ve většině případech z hliníkové fólie a vyznačují se také velkou gravimetrickou hustotou energie (100-265 Wh/kg). Využívají se například v noteboocích a tabletech, protože elektrody článku se skládají na sebe a tím se akumulátory mohou konstruovat do nepravidelných tvarů. Maximální napětí těchto článků dosahuje hodnoty 4,2 V. Další výhodou je nízký efekt samovybíjení pohybující se okolo 5% ztráty nabitě energie za měsíc. Nevýhoda těchto baterií je jejich údržba. Baterie se nesmí úplně vybit (mohlo by dojít k jejímu zničení), stejně tak by se neměla ani přebíjet a vystavovat vysokým teplotám (hrozí exploze). [23]

5.3.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePO₄)

Jedná se o druh lithium-iontového akumulátoru, který pro katodu využívá Lithium-železo fosfát a pro anodu uhlíkovou elektrodu. Tyto akumulátory mají podstatně delší životnost než jiné lithiové typy. V reálném provozu dosahuje životnosti okolo 3000 cyklů a v laboratorních podmínkách je to dokonce až 10000 cyklů. Dále jsou také mnohem bezpečnější, jelikož je tato sloučenina tepelně a chemicky stabilní. Její nevýhodou je o něco

nižší gravimetrická hustota energie (od 90 Wh/kg až do 210 Wh/kg). Maximální napětí dosahuje 3,65 V. [22]

5.3.3 Lithium-nikl-mangan-kobalt oxid (NMC)

Jedná se o druh sekundárního článku, který pro svou katodu využívá LiNiMgCoO_2 a pro katodu grafit. Tento článek disponuje životností až 4 000 cyklů při hloubce vybití 90 % a gravimetrickou hustotou energie 150 až 220 Wh/kg. Nevýhoda této technologie je využívání relativně vzácného a ekologicky problematického prvku (kobaltu). [24]

5.4 Grafenové baterie

Grafen je forma uhlíku tenká pouze 1 atom a jeho tvar má podobu šestiúhelníku. Je to jeden z nejpevnějších materiálů na světě a zároveň má také výborně elektrické vlastnosti. Baterie na bázi grafenové technologie mají podle společností, které se zabývají jejich vývojem, mnohem delší životnost, kratší dobu nabíjení a vyšší hustotu energie, zároveň by měly být také velice bezpečné. [18]

5.5 Výsledné srovnání jednotlivých technologií

Tab. 1: Srovnání technických parametrů různých technologií bateriových článků. [25], [26], [27]

Parametr/ typ akumulátoru	LiFePO ₄	Li-Pol	Pb	NMC
Gravimetrická hustota energie (Wh/kg)	90-210	100-265	25-50	150-220
Životnost (cyklus)	3 000-10 000	500-1 000	200-300	1 000-4 000
Provozní teplota (°)	-20 až 60	0 až 50	5 až 40	-40 až 60
Maximální napětí článku (V)	3,2	3,6	2,1	3,7
Samovybíjení (% za měsíc)	2	3-5	5	1
Hloubka vybití (DoD) (%)	90	80	80	90
Cyklická účinnost (%)	85-93	85-95	50-70	75-80

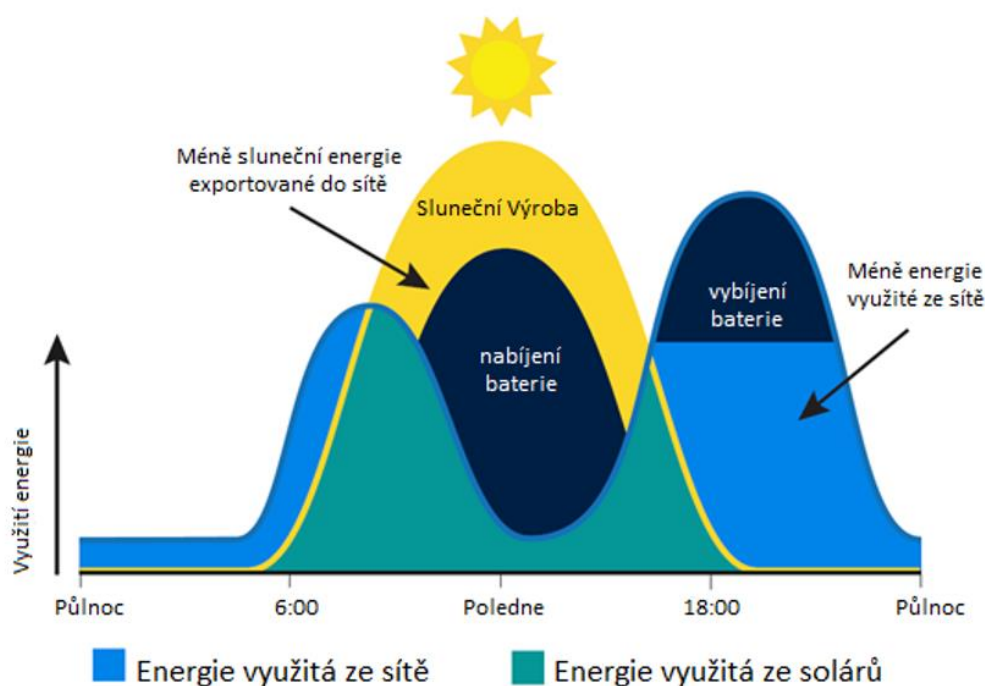
Tab. 1 srovnává technické parametry výše popsaných technologií baterií. Při instalaci bateriového uložení jsou nejdůležitější parametry životnost, hloubka vybití, účinnost a gravimetrická hustota energie. Z výsledných hodnot tak lze usoudit, že nejvhodnější typ baterie pro FVE je lithium-železo-fosfátový (LiFePO₄). Tento typ článku sice nemá nejvyšší cyklickou účinnost ani nejvyšší gravimetrickou hustotu energie v porovnání například s lithium-polymerovým typem, nabízí však bezkonkurenčně nejdelší životnost, která může

dosahovat až 10 000 cyklů, díky čemuž není potřeba měnit baterii po dobu až 27 let, baterie je navíc vzhledem k ostatním li-ion typům relativně bezpečná, což je velice žádoucí vlastnost zejména pokud se bateriové úložiště nachází v obývacích prostorech domácnosti. Technologie grafenových baterií zatím není komerčně dostupná a neexistují tak žádné konkrétní technické parametry, které by se mohli uvést do Tab.1. Pokud se však baterie grafenové technologie skutečně dostanou na volný trh, využití by nepochybně našli také ve spolupráci s fotovoltaickými systémy. (Výše uvedené hodnoty jsou průměry dané technologií, hodnoty se mohou lišit v závislosti na konkrétním modelu baterie každého výrobce).

6 Topologie zapojení fotovoltaických elektráren

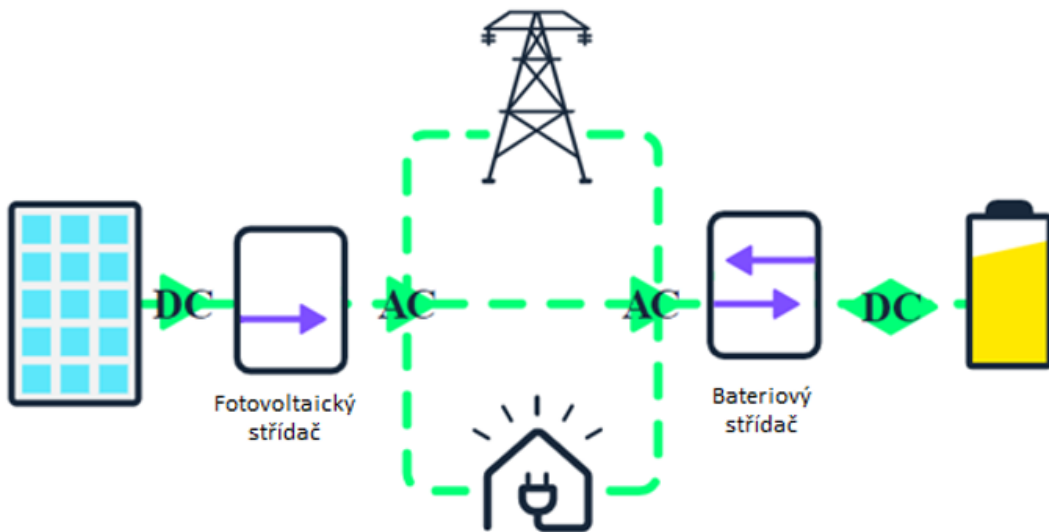
Velká nevýhoda fotovoltaických elektráren je jejich nekonzistentní výroba elektrické energie. Elektrickou energii produkují zejména v době, kdy je spotřeba domácnosti nejnižší, čímž vzniká přebytek elektrické energie, kterou je možné dodávat buď do distribuční sítě, nebo se může uložit v akumulátorech a využít později. Akumulátory tak pomáhají k maximálnímu využití obnovitelné energie z fotovoltaických panelů. [28]

Domácnost se solárními panely a akumulátory

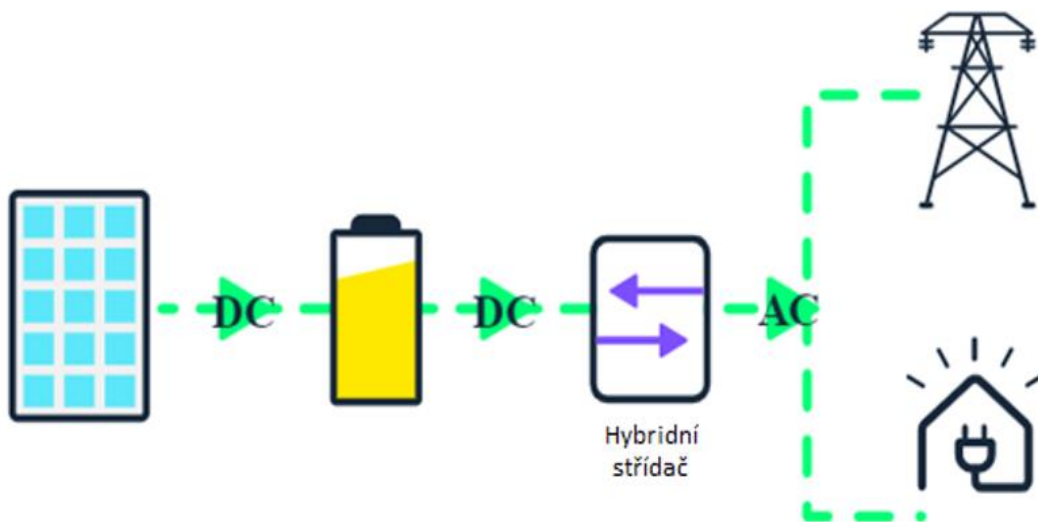


Obr. 18: Princip funkce baterií v zapojení s fotovoltaickými panely pro domácnost (Upraveno) [29]

FV systémy se mohou zapojit různými způsoby, například: „AC a DC coupling“. V systému AC-coupling teče stejnosměrný proud ze fotovoltaických panelů do střídače. Ten mění stejnosměrný proud na střídavý, který je potřeba pro napájení domácích spotřebičů. Pokud však převládá produkce nad spotřebou, proud teče do hybridního měniče, který ho usměrní zpět na stejnosměrný proud, a následně uloží do baterie. DC systém (DC-coupling) využívá jednoho hybridního měniče. V tomto systému teče stejnosměrný proud ze solárních panelů do regulátoru nabíjení, přes který se proud přivádí do bateriového systému. To znamená, že veškerá elektrická energie ve formě stejnosměrného proudu generovaná solárními panely bude pouze jednou invertována z DC na AC. Buď v místě, kde proud teče z baterie do domu, nebo do sítě. [30]

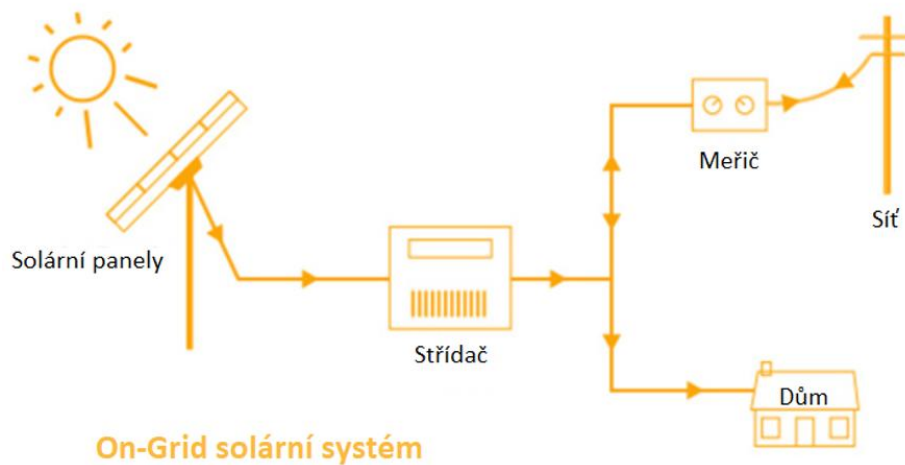


Obr. 19: AC-coupled systém fungování (Upraveno) [30]



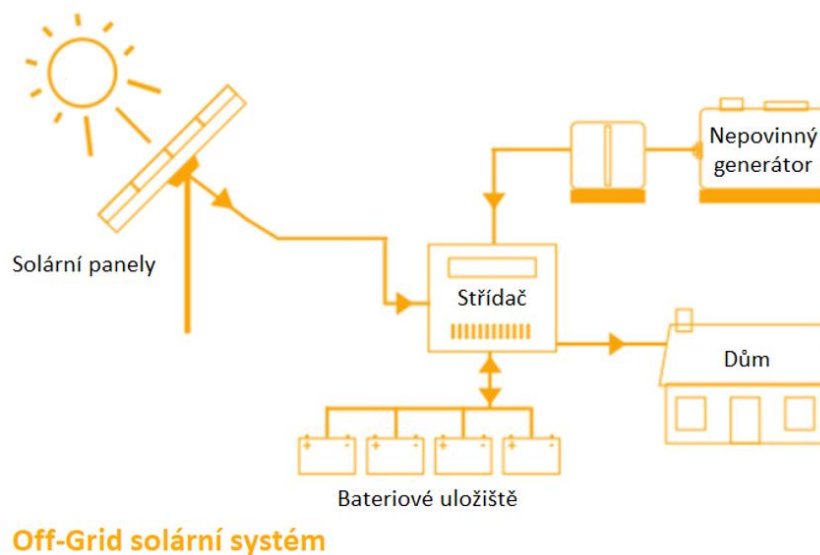
Obr. 20: DC coupled systém fungování (Upraveno) [30]

Další pojmy, které jsou často spojované v souvislosti se solárním systémem, jsou on-grid, off-grid a hybridní systém. On-grid systémy jsou napojeny na místní rozvodné sítě a fungují jako doplňkový zdroj elektřiny. V případě výpadku proudu však bude dodávka elektřiny ovlivněna. [31]



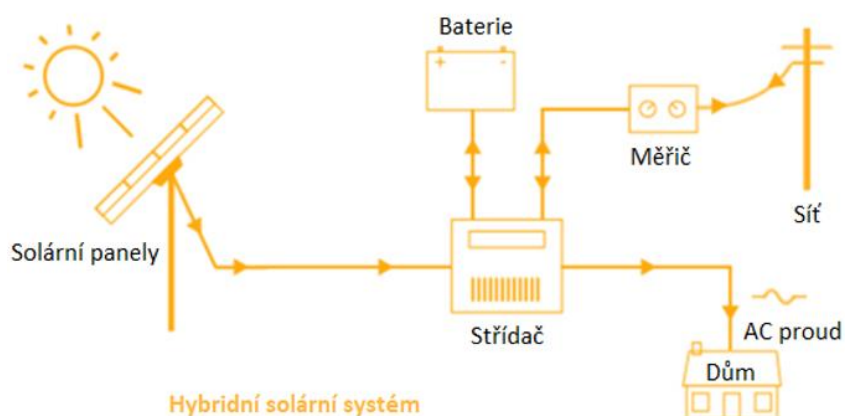
Obr. 21: Schéma On-grid fotovoltaického systému (upraveno) [32]

Off-grid systém, tzv. ostrovní instalace naopak není připojen na síť a nespotřebovaná elektřina se uloží do baterií. Využívá se v případech, kde není možné nebo je příliš složité se k rozvodné síti připojit. V České republice to mohou být například odlehlé chaty, zahradní domky nebo obytné přívěsy. Systém se navrhuje tak, aby vyhověl energetickým nárokům ve špičce. [33]



Obr. 22: Schéma Off-grid fotovoltaického systému (upraveno) [32]

Další možností je hybridní systém, který spojuje výhody obou předchozích konfigurací. Hybridní režim je označení pro fotovoltaický systém připojený k distribuční síti, zároveň je schopen akumulovat elektrickou energii do baterie. Jakmile se baterie zcela nabije a energie z ní není potřeba pro napájení spotřebičů, může přebytečnou energii exportovat do sítě. Při výpadku distribuční sítě elektrárna přechází na ostrovní režim, čímž dokáže pokrýt spotřebu pomocí energie uložené v bateriích. [33]



Obr. 23: Schéma hybridního zapojení fotovoltaického systému (upraveno) [32]

7 Ekonomická analýza

Ekonomická analýza je proces, při kterém se zjišťuje výhodnost investice. Za investici se považují peněžní výdaje, u kterých se očekává přeměna na budoucí peněžní příjmy během předem určeného období. K určení efektivnosti investice existuje několik metod. Všechny v této práci zmiňované metody využívají pro ekonomické hodnocení vyčíslení ročních Cash flows, česky peněžních toků. Ty zachycují všechny příjmy a výdaje, v průběhu určitého období. [34]

7.1 Diskontní úroková míra a její význam pro hodnocení projektů

Jedná se o sazbu, pomocí kterého se přepočítávají budoucí výnosy nebo náklady v jednotlivých obdobích (letech) na současnou hodnotu. Diskontování je proces, který vyjadřuje skutečnost, že určitá částka peněz v budoucnosti má nižší hodnotu než stejná částka v současnosti. Při hodnocení projektu s dlouhou životností tak může diskontní úroková míra zásadně ovlivnit výsledky takového hodnocení. [35], [36]

7.2 Metody ekonomické analýzy

Metody ekonomického hodnocení se rozdělují na statické či dynamické v závislosti na jejich respektování faktoru času.

7.2.1 Statické metody

Statické metody neberou v potaz faktor času a měly by se využívat pouze v těch případech, kdy faktor času nehraje roli při rozhodování o investici. [34]

Mezi tyto metody patří například:

- Metoda průměrných ročních nákladů
- Průměrná výnosnost investičního projektu
- Doba návratnosti investičního projektu

7.2.2 Dynamické metody

Dynamické metody faktor času naopak respektují a jsou tak vhodnější pro projekty s delší dobou ekonomické životnosti. Faktor času velkou měrou ovlivňuje rozhodnutí o uskutečnění

investice nebo výběr nejlepší varianty, protože se promítá jak do kapitálových výdajů, tak do peněžních příjmů z investice. Pokud se u investice zanedbá faktor času, může se zřetelně zkreslit pohled na efektivnost projektu či jeho variant, a může se dojít k nesprávnému rozhodnutí. [37]

Mezi tyto metody patří například:

- Metoda diskontovaných nákladů
- Čistá současná hodnota
- Vnitřní výnosové procento

7.2.2.1 Čistá současná hodnota

Metoda Čisté současné hodnoty, zkráceně ČSH (anglicky NPV), je jedna z nejvhodnějších a nejpoužívanějších finančních metod. Zahrnuje se v ní úplná doba životnosti projektu a bere v úvahu časovou hodnotu peněz, závisí na předvídaných peněžních tocích a alternativních nákladech kapitálu, výpočet je popsán (4). [38]

$$NPV = -IK + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

Kde NPV je čistá současná hodnota, IK je investiční kapitál, CF_t jsou peněžní toky v jednotlivých letech, n je doba životnosti projektu, r je diskontní úroková míra a t je pořadí cashflow v daném roce.

Touto metodou lze zahrnout libovolné peněžní toky. Výsledkem je absolutní peněžní hodnota přínosu investice v cenách přepočítaných k času provedení investice. Pokud vyjde NPV kladné, projekt je označen za ziskový. Oproti tomu, pokud vyjde hodnota záporná, projekt je ztrátový. V případě srovnání více investičních alternativ, se preferuje vyšší NPV. Nevýhodou této metody je, že počítá s diskontní úrokovou mírou, která se velice těžko odhaduje pro delší časové období. [38]

7.2.2.2 Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento je ukazatel, využívaný k odhadu výnosnosti zamýšlené investice. Jedná se o výnosovou sazbu, při které se suma všech budoucích peněžních toků

(příjmů i výdajů) z investice, rovná 0. Jednoduše řečeno, je to taková diskontní úroková míra, při které se $NPV=0$. Výpočet VVP je znázorněn v (5). [37]

$$VVP = i_N + \frac{NPV_N}{NPV_N + |NPV_V|} \cdot (i_V - i_N) \quad (5)$$

Kde NPV_N je čistá současná hodnota s nižší úrokovou sazbou (musí vyjít kladně), i_N je nižší úroková sazba, i_V je vyšší úroková sazba, NPV_V je čistá současná hodnota s vyšší úrokovou sazbou (musí vyjít záporně) a VVP je vnitřní výnosové procento.

Při porovnání dvou různých investic se dává přednost investici s vyšší hodnotou VVP . Výhoda této metody je fakt, že k jejímu výpočtu není potřeba odhadovat výši diskontní úrokové míry pro celou dobu životnosti investice. Z toho důvodu bude použita právě tato metoda pro analýzu případových studií uvedených v kapitole 8. [37]

7.2.2.3 Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti je další z metod analýzy investice. Je to často používaný ukazatel hodnocení investic, určující dobu návratnosti investice, s ohledem na diskontní úrokovou míru. Kritérium této metody je takové, že investice bude výnosová, pokud bude doba návratnosti menší než doba životnosti investice. Výpočet je znázorněn v (6). [39]

$$IN = \sum_{t=0}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} \quad (6)$$

Kde T_{sd} je doba návratnosti, CF_t je roční úspora nákladů (nebo roční příjem) v roce t , r je diskontní úroková míra, IN je investiční výdaj a t je určitý rok v době životnosti investice.

Metoda má jednu zásadní nevýhodu. Při výpočtu nijak nezohledňuje finanční toky, které z investice mohou plynout po dosažení doby návratnosti. [39], [40]

8 Případové studie a jejich hodnocení

V této práci bude na definované případové studii provedeno ekonomické srovnání dvou instalací fotovoltaické elektrárny, přičemž jedna varianta instalace bude navíc obsahovat bateriové uložení. Srovnání bude provedeno pomocí metody VVP z kapitoly 7.2.2.2.

Pro ekonomické hodnocení obou variant případové studie je nezbytné stanovit peněžní toky plynoucí z investic v podobě úspory peněz za elektrickou energii.

Je proto třeba provést výpočet energetické bilance daného objektu a stanovit cenu elektrické energie. Energetická bilance je v tomto případě množství elektrické energie vyrobené fotovoltaickými panely použité pro napájení spotřebičů nebo baterie a množství energie dodané do distribuční sítě v případě, že produkce FVE převyšuje aktuální spotřebu domácnosti. Energetická bilance se tedy skládá ze spotřebované energie vyrobené přímo z FV panelů, ze spotřebované energie dodané z baterie (pokud je přítomna) a z energie dodané do distribuční sítě.

Pro výpočet energetické bilance je potřeba provést výpočet produkce elektrické energie fotovoltaických panelů a je rovněž nezbytné stanovit spotřebu elektrické energie uvažované domácnosti.

Pro výpočet produkce elektrické energie FV panelů je nutné vypočítat odhad energie solárního záření dopadající na osluněnou plochu panelů a teplotu fotovoltaických panelů.

V následujících podkapitolách budou blíže vysvětleny kroky nezbytné pro výpočet ekonomického hodnocení obou variant, případně budou popsána zjednodušení nebo zanedbání vstupních parametrů ovlivňující výslednou výši peněžních toků plynoucích z obou variant investic.

8.1 Popis objektu

Případové studie byly typizovány na rodinný dům se čtyřčlennou domácností se spotřebou určenou v kapitole 8.5. Střecha, na které budou umístěny panely je orientována na jih (azimut 0°) a její úhel sklonu je 35° . Objekt se nachází v obci Hory v blízkosti Karlových Varů v nadmořské výšce 500 metrů.

8.2 Specifikace komponentů případových studií

Komponenty použité v případových studiích byly zvolené na základě porovnání nabídek od 5 společností zabývajících se instalací fotovoltaických systémů do domácností. Vzhledem

k velmi podobným technickým parametrům nabídek, byla zvolena ta nejlevnější od společnosti „Power Plan s.r.o.“.

8.2.1 Fotovoltaické panely

Pro případovou studii byly vybrány panely *Tiger N-pyte 60TR 355-375 watt* v celkovém počtu 18 kusů. Kompletní specifikace jsou uvedeny v Příloze 11. (uvažují se stejné panely pro variantu 1 uvedené v kapitole 8.8 a variantu 2 uvedené v kapitole 8.9)

Tab. 2: Technické specifikace vybraného panelu

Jmenovitý výkon	370 (Wp)
Typ článku	N typ mono krystal
Teplotní součinitel γ	-0,44 %/°C
Rozměry	1692x1028x30 mm
Účinnost	21,25 % (při 25° a 1000 W/m ²)
Meziroční pokles účinnosti	0,40 %
Záruka na výkon	30 let
Záruka na funkčnost	15 let

8.2.2 Střídač

Jako střídač byl vybrán 3fázový model *Sunways STH-8KTL-HT* asymetrický hybridní. Kompletní specifikace jsou uvedeny v Příloze 9. (uvažuje se stejný střídač pro variantu 1 uvedené v kapitole 8.8 a variantu 2 uvedené v kapitole 8.9)

Tab. 3: Technické parametry pro vybraný střídač

Max. DC výkon	12,8 kW
Max. účinnost	98 %
Jmenovité DC napětí	620 V
Jmenovitá frekvence	50/60 Hz
Max. AC výkon	8 kW
Evropská účinnost	97,40 %

8.2.3 Baterie

Vybrána byla baterie *Pylontech H2-Force* (3,55 článek) s kapacitou 10,65 kW. Kompletní specifikace jsou uvedeny v Příloze 10. (baterie se uvažuje pouze pro variantu 2 uvedenou v kapitole 8.9)

Tab. 4: Technické parametry pro vybranou baterii

Kapacita	10,65 kWh
Využitelná kapacita	9,59 kWh
Technologie článku	LiFePO ₄
Záruka	10 let
Účinnost jednoho cyklu	92 %
Hloubka vybití	90 %
Životnost při stanovené hloubce vybití	15 let +

8.2.4 Shrnutí parametrů vybraných komponentů ovlivňujících výsledný výpočet ekonomické analýzy

Celková životnost instalace je stanovena na 25 let. Taková je totiž očekávaná životnost jednotlivých komponentů fotovoltaického systému. Maximální výkon panelů je roven hodnotě 6,66 kWp, velikost byla zvolena na základě doporučení technika společnosti „Power Plan s.r.o.“. Referenční účinnost panelů je 21,5 % a teplotní součinitel γ je roven 0,44 %/°C. Degradace výkonu FV panelů se uvažuje s meziročním poklesem o 0,4 % (tyto parametry uvádí výrobce). Za předpokladu, že je baterie přítomna je její maximální využitelná kapacita 9,59 kWh a meziročně se snižuje o 1 %, účinnost jednoho cyklu je potom 92 % (tyto parametry uvádí výrobce baterie). Uvažuje se maximální účinnost střídače udávanou výrobcem (98 %).

8.3 Množství energie slunečního záření dopadající na FV panely

Jak bylo řečeno v kapitole 1.1, intenzita slunečního záření dopadající na osluněnou plochu je složeno z difuzní a přímé složky. Celková intenzita záření (W/m^2) je vypočítána vztahem (7). [3]

$$I = I_P + I_D \quad (7)$$

Kde I_P je intenzita přímého záření na obecně položenou plochu (W/m^2) a I_D je intenzita difuzního záření, které vznikne při rozptylu od částic v atmosféře (W/m^2).

Intenzita přímého záření na obecně osluněnou plochu je dána vztahem (8).

$$I_P = I_{Pn} \cdot \cos \gamma \quad (8)$$

Kde I_{Pn} je intenzita přímého záření dopadající na plochu kolmou ke směru paprsků (W/m^2), γ je úhel dopadu paprsků na obecně položenou plochu ($^\circ$), výpočet je dán vztahem (9).

$$\cos \gamma = \sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s) \quad (9)$$

Kde h je výška slunce nad obzorem (m) (viz Příloha 1). a je azimut slunce ($^\circ$) (viz Příloha 2). a_s je azimut osluněné plochy ($^\circ$), který byl určen v kapitole 8.1 a α je úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné plochy ($^\circ$), jehož hodnota byla určena v kapitole 8.1.

Intenzita přímého záření dopadající na kolmou plochu (W/m^2) je potom vypočítána vztahem (10).

$$I_{Pn} = I_0 \cdot \exp \frac{Z}{\varepsilon} \quad (10)$$

Kde I_0 je solární konstanta, jejíž hodnota je rovna $1360 \text{ (W}/\text{m}^2)$. Z je součinitel znečištění, který závisí na konkrétní lokalitě, pro venkov bez průmyslových exhalací je roven 3, pro města s průmyslovými exhalacemi je roven 4. Pro potřeby této práce zvolen průměr $Z=3,5$ (-). ε je potom součinitel závislosti výšky slunce nad obzorem a nadmořské výšce daného místa (-), viz vztah (11).

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin h + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (11)$$

Kde H je nadmořská výška daného místa (m). Hodnota byla určena v kapitole 8.1.

Pro výpočet difuzního záření (kWh/m^2) je použit vztah (12).

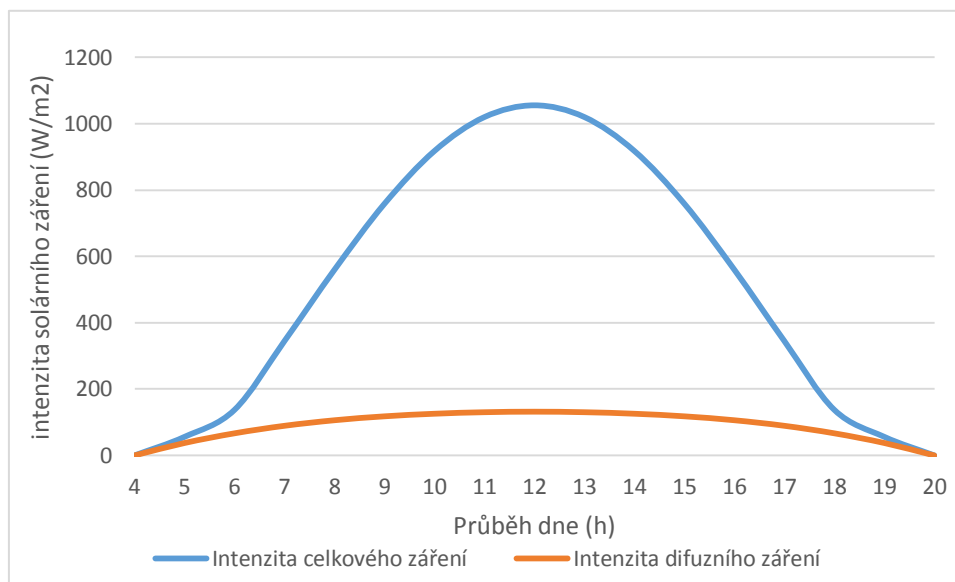
$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad (12)$$

Kde I_{Dh} je intenzita difuzního záření na vodorovnou plochu (kWh/m^2), viz vztah (14). r je reflexní schopnost okolních ploch a je rovna 0,2 (-). I_{Ph} je potom intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu, viz vztah (13).

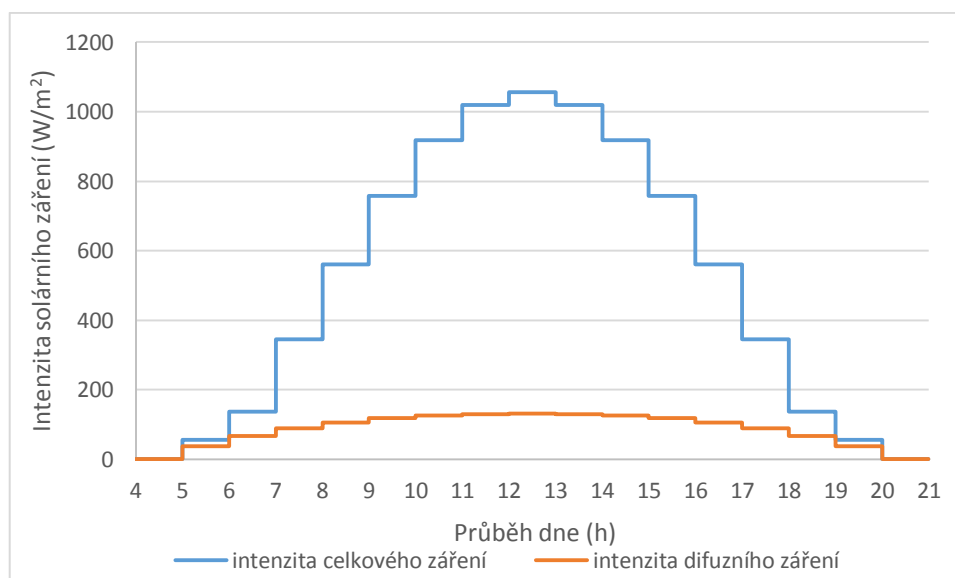
$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin h \quad (13)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin h \quad (14)$$

Průběh intenzity celkového záření a její difuzní složky pro charakteristický den jednoho měsíce je znázorněn na Obr. 24. Pro potřeby této práce je uvažována diskretizace celkové intenzity záření a její difuzní složky do jednotlivých hodin dne. Jemnější model (například minutový) nijak zásadně nezvyšuje přesnost výpočtu bilance a pro potřeby této práce tak postačuje hodinový model. Diskretizovaný model je znázorněn na Obr. 25. [50]



Obr. 24: Příklad průběhu intenzity celkového a difuzního slunečního záření během dne měsíce června



Obr. 25: Příklad diskretizovaného průběhu intenzity celkového a difuzního slunečního záření během dne měsíce června

Množství energie dopadající na osluněnou plochu (Wh/m^2) je úměrné obsahu plochy pod křivkou intenzity slunečního záření. Teoretické množství energie na osluněnou plochu však

dopadá pouze ve dnech, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou, teoreticky možnou, dobu solárního dne během jednoho kalendářního dne v závislosti na ročním období. Při zatažené obloze působí na osluněnou plochu pouze difuzní složka záření, při jasné obloze působí součet přímého a difuzního záření.

Skutečné množství dopadající energie pro konkrétní hodinu (Wh/m^2) je pak dáno vztahem (15).

$$Q_s = \tau \cdot I_h + (1 - \tau) \cdot I_{D,h} \quad (15)$$

Kde I_h je celková intenzita slunečního záření pro konkrétní hodinu charakteristického dne určitého měsíce (W/m^2), $I_{D,h}$ je intenzita difuzního slunečního záření pro konkrétní hodinu charakteristického dne určitého měsíce (W/m^2) a τ je poměr mezi skutečnou a teoretickou denní dobou slunečního svitu charakteristického dne určitého měsíce (-) (viz Příloha 4). [3]

8.4 Výroba FV panelů

Velikost produkce elektrické energie fotovoltaickými panely lze stanovit například pomocí výpočtu vycházející z tzv. měsíční bilanční metody, která se dá upravit pro denní model. Tato metoda umožňuje do výpočtu zahrnout vnější vlivy jako je závislost účinnosti fotovoltaického panelu na jeho teplotě. [42]

Při nárůstu teploty FV panelů klesá jejich účinnost přeměny energie slunečního záření na energii elektrickou. Tuto teplotně závislou účinnost je možné vyjádřit vztahem (16).

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV} - t_{ref}) \right) \quad (16)$$

Kde η_{ref} je referenční účinnost (%) při normovaných zkušebních podmínkách (viz kapitola 8.2.4). t_{FV} je teplota fotovoltaického panelu ($^{\circ}\text{C}$) (viz Příloha 6). t_{ref} je referenční teplota panelu rovna 25°C , γ je teplotní součinitel výkonu (%/K), který lze najít v katalogovém listu konkrétního panelu, jeho hodnota byla určena v kapitole 8.2.4.

Teplota fotovoltaického panelu závisí na několika faktorech jako je rychlost větru, způsob větrání panelu nebo na teplotě okolního vzduchu. Pro výpočet odhadu teploty FV článku ($^{\circ}\text{C}$) byl použit vztah (17).

$$t_{FV} = t_v + k \cdot Q_s \quad (17)$$

Kde t_v je teplota okolního vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) (viz Příloha 5). k je teplotní koeficient, jeho hodnota závisí na typu FV panelu, způsobu větrání namontovaných panelů a rychlosti větru, pohybuje se mezi hodnotami $0,02-0,05 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, pro účely této práce je roven hodnotě

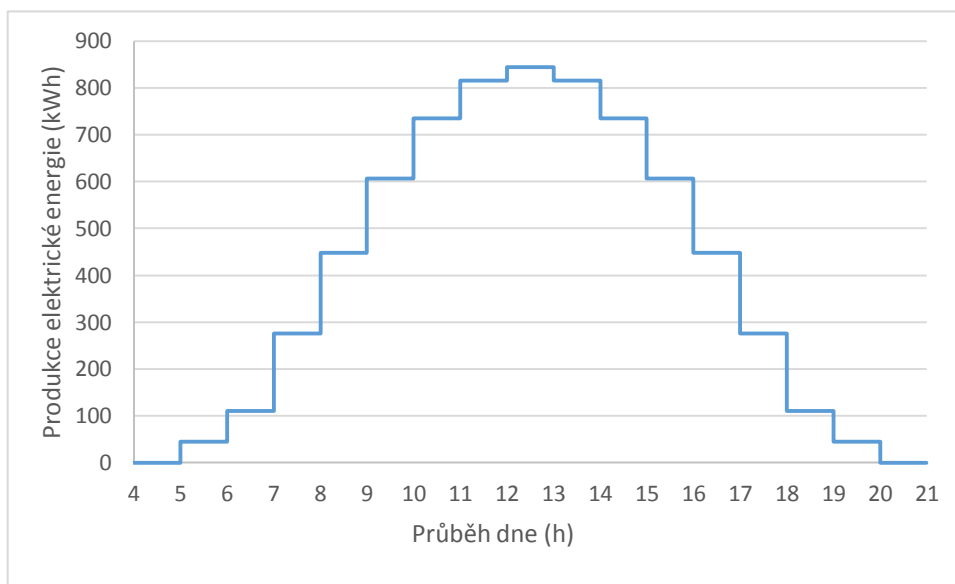
$0,035 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$. Q_s je potom skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu (kWh/m^2).

Konečný vzorec pro výpočet produkce elektrické energie FV panelů (kWh) s přihlídnutím na měnící se účinnost vlivem jejich teploty v hodinových intervalech je potom dán vztahem (18).

$$E_{FV} = 0,9 \cdot \frac{P_{pk}}{G_{ref}} \cdot Q_s \cdot \frac{\eta_{FV}}{\eta_{ref}} \quad (18)$$

Kde Q_s je skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu (kWh/m^2), P_{pk} je špičkový výkon instalovaných modulů (kWp), jeho hodnota byla stanovena v kapitole **8.2.4**. η_{FV} je reálná účinnost modulů (%), η_{ref} je referenční účinnost modulů (%), stanovená v kapitole **8.2.4** a G_{ref} je referenční sluneční ozáření rovné $1\text{kW}/\text{m}^2$. [42]

Je třeba poznamenat, že špičkový výkon FV panelů, klesá s jejich rostoucím věkem v provozu. Při výpočtu produkce elektrické energie je tak potřeba počítat s touto postupnou meziroční degradací výkonu FV panelů, jejíž hodnota byla stanovena v kapitole **8.2.4**. [42]



Obr. 26: Příklad diskretizovaného průběhu produkce elektrické energie FV panelů během dne měsíce června

8.5 Spotřeba energie domácnosti

Spotřeba elektrické energie se liší v závislosti na denní době, ročním období nebo na konkrétním dni v týdnu. Pro potřeby této práce byl odhad spotřeby diskretizován na hodinové intervaly (spotřeba je tedy v danou hodinu konstantní a mění se skokově z hodiny na hodinu) a byl rozdělen do 4 kategorií v závislosti na ročním období a s rozlišením

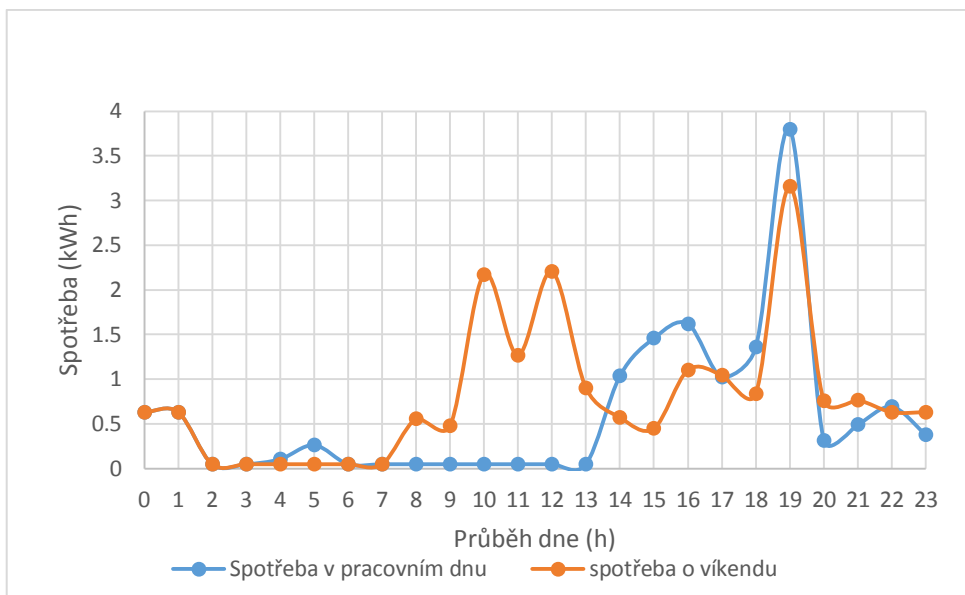
pracovních dnů a víkendů. Celková spotřeba elektrické energie byla určena na základě statistiky vytvořené dle pozorování používání jednotlivých spotřebičů v domácnosti, přičemž byl rovněž vyhodnocen a do přehledových tabulek zaznamenán konkrétní časový úsek nejčastějšího použití každého ze sledovaných spotřebičů v průběhu dne. V domě se pro ohřev vody a vytápění používá plynový kondenzační kotel. Hodnoty spotřeby jsou uvedeny v Tab. 5 a Tab. 6 a znázorněny jsou na Obr. 27 a Obr. 28. Diskretizovaný odhad spotřeby je potom uveden v Příloze 8.

Tab. 5: Využití spotřebičů v letních měsících

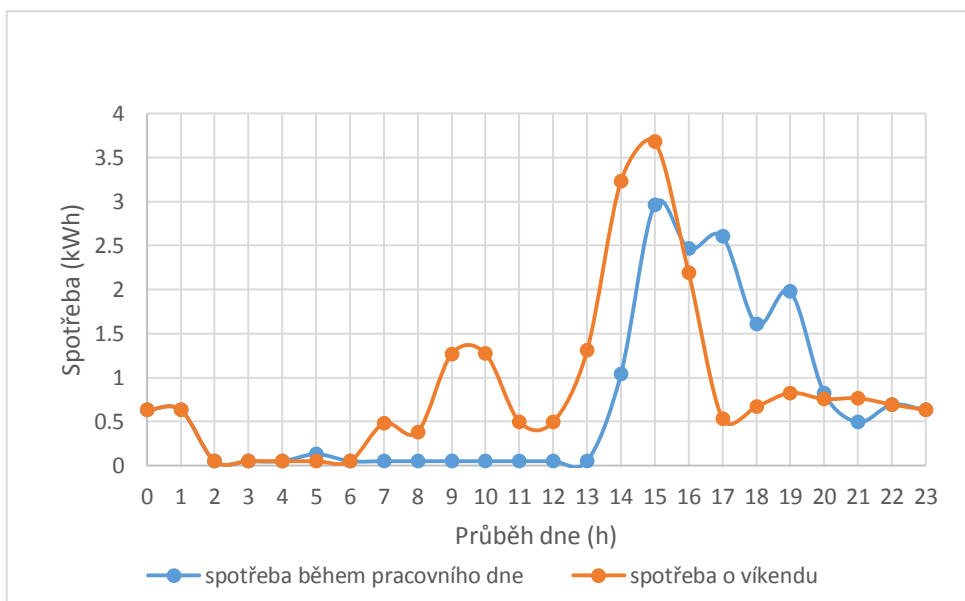
Využití energie v období Březen až září					
Spotřebič	Výkon spotřebičů	Doba využití během týdne	Čas využití v průběhu dne	Doba využití o víkendu	Čas využití v průběhu dne
LED televize 55" 2x	0,332 kWh	5 h.	17:00-2:00	12 h.	8:00-15:00 17:00-2:00
Chladnička s mrazničkou A++	0,045 kWh	24 h.	0:00-24:00	24 h.	0:00-24:00
Myčka A++	0,9 kWh/cyklus	3 h.	16:00-19:00	3 h.	10:00-13:00
Pračka přetí plnění A++	0,85 kWh/cyklus	3 h.	16:00-19:00	3 h.	11:00-14:00
Varná konvice	0,110kWh	0,1 h.	6:00-6:05	0,2 h.	8:00-8:05
Mikrovlonná trouba	0,063 kWh/5 minut	0,1 h.	6:00-6:05	0,25 h.	8:00-8:05 18:00-18:10
Elektrická trouba	0,830 kWh	2 h.	15:00-17:00	2 h.	10:00-12:00
Varná deska sklokeramická	0,160 kWh	1 h.	15:00-16:00	1 h.	16:00-17:00
Vysavač	1,320 kWh	0,25 h.	18:45-19:00	0,5 h.	17:30-18:00
Nabíječka smartphonu (4x)	0,0104 kWh	1 h.	22:00-23:00	1 h.	22:00-23:00
Notebook (3x)	0,06 kWh	4 h.	19:00-23:00	7 h.	12:00-14:00 19:00-23:00
Žárovka 3,8 W (10x)	0,0038 kWh	4,5 h.	6:00-6:30 19:00-23:00	4,5 h.	8:00-8:30 19:00-23:00
Wi-fi router	0,004 kWh	24 h.	0:00-24:00	24 h.	0:00-24:00
Fén	1,32 kWh	0,25 h.	19:15-19:30	0,25 h.	19:15-19:30
Žehlička	0,240 kWh	0,25 h.	20:00-20:15	1 h.	16:00-17:00
Topinkovač	0,039 kW	0,1 h.	6:05-6:10	0,25 h.	9:00-9:15
PC	0,06 kWh	4 h.	19:00-23:00	7 h.	9:00-12:00 17:00-22:00
LCD monitor 17"	0,06 kWh	4 h.	19:00-23:00	7 h.	9:00-12:00 17:00-22:00
Sušička A++	1,045 kWh/cyklus	2 h.	19:00-21:00	2 h.	14:00-16:00
Elektrický gril	2,4 kWh	1 h.	19:00-20:00	1 h.	19:00-20:00
Herní konzole	0,25 kWh	4 h.	19:00-2:00	4 h.	19:00-2:00

Tab. 6: Využití spotřebičů v zimních měsících.

Využití energie v období říjen až únor					
Spotřebič	výkon spotřebičů	Doba využití během týdne	Délka provozu	Doba využití o víkendu	Délka provozu
LED televize 55" 2x	0,332 kWh	6 h.	16:00-2:00	12 h.	8:00-16:00 19:00-2:00
Chladnička s mrazničkou A++	0,045 kWh	24 h.	0:00-24:00	24 h.	0:00-24:00
Myčka A++	0,9 kWh/cyklus	3 h.	16:00-19:00	3 h.	15:00-18:00
Pračka přetížení plnění A++	0,85 kWh/cyklus	3 h.	16:00-19:00	3 h.	14:00-18:00
Varná konvice	0,110 kWh	0,25 h.	6:00-6:10 18:00-18:05	0,5 h.	8:00-8:15 19:00-19:15
Mikrovlákná trouba	0,063 kWh/5 minut	0,25 h.	6:00-6:10 18:00-18:05	0,5 h.	8:00-8:15 19:00-19:15
Elektrická trouba	0,830 kWh	2 h.	15:00-17:00	2 h.	10:00-12:00
Varná deska sklokeramická	0,160 kWh	1,25 h.	6:00-6:15 15:00-16:00	1,25 h.	8:00-8:15 16:00-17:00
Vysavač	1,320 kWh	0,25 h.	17:45-18:00	0,5 h.	16:00-16:30
Nabíječka smartphonu (4x)	0,0104 kWh	2 h.	21:00-23:00	3 h.	20:00-23:00
Notebook (3x)	0,06 kWh	5 h.	18:00-23:00	8 h.	10:00-13:00 16:00-21:00
Žárovka 3,8 W (10x)	0,0038 kWh	7,5 h.	6:00-6:30 16:00-23:00	8,5 h.	8:00-9:00 16:00-23:30
Wi-fi router	0,004 kWh	24 h.	0:00-24:00	24 h.	0:00-24:00
Fén	1,32 kWh	0,25 h.	18:15-18:30	0,25 h.	17:15-17:30
Žehlička	0,240 kWh	0,25 h.	20:00-20:30	0,5 h.	19:00-19:30
Topinkovač	0,039 kW	0,25 h.	6:00-6:15	0,25 h.	8:00-8:15
PC	0,06 kWh	5 h.	18:00-23:00	7 h.	12:00-15:00 19:00-23:00
LCD monitor 17"	0,06 kWh	5 h.	18:00-23:00	7 h.	12:00-15:00 19:00-23:00
Sušička A++	1,045 kWh/cyklus	2 h.	19:00-21:00	2 h.	15:00-17:00
Herní konzole	0,25 kWh	4 h.	19:00-2:00	4 h.	19:00-2:00



Obr. 27: Spotřeba energie pro letní měsíce



Obr. 28: Spotřeba energie pro zimní měsíce

8.6 Cena elektrické energie

Cena elektrické energie se liší v závislosti na dodavateli, distribuční sazbě, tarifu a produktu. Distribuční sazby stanovují cenu za spotřebu elektřiny. Existují jednotarifové nebo dvoutarifové varianty. Jednotarifová distribuční sazba má pevně danou cenu elektřiny. Dvoutarifová nabízí cenu vysokého a nízkého tarifu, v závislosti na denní době. Většina domácností využívá jednotarifovou distribuční sazbu D02d, která je určená pro domácnosti s běžnou spotřebou, které pro ohřev vody a vytápění interiéru domu nevyužívají elektřinu.

V případové studii se bude jako dodavatel elektrické energie uvažovat společnost ČEZ a.s.. Dále se bude uvažovat jednotarifová distribuční sazba D02d produktu „Elektřina pro soláry“. Historické ceny za spotřebovanou elektřinu a ceny za výkup elektrické energie vyrobenou FVE, jsou uvedeny v Tab. 7. Statistika těchto cen není delší z toho důvodu, že produkt „Elektřina pro soláry“ je v nabídce krátce. [44]

Tab. 7: Historické ceny elektrické energie od distributora ČEZ pro produkt „Elektřina pro soláry“ [44]

Datum	Cena vč. DPH (Kč/kWh)	Cena výkupu (Kč/kWh)
01.05.2017	3,352	0,598
01.04.2018	3,533	0,598
01.01.2019	3,999	0,598
01.01.2020	4,328	0,598
01.10.2020	4,147	0,598
01.01.2021	4,452	0,598
01.01.2022	5,403	0,598

Z Tab. 7 lze vyčíst rostoucí trend ceny elektrické energie v závislosti na čase. Lze tak usuzovat, že ceny se budou v budoucnu dále zvyšovat. Odhad cen elektrické energie pro celou dobu životnosti investice lze ale jen těžko předvídat, protože závisí na velkém množství faktorů. České republice se například od roku 2020 do roku 2022 zvýšily ceny energií až o 70 %, s největší pravděpodobností z následujících důvodů: [45]

1. Oživení ekonomiky po krizi způsobené nemocí SARS-CoV-2
2. Růst ceny zemního plynu
3. Růst ceny emisních povolenek
4. Uzavírání uhelných a jaderných elektráren v Německu

Naopak ceny za prodej přetoků do distribuční sítě se nijak nezměnily. V budoucnu se tak neočekává výrazné navýšení těchto cen.

Pro potřeby této práce se tak bude uvažovat konstantní cena elektrické energie, která je stanovena na 5,403 Kč za 1 kWh a odpovídá ceně z roku 2022. Cena výkupu elektrické energie je uvažována rovněž konstantní, tedy 0,598 Kč za 1 kWh.

8.7 Dotace Nová zelená úsporám

Ministerstvo životního prostředí se rozhodlo podporovat investice do fotovoltaických elektráren s bateriovým, nebo bez bateriového uložště za pomoci programu, který se zaměřuje na úspory energie v rodinných domech. Hlavním cílem tohoto programu je zvýšení energetické účinnosti budov a snížení emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek v ovzduší. Program nazvali Nová zelená úsporám. Výše podpory se stanovuje v závislosti na kombinaci parametrů FVE. Maximální částka, kterou lze získat je ale 200 000 Kč a zároveň může dosahovat maximálně poloviny celkových nákladů. Výše dotace pro danou konfiguraci je uvedena v Tab. 8. [46]

Tab. 8: Výše dotace v závislosti na konfiguraci FVS. [45]

Instalované části systému FVE	Výše podpory (Kč)
Minimální instalace o výkonu 2 kWp	40 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s efektivním využitím tepelného čerpadla	100 000
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000
za 1 kWh el. Akumulačního systému s akumulátory na bázi lithia	10 000

8.8 Investiční kapitál varianty 1

Celková cena včetně elektroinstalačního materiálu a kabelů (cca. 50 m celkem) montáže, konstrukce, nastavení systému, dopravy a administrativy byla vyčíslena společností „Power Plan s.r.o.“ na 248 399 Kč vč. DPH 15 %. Výsledná cena po odečtení dotace „Nová zelená úsporám“ (viz kapitola 8.7) byla vyčíslena na 148 399 Kč.

Tab. 9: Výpočet dotace NZÚ

Instalované části systému FVE	Podpora (Kč)	Množství (-)
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000	1
Za 1kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000	4,66
Za 1kWh el. Akumulačního systému s li-ion akumulátory	10 000	0
Celková výše podpory	106 000	-
Maximální výše podpory	200 000	-
Výsledná výše podpory	106 000	-

Výpočet výsledné ceny FV elektrárny:

$$V_c = C_c - NZÚ_D = 248\,899 - 106\,600 = 142\,299 \text{ Kč} \quad (19)$$

Kde V_c je výsledná cena (Kč), C_c je celková cena (Kč), $NZÚ_D$ je dotace „Nová zelená úsporám“ (Kč).

8.9 Investiční kapitál varianty 2

Celková cena včetně elektroinstalačního materiálu a kabelů (cca. 50 m celkem), montáže, konstrukce, nastavení systému, dopravy a administrativy byla vyčíslena společností „Power Plan s.r.o.“ na 414 899 Kč vč. DPH 15 %. Výsledná cena po odečtení dotace „Nová zelená úsporám“ (viz kapitola 8.7) byla vyčíslena na 214 899 Kč.

Tab. 10: Výpočet dotace NZÚ

Instalované části systému FVE	Podpora (Kč)	Množství (-)
Minimální instalace o výkonu 2 kWp s hybridním měničem	60 000	1
Za 1 kWp instalovaného výkonu nad 2 kWp	10 000	4,66
za 1 kWh el. Akumulačního systému s li-ion akumulátory	10 000	10,65
Celková výše podpory	271 600	-
Maximální výše podpory	200 000	-
Výsledná výše podpory	200 000	-

Výpočet výsledné ceny FV elektrárny:

$$V_c = C_c - NZÚ_D = 414\,899 - 200\,000 = 214\,899 \text{ Kč} \quad (20)$$

8.10 Chronologický postup výpočtu ekonomické analýzy obou variant případové studie

1. Výpočet celkové energie slunečního záření dopadající na plochu fotovoltaických panelů při respektování úhlu sklonu panelů, azimutu plochy a nadmořské výšky dané domácnosti v hodinových intervalech pro celý rok dle vztahů uvedených v kapitole **8.3** (výsledná intenzita se uvažuje neměnná po celou dobu životnosti investice).
2. Výpočet teploty fotovoltaických panelů v hodinových intervalech pro celý rok dle vztahu (17) v kapitole **8.4** (výsledné teploty se uvažují neměnné po celou dobu životnosti investice).
3. Výpočet účinnosti fotovoltaických panelů v závislosti na teplotě v hodinových intervalech pro celý rok dle vztahu (16) v kapitole **8.4** (postup se zopakuje pro každý rok s ohledem na meziroční pokles účinnosti o 0,4 %).
4. Výpočet produkce elektrické energie FV panelů v závislosti na velikosti intenzity slunečního ozáření a proměnlivé účinnosti panelů v hodinových intervalech pro celý rok dle vztahu (18) v kapitole **8.4** (postup se zopakuje pro každý rok životnosti investice při uvažování meziroční degradace výkonu panelů o 0,4 %).
5. Odhad spotřeby elektrické energie v domácnosti v hodinových intervalech s ohledem na pracovní nebo víkendový den a roční období uvedený v kapitole **8.5** (spotřeba se uvažuje neměnná po celou dobu životnosti investice).
6. Výpočet bilancí vyprodukované elektrické energie, kde se rozlišuje, zda byla energie použita pro nabití baterie (při nabití baterie se uvažovala navíc účinnost baterie) a běžných spotřebičů (uvažována pouze účinnost střídače) nebo dodaná do distribuční sítě (uvažována pouze účinnost střídače) v hodinových intervalech za celý rok (postup se zopakuje pro každý rok životnosti investice s ohledem na bod 4. a s ohledem na lineární snižování maximální kapacity baterie o 1 % ročně).
7. Stanovení cen elektrické energie. (viz kapitola **8.6**)
8. Výpočet peněžních toků podle vztahu (21) (postup se zopakuje pro každý rok životnosti investice ohledem na bod 6.).
9. Výpočet vnitřního výnosového procenta (VVP) investice dle vztahu (5).

8.11 Návrh výpočtu peněžních toků

$$CF_t = E_{D,t} \cdot C_{P,t} + (E_{S,t} - E_{b,t}) \cdot C_{S,t} \quad (21)$$

Kde $E_{D,t}$ je elektrická energie z FV panelů dodaná do sítě (kWh), $E_{S,t}$ je elektrická energie odebraná ze sítě (kWh), $E_{b,t}$ je energie odebraná ze sítě se zapojenými panely (případně s bateriovým úložištěm), $C_{P,t}$ je cena za výkup přetoků do distribuční sítě (Kč/kWh), $C_{S,t}$ je cena elektrické energie (Kč/kWh) a CF_t je peněžní tok v určitém roku životnosti investice (Kč).

9 Výsledky

9.1 Výsledný odhad množství solární energie dopadajícího na panely

V Tab.11 jsou zobrazeny výsledky výpočtu skutečného množství energie dopadající na osluněnou plochu v hodinových intervalech dle vztahu (15).

Tab. 11: Odhad skutečného množství energie dopadající na osluněnou plochu Q_s (Wh/m²) v hodinových intervalech pro charakteristický den určitého měsíce s ohledem na měnící se délku solárního dne

Hodina/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0	0	0	0	58	66	62	0	0	0	0	0
6	0	0	0	48	82	94	84	52	0	0	0	0
7	0	0	95	140	176	187	185	167	100	0	0	0
8	0	88	190	232	271	279	289	285	202	132	0	0
9	92	147	277	314	358	362	384	393	295	219	95	60
10	131	190	347	379	426	428	458	479	370	287	135	93
11	155	217	390	421	469	470	505	535	417	331	160	112
12	163	227	406	435	484	484	521	554	434	346	168	119
13	155	217	390	421	469	470	505	535	417	331	160	112
14	132	189	347	379	426	428	458	479	370	207	136	93
15	92	146	277	314	358	362	384	393	295	218	95	60
16	0	67	190	232	271	279	289	285	202	67	0	0
17	0	0	95	140	176	187	185	167	100	0	0	0
18	0	0	0	47	82	94	84	51	0	0	0	0
19	0	0	0	0	58	66	62	0	0	0	0	0

9.2 Výsledný odhad produkce elektrické energie

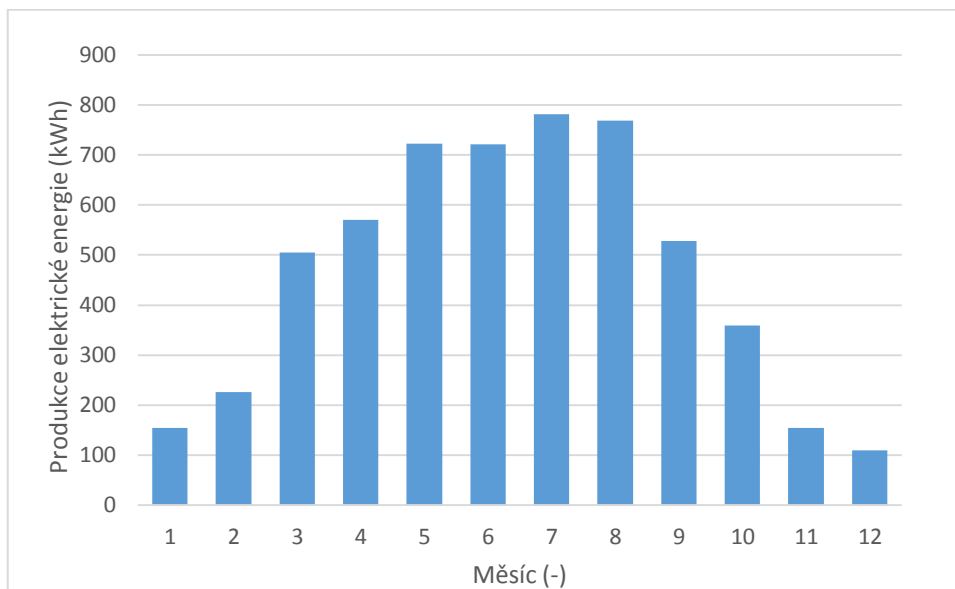
V Tab. 12 jsou zobrazeny výsledky výpočtu produkce elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou s ohledem na její měnící se účinnost vlivem změny teploty panelů v hodinových intervalech pro první rok životnosti FV panelů.

Tab. 12: Odhad produkce elektrické energie FVE s ohledem na jejich měnící se účinnost vlivem teploty panelů (kWh) v hodinových intervalech pro charakteristické dny jednotlivých měsíců pro první rok životnosti investice

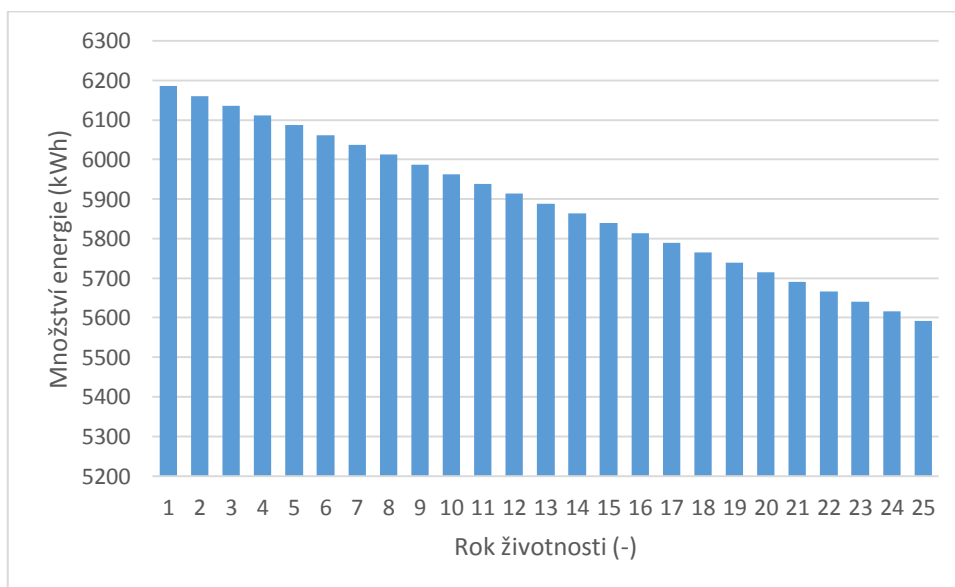
Hodina/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,40	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,29	0,49	0,56	0,50	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,57	0,84	1,05	1,12	1,11	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,53	1,14	1,39	1,63	1,71	1,75	1,72	1,21	0,79	0,00	0,00
9	0,55	0,88	1,66	1,88	2,20	2,25	2,37	2,43	1,77	1,32	0,57	0,36
10	0,79	1,14	2,08	2,27	2,67	2,70	2,88	3,01	2,24	1,72	0,81	0,55
11	0,93	1,30	2,34	2,53	2,95	2,99	3,21	3,41	2,56	1,98	0,96	0,67
12	0,98	1,36	2,43	2,63	3,05	3,09	3,34	3,55	2,68	2,07	1,01	0,71
13	0,93	1,30	2,34	2,55	2,96	2,99	3,23	3,43	2,57	1,98	0,96	0,67
14	0,79	1,14	2,08	2,28	2,67	2,71	2,91	3,06	2,27	1,24	0,81	0,55
15	0,55	0,87	1,66	1,88	2,22	2,26	2,41	2,47	1,79	1,31	0,57	0,36
16	0,00	0,40	1,14	1,39	1,65	1,72	1,79	1,76	1,21	0,40	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,57	0,84	1,05	1,13	1,12	1,01	0,60	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,28	0,49	0,56	0,50	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,40	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Energie slunečního záření a výsledná produkce elektrické energie fotovoltaických panelů v hodinových intervalech se uvažuje stejná pro každý den konkrétního měsíce.

Na Obr. 29 je zobrazena produkce elektrické energie jednotlivých měsíců pro první rok životnosti investice. Na Obr. 30 je potom znázorněn pokles roční produkce elektrické energie pro celou dobu životnosti projektu s ohledem na postupnou degradaci špičkového výkonu FV panelů o 0,4 % ročně.



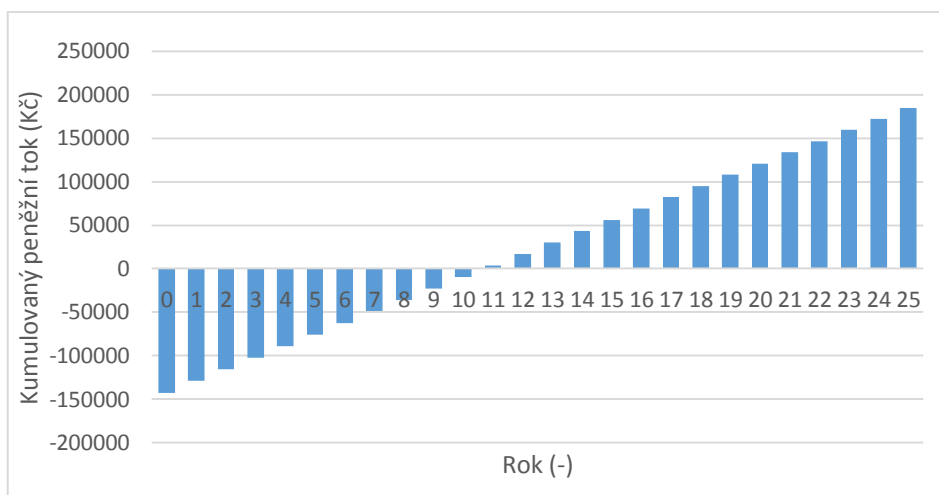
Obr. 29: Odhad měsíční produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem pro první rok životnosti investice



Obr. 30: Odhad roční produkce elektrické energie s přihlédnutím na klesající účinnost FV panelů

9.3 Výsledky ekonomické analýzy varianty 1

Na Obr. 31 je zobrazen průběh kumulovaného peněžního toku v průběhu životnosti instalace.

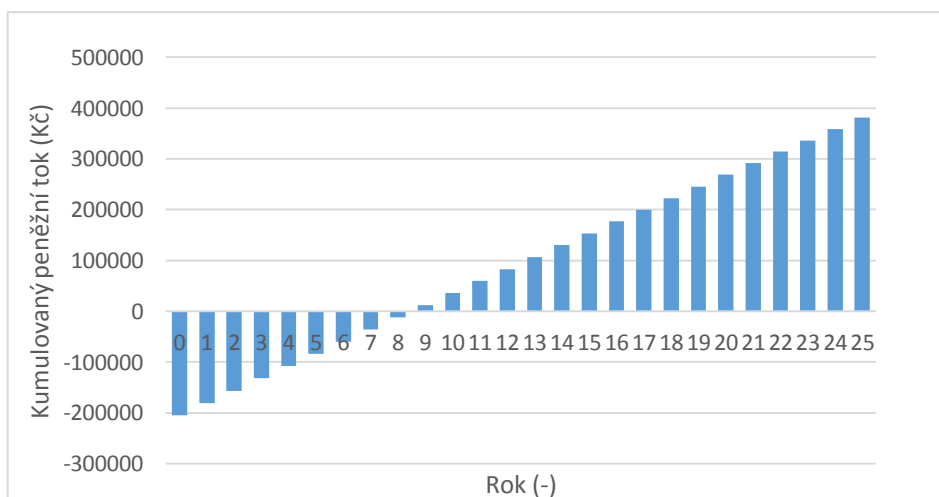


Obr. 31: Vývoj kumulovaného peněžního toku pro investici bez bateriového úložiště

Vnitřní výnosové procento bylo vypočteno dle vztahu (5) a jeho výsledná hodnota pro stanovené parametry vyšla 7,770 %. Energetické bilance a výše peněžních toků v jednotlivých letech životnosti investice jsou potom uvedeny v Příloze 13 a Příloze 14.

9.4 Výsledky ekonomické analýzy varianty 2

Na Obr. 32 je zobrazen průběh kumulovaného peněžního toku v průběhu životnosti instalace.



Obr. 32: Vývoj kumulovaného peněžního toku pro investici s bateriovým úložištěm

Vnitřní výnosové procento bylo vypočteno dle vztahu (5) a jeho výsledná hodnota pro stanovené parametry vyšla 10,730 %. Energetické bilance a výše peněžních toků v jednotlivých letech životnosti investice jsou potom uvedeny v Příloze 15 a Příloze 16.

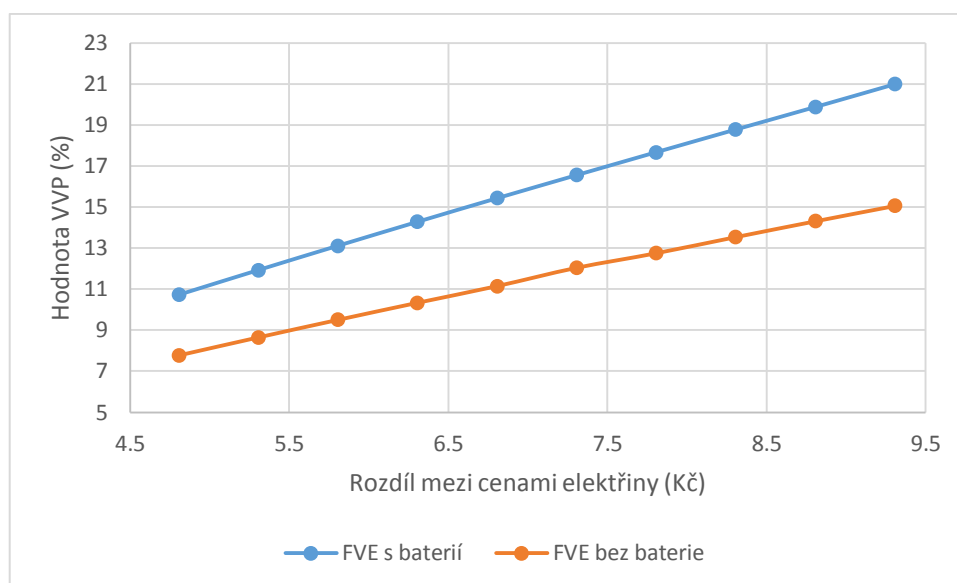
9.5 Výsledné srovnání obou variant

Při porovnání výsledných hodnot vnitřního výnosového procenta pro obě investice je patrné, že investice do fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm je z čistě finančního hlediska nepatrně výhodnější, a to konkrétně o 2,960 % při ceně za nákup elektrické energie 5,403 Kč/kWh a ceně za prodej přetoků 0,598 Kč/kWh. Tento výsledek je platný pouze pro konstantní rozdíl mezi cenami za prodej přetoků a nákupu elektrické energie (dále už jen „rozdíl mezi cenami elektřiny“) 4,805 Kč po celou dobu životnosti investice. Existuje ovšem velká pravděpodobnost, že v průběhu následujících let se budou ceny elektřiny měnit (růst). Z toho důvodu byla vypracována citlivostní analýza, což je proces, kterým se zkoumají nejisté předpoklady investice a jejich vliv na výsledné ukazatele. Nejistým vstupním parametrem jsou v tomto případě ceny elektřiny. Pro účely této citlivostní analýzy se bude rozdíl mezi cenami elektřiny zvyšovat o hodnotu 1 Kč, přičemž cena za prodej přetoků zůstane konstantní. V následující tabulce jsou uvedeny výsledné hodnoty VVP pro obě investice s odpovídajícími rozdíly mezi cenami elektřiny, uvažované jako konstantní po celou dobu životnosti projektu.

Tab. 13: Vliv rozdílu mezi cenami elektřiny na vnitřní výnosové procento VVP

Cena za nákup (Kč)	5,403	5,903	6,403	6,903	7,403
Cena za prodej přetoků (Kč)	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
Rozdíl mezi cenami elektřiny (Kč)	4,805	5,305	5,805	6,305	6,805
VVP pro případ 1 (%)	7,77	8,649	9,504	10,337	11,15
VVP pro případ 2 (%)	10,73	11,934	13,120	14,287	15,437
Cena za nákup (Kč)	7,903	8,403	8,903	9,403	9,903
Cena za prodej přetoků (Kč)	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598
Rozdíl mezi cenami elektřiny (Kč)	7,305	7,805	8,305	8,805	9,305
VVP pro případ 1 (%)	12,042	12,753	13,539	14,31	15,058
VVP pro případ 2 (%)	16,564	17,681	18,788	19,886	20,998

Při pohledu na výsledky uvedené v Tab. 13 je patrné, že s narůstajícím rozdílem mezi cenami elektrické energie o 1 Kč/kWh roste také rozdíl mezi VVP obou investic ve prospěch investice s bateriovým úložištěm. Z toho vyplývá, že investice do fotovoltaické elektrárny s bateriovým úložištěm je tím výhodnější, čím je vyšší rozdíl mezi cenami elektrické energie. Hodnoty z předchozí tabulky jsou graficky vyobrazeny na Obr. 33.



Obr. 33: Závislost hodnoty VVP na rozdílu mezi cenami elektřiny

Při výpočtech bylo rovněž zjištěno, že výše VVP u instalace s baterií je silně ovlivněna spotřebou domácnosti. Pokud spotřeba domácnosti nevyužívá plný potenciál kapacity baterie, hodnota VVP razantně klesá.

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala vytvořením postupu ekonomické analýzy integrace bateriového úložiště u domácích fotovoltaických instalací. Nejprve byly vysvětleny základní pojmy nutné pro pochopení principu funkce fotovoltaických systémů. Toho se docílilo vysvětlením pojmů solárního záření a intenzity solárního záření, dále bylo provedeno shrnutí fyzikálních vlastností a principů polovodivých materiálů, ze kterých jsou vyráběny fotovoltaické panely. Následně byla provedena rešerše technologií bateriových článků, které se používají nebo mají potenciál pro použití ve spolupráci s fotovoltaickými systémy. Poté byly představeny metody ekonomické analýzy investičních projektů jako je čistá současná hodnota, diskontovaná doba návratnosti nebo vnitřní výnosové procento.

Pro hodnocení instalace byla vybrána metoda vnitřního výnosového procenta, která umožňuje srovnávat výnosnost investice s dalšími projekty. Aby bylo možné provést ekonomické hodnocení instalace s bateriovým úložištěm, bylo zapotřebí určit parametry ovlivňující výši peněžních toků plynoucí z této investice. Výše peněžních toků závisela na energetické bilanci daného objektu. Pro výpočet energetické bilance byl proveden výpočet produkce elektrické energie pomocí fotovoltaických panelů s ohledem na vnější vlivy jako je postupná degradace jejich výkonu s časem, nebo kolísání účinnosti vlivem změny teploty panelů v průběhu roku, rovněž byla stanovena spotřeba elektrické energie domácnosti. Pro výpočet produkce elektrické energie byl vypočten odhad energie solárního záření dopadající na osluněnou plochu fotovoltaických panelů s ohledem na úhel sklonu a orientaci panelů a s ohledem na lokalitu domácnosti. Dále se stanovila cena za spotřebu elektrické energie a cena za prodej přetoků do distribuční sítě. Nakonec byly na definované případové studii provedena hodnocení instalace bez baterie a s integrovanou baterií, přičemž byly srovnány a vyhodnoceny výsledky ekonomické analýzy obou variant.

Z výsledného srovnání obou variant případové studie vyšla hodnota VPP instalace s bateriovým úložištěm 10,730 % a pro instalaci bez baterie 7,770 %. Z výsledků je tedy možné tvrdit, že investice do baterie (při stanovených parametrech) vyváží potenciální výdaje z nákupu elektřiny za cenu vyšší, než jsou dodávky do sítě ze systému s produkcí elektřiny převyšující aktuální spotřebu domácnosti. Na rentabilitu investice s bateriovým úložištěm měla velký vliv zejména cena elektrické energie. Byla proto vypracována citlivostní analýza, která se na tento parametr zaměřovala. Výsledky byly zobrazeny do grafu uvedeného v kapitole 9.5, ze kterého je vidět narůstající rozdíl hodnot VPP obou investic

v závislosti na zvyšující se ceně za spotřebu elektrické energie ve prospěch investice s bateriových úložištěm. Dalším klíčovým faktorem pro dosažení vyššího VVP u instalace s baterií bylo správné dimenzování baterie dle spotřeby domácnosti pro využití jejího plného potenciálu.

Je potřebné dodat, že práce nabízí prostor pro zpřesnění výsledků vstupních parametrů. Mohlo by se kupříkladu provést přesnější určení spotřeby domácnosti, případně by šel zpřesnit odhad skutečné energie dopadající na osluněnou plochu, pokud by byla k dispozici data o oblačnosti v místě objektu v hodinových intervalech alespoň pro celý jeden rok.

Seznam obrázků

Obr. 1: Světelné spektrum [2]	14
Obr. 2: Závislost přímého a difuzního záření v jednotlivých měsících [4]	15
Obr. 3 pásová struktura pevných látek [7]	16
Obr. 4: Krystalická mřížka polovodiče typu N [8]	17
Obr. 5 Krystalická mřížka polovodiče typu P [8]	18
Obr. 6: Vznik vyčerpané oblasti v rovnovážném stavu (upraveno) [10]	19
Obr. 7: Princip vnějšího fotoelektrického jevu [11]	20
Obr. 8: Využití energie v solárním článku [1]	21
Obr. 9: Přeměna energie v krystalickém článku [1]	22
Obr. 10: Druhy monokrystalických článků [1]	22
Obr. 11: Druhy polykrystalických článků [1]	23
Obr. 12: tenkovrstvý fotovoltaický panel [46]	24
Obr. 13: konstrukce fotovoltaického panelu [13]	25
Obr. 14: Zobrazení azimutového a zenitového úhlu (upraveno) [15]	26
Obr. 15: Obecné schéma zapojení FVE s baterií [16]	27
Obr. 16: Obecný princip baterie (Upraveno) [18]	29
Obr. 17: princip lithium-iontové baterie (upraveno) [21]	31
Obr. 18: Princip funkce baterií v zapojení s fotovoltaickými panely pro domácnost (Upraveno) [29]	34
Obr. 19: AC-coupled systém fungování (Upraveno) [30]	35
Obr. 20: DC coupled systém fungování (Upraveno) [30]	35
Obr. 21: Schéma On-grid fotovoltaického systému (upraveno) [32]	36
Obr. 22: Schéma Off-grid fotovoltaického systému (upraveno) [32]	36
Obr. 23: Schéma hybridního zapojení fotovoltaického systému (upraveno) [32]	37

Obr. 24: Příklad průběhu intenzity celkového a difuzního slunečního záření během dne měsíce června	45
Obr. 25: Příklad diskretizovaného průběhu intenzity celkového a difuzního slunečního záření během dne měsíce června	45
Obr. 26: Příklad diskretizovaného průběhu produkce elektrické energie FV panelů během dne měsíce června	47
Obr. 27: Spotřeba energie pro letní měsíce	51
Obr. 28: Spotřeba energie pro zimní měsíce	51
Obr. 29: Odhad měsíční produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem pro první rok životnosti investice	59
Obr. 30: Odhad roční produkce elektrické energie s přihlédnutím na klesající účinnost FV panelů	59
Obr. 31: Vývoj kumulovaného peněžního toku pro investici bez bateriového úložiště	60
Obr. 32: Vývoj kumulovaného peněžního toku pro investici s bateriovým úložištěm.....	60
Obr. 33: Závislost hodnoty VVP na rozdílu mezi cenami elektřiny.....	62

Seznam tabulek

Tab. 1: Srovnání technických parametrů různých technologií bateriových článků. [25], [26], [27].....	32
Tab. 2: Technické specifikace vybraného panelu.....	42
Tab. 3: Technické parametry pro vybraný střádač.....	42
Tab. 4: Technické parametry pro vybranou baterii.....	43
Tab. 5: Využití spotřebičů v letních měsících.....	49
Tab. 6: Využití spotřebičů v zimních měsících.....	50
Tab. 7: Historické ceny elektrické energie od distributora ČEZ pro produkt „Elektrina pro soláry“ [44].....	52
Tab. 8: Výše dotace v závislosti na konfiguraci FVS. [45].....	53
Tab. 9: Výpočet dotace NZÚ.....	54
Tab. 10: Výpočet dotace NZÚ.....	54
Tab. 11: Odhad skutečného množství energie dopadající na osluněnou plochu Q_s (Wh/m ²) v hodinových intervalech pro charakteristický den určitého měsíce s ohledem na měnící se délku solárního dne.....	57
Tab. 12: Odhad produkce elektrické energie FVE s ohledem na jejich měnící se účinnost vlivem teploty panelů (kWh) v hodinových intervalech pro charakteristické dny jednotlivých měsíců pro první rok životnosti investice.....	58
Tab. 13: Vliv rozdílu mezi cenami elektřiny na vnitřní výnosové procento VVP.....	61

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Haselhuhn, Ralf. *Fotovoltaika - budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [2] Chmel Ing., Ladislav a Hamerník Ing., Ivo. *Fotovoltaika, fototermika: Fotovoltaika* [online]. Code Creator, distribuce Publi.cz, 2016 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/01.html>
- [3] Cihelka, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN: 80-900759-5-9.
- [4] Chmel Ing., Ladislav a Hamerník Ing., Ivo. *Fotovoltaika, fototermika: Aplikace solárních fotovoltaických systémů* [online]. Code Creator, distribuce Publi.cz, 2016 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/91/06.html>
- [5] Polovodič. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polovodi%C4%8D>
- [6] Řezňák, Lukáš. *Elektron v krystalu: Základy pásové teorie* [online]. 2000 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <http://www.trunky.cz/bp/fypolo/4.htm>
- [7] Vojtěch, D. *Fyzikální vlastnosti kovových materiálů* [online]. Vydavatelství VŠCHT Praha, 2006 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pdf/054.pdf
- [8] Morbacherová Mgr., Jana. *Elektrina a magnetismus II., Polovodiče* [online]. SŠTE Brno, Olomoucká, příspěvková organizace, 2016 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://www.sstebrno.cz/ebooks/knihovna/elektrina-magnetismus-ii/polovodice.html>
- [9] Tichý Prof., RNDr., Milan. *Elektronika: PN přechod* [online]. Karolinum, nakladatelství UK, Praha 1998 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap2/2_1_4.html
- [10] How does a diode work-the PN Junction (with animation) | Intermediate Electronics YouTube. *YouTube.com* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=btOIDQeMrMg&ab_channel=CircuitBread

- [11] Fotoelektrický jev. *Wikipedie.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrick%C3%BD_jev
- [12] An Overview of Materials Used in Solar Cells. *G2voptics.com* [online]. [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://g2voptics.com/photovoltaics-solar-cells/solar-cell-materials/>
- [13] Fotovoltaické panely. *Hqline.com* [online]. [cit. 18.04.2022]. Dostupné z: <https://www.hqline.com/fotovoltaicke-panely>
- [14] Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. *oEnergetice.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [15] Optimize Your Solar Production. *GoGreenSolar.com* [online]. 2006 [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://blog.gogreensolar.com/optimize-your-solar-production>
- [16] Fotovoltaika – schéma elektrárny pro rodinný dům. *Djsarchitecture.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://www.djsarchitecture.cz/images/fotovoltaika-schema-elektrarne-pre-rodinny-dom.jpg>
- [17] Co je to elektrochemický zdroj. *Odbornecasopisy.cz* [online]. Časopis Elektro, 10/2006. [cit. 28.04.2022]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/co-je-to-elektrochemicky-zdroj--12911?fbclid=IwAR0AwjmWJVj6bk27KzRMizKReyixI2Q9sIpsKgcTX8k-b8Au_k9YX6bbBIQ
- [18] Graphene batteries: Introduction and Market News. *Graphene-Info.com* [online]. [cit. 18.03.2022]. Dostupné z: <https://www.graphene-info.com/graphene-batteries>
- [19] Lead Acid Batteries. *Pveducation.org* [online]. [cit. 28.04.2022]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/batteries/lead-acid-batteries>
- [20] Working of lithium-ion battery. *Robu.in* [online]. 2020 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://robu.in/working-of-lithium-ion-battery/>

- [21] How Does a Lithium-Ion Battery Work?. *Rete55news.tv* [online]. 2020 [cit. 18.04.2022]. Dostupné z: <http://rete55news.tv/how-does-a-lithium-ion-battery-work/>
- [22] Lithium iron phosphate battery. *Wikipedia.org* [online] [cit.18.04. 2022]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- [23] Li-Pol Akumulátory – proč se nejpokročilejší technologie neprosazuje. *Notebook.cz* [online]. 2001 [cit. 29.04.2022]. Dostupné z: <https://notebook.cz/clanky/technologie/2011/Li-Pol-akumulatory>
- [24] BU-205: Types of Lithium-ion. *Batteryuniversity.cz* [online]. 2022 [cit. 12.05.2022]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
- [25] Dynamic model of a lead acid battery for use in a domestic fuel cell system. *Sciencedirect.com* [online]. [cit. 20.05.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775306000401>
- [26] A Critical review of energy storage technologies for microgrids. *Link.springer.com* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://link.springer.com/...rue>
- [27] Přehledné informace o typech akumulátorů. *Astramodel.cz* [online]. [cit.17.04.2022]. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html>
- [28] Storing energy. *Energysavingstust.org.uk* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://energysavingtrust.org.uk/advice/storing-energy/>
- [29] Household with solar, plus batteries. *Aef.com.au* [online]. 2021 [cit. 18.04.2022]. Dostupné z: <https://www.aef.com.au/for-home/battery-storage/best-solar-battery-guide/>
- [30] Types of Solar Battery Systems: AC vs. DC Coupling Explained. *deegesolar.co.uk* [online] [cit.18.04.2022]. Dostupné z: https://www.deegesolar.co.uk/ac_coupling_vs_dc_coupling_solar_battery_storage/
- [31] Best solar panel company in India: Buy online solar systems, rooftop. *Novergysolar.com* [online]. [cit. 18.04.2022]. Dostupné z: <https://>

- www.novergysolar.com/types-solar-systems-on-grid-off-grid-hybrid-use-cases/
- [32] Types of solar systems (On-grid, Off-grid and Hybrid) and their use cases. *Novergysolar.com* [online]. [cit.18.04.2022]. Dostupné z: <https://www.novergysolar.com/types-solar-systems-on-grid-off-grid-hybrid-use-cases/>
- [33] Novinky a trendy v ostrovní fotovoltaice. *Nazeleno.cz* [online]. 2018 [cit.22.12.2021]. Dostupné z https://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/chap_3657/novinky-a-trendy-v-ostrovnii-fotovoltaice.aspx/2/
- [34] Přehled metod hodnocení ekonomické efektivity investic. *Altaxo.cz* [online]. Altaxo, 2019 [cit. 16.05.2022]. Dostupné z: <https://www.altaxo.cz/provoz-firmy/management/rizeni-podniku/prehled-metod-hodnoceni-ekonomicke-efektivnosti-investic>
- [35] Slovník pojmů - diskontní sazba. *Srovnejto.cz* [online]. 2022 [cit. 05.05.2022]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/slovník-pojmu/pujcky-a-uvery/diskontni-sazba/>
- [36] Diskontování. *Dotaceeu.cz* [online]. Copyright ©2022 Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, všechna práva vyhrazena [cit. 26.05.2022]. Dostupné z: <https://www.dotaceeu.cz/cs/ostatni/dulezite/slovník-pojmu/d/diskontovani>
- [37] Vnitřní výnosové procento. *czechwealth.cz* [online]. [cit.18.04.2022]. Dostupné z: <https://www.czechwealth.cz/slovník-pojmu/vnitri-vynosove-procento>
- [38] Čistá současná hodnota (NPV-Net Present Value). *Managementmania.com* [online]. 2011 [cit. 10.02.2022]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>
- [39] Malečková, V., Sivek, M., Jirásek, J. *Vybrané příklady z ekonomiky nerostných surovin*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2827-5
- [40] Hodnocení přínosů zateplení 2: doba návratnosti. *Projekty-ikapo.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/>
- [41] Průměrné měsíční hodnoty doby slunečního svitu. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 25.04.2022] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>

- [42] Výpočet produkce energie pomocí fotovoltaických panelů. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [43] JRC Photovoltaic Geographical Information System. *re.jc.ec.europa.eu* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [44] Ceník distribučních sazeb. *cez.cz* [online]. ČEZ, a. s., 2022 [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky/archiv-ele.html>
- [45] Dotace pro úsporné bydlení. *Nová zelená úsporám.cz* [online]. Státní fond životního prostředí ČR [cit. 18.04.2022]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [46] Flexibilní panely Renogy – všude tam, kde je potřeba nízká váha a minimální rozměry. *eshop.neosolar.cz*. [online]. Neosolar, spol. s r.o., 2022 [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/flexibilni-panely-renogy-vsude-tam-kde-je-potreba-nizka-vaha-a-minimalni-rozmary>
- [47] Solar Panel Orientation. *Alternative-Energy-Tutorials.com* [online]. [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/solar-panel-orientation.html>
- [48] How to make Graphene batteries. *Cheaptubes.com* [online]. 2022 [cit. 16.05.2022]. Dostupné z: <https://www.cheaptubes.com/resources/graphene-battery-users-guide/>
- [49] Posouzení environmentálních dopadů životního cyklu výroby elektrické energie v ČR | allforpower.cz. Úvod | allforpower.cz [online]. Copyright © 2009 [cit. 25.05.2022]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/vyzkum-vyvoj-inovace/posouzeni-environmentalnich-dopadu-zivotniho-cyklu-vyroby-elektricke-energie-v-cr-35>
- [50] O. Perpiñan, E. Lorenzo, M.A. Castro, R. Eyras. *Solar Energy* [online]. Copyright © [cit. 26.05.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X07001326?via%3Dihub>

Přílohy

Příloha 1: Výška slunce nad obzorem h v hodinových intervalech, důležitá pro výpočty v kapitole 8.3 [3].....	II
Příloha 2: Azimut slunce a , důležitý pro výpočty v kapitole 8.3 [3].....	III
Příloha 3: Odhad celkové intenzity záření I v hodinových intervalech charakteristických dnů jednotlivých měsíců z kapitoly 8.3	IV
Příloha 4: Teoretická a skutečná denní doba slunečního svitu pro charakteristické dny jednotlivých měsíců, důležitá pro výpočet vztahu (15) v kapitole 7 [3] [41]	IV
Příloha 5: Teplota vzduchu t_v v jednotlivých hodinách charakteristických dnů pro daný měsíc pro oblast Karlových Varů, důležité pro výpočet vztahu (17). [43]	V
Příloha 6: Odhad teploty panelů dle vztahu (17) v kapitole 8.4 [43].....	VI
Příloha 7: Účinnost fotovoltaických panelů v závislosti na jejich teplotě dle vztahu (18)	VII
Příloha 8: odhad spotřeby energie domácnosti v hodinových intervalech z kapitoly 8.5	VIII
Příloha 9: technické parametry střídače použitého v případové studii v kapitole 8	IX
Příloha 10: Technické parametry baterie použité v případové studii v kapitole 8	X
Příloha 11: technické parametry pro fotovoltaické panely použité v případové studii v kapitole 8	XI
Příloha 12: cash flows a energetická bilance investice bez baterie	X
Příloha 13: cash flows a energetická bilance investice bez baterie	X
Příloha 14: cash flows a energetická bilance investice s baterií.....	XI
Příloha 15: cash flows a energetická bilance investice s baterií.....	XII

Příloha 1: Výška slunce nad obzorem h v hodinových intervalech, důležitá pro výpočty v kapitole 8.3 [3]

Výška slunce nad obzorem h v denní době (hodině)												
Čas/měsí	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5					6,07	8,75	6,07					
6				8,78	15,1	17,7	15,1	8,78				
7			9,58	18,4	24,7	27,2	24,7	18,4	9,58			
8		9,33	18,7	27,8	34,6	36,8	34,6	27,8	18,7	9,33		
9	9,50	17,2	27,0	36,7	43,5	46,2	43,5	36,7	27,0	17,2	9,50	6,43
10	15,2	23,1	33,8	44,2	51,7	54,5	51,7	44,2	33,8	23,1	15,2	11,8
11	18,7	27,1	38,3	49,5	57,7	60,9	57,7	49,5	38,3	27,1	18,7	15,3
12	20,0	28,5	40,0	51,5	60,0	63,5	60,0	51,5	40,0	28,5	20,0	16,5
13	18,7	27,1	38,3	49,5	57,7	60,9	57,7	49,5	38,3	27,1	18,7	15,3
14	15,2	13,1	33,8	44,2	51,7	54,5	51,7	44,2	33,8	13,1	15,2	11,8
15	9,50	17,0	27,0	36,7	43,5	46,2	43,5	36,7	27,0	17,0	9,50	6,43
16		9,30	18,7	27,8	34,6	36,8	34,6	27,8	18,7	9,30		
17			9,58	18,4	24,7	27,2	24,7	18,4	9,58			
18				8,78	15,1	17,7	15,1	8,78				
19					6,07	8,75	6,07					

Příloha 2: Azimut slunce a , důležitý pro výpočty v kapitole 8.3 [3]

Azimut slunce a , měřený od směru jih (°)												
Čas/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5					114,1	116,2	114,1					
6				97,4	103,1	105,5	103,1	97,4				
7			78,4	86,0	92,67	94,70	92,67	86,0	78,4			
8		59,3	66,1	73,7	81,43	83,17	81,43	73,7	66,1	59,3		
9	42,3	46,4	52,5	59,8	66,50	69,60	66,50	59,8	52,5	46,4	42,3	40,7
10	29,1	32,2	37,0	43,1	49,10	52,20	49,10	43,1	37,0	32,2	29,1	27,9
11	14,8	16,5	19,2	23,0	27,08	29,30	27,08	23,0	19,2	16,5	14,8	14,2
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	14,8	16,5	19,2	23,0	27,08	29,30	27,08	23,0	19,2	16,5	14,8	14,2
14	28,1	32,3	37,0	43,1	49,10	52,20	49,10	43,1	37,0	32,3	28,1	27,9
15	42,3	46,4	52,5	59,8	66,50	69,60	66,50	59,8	52,5	46,4	42,3	40,7
16		59,3	66,1	73,7	81,43	83,17	81,43	73,7	66,1	59,3		
17			78,4	86,0	92,67	94,70	92,67	86,0	78,4			
18				97,4	103,1	105,5	103,1	97,4				
19					114,1	116,2	114,1					

Příloha 3: Odhad celkové intenzity záření I v hodinových intervalech charakteristických dnů jednotlivých měsíců z kapitoly 8.3

Intenzita celkového záření I (W/m^2)												
Čas/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0	0	0	0	109	112	109	0	0	0	0	0
6	0	0	0	68	118	137	118	68	0	0	0	0
7	0	0	191	274	322	345	322	274	191	0	0	0
8	0	291	405	496	541	560	541	496	405	291	0	0
9	372	487	612	705	748	759	748	705	612	487	372	324
10	521	645	782	874	911	918	911	874	782	645	521	464
11	618	751	892	983	1015	1020	1015	983	892	751	618	558
12	652	787	930	1021	1052	1056	1052	1021	930	787	652	591
13	618	751	892	983	1015	1020	1015	983	892	751	618	558
14	524	474	782	874	911	918	911	874	782	474	524	464
15	372	484	612	705	748	759	748	705	612	484	372	324
16	0	67	405	496	541	560	541	496	405	67	0	0
17	0	0	191	274	322	345	322	274	191	0	0	0
18	0	0	0	67	118	137	118	67	0	0	0	0
19	0	0	0	0	109	112	109	0	0	0	0	0

Příloha 4: Teoretická a skutečná denní doba slunečního svitu pro charakteristické dny jednotlivých měsíců, důležitá pro výpočet vztahu (15) v kapitole 7 [3] [41]

Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců (h)												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Čas (h)	8,26	10,12	12,00	13,90	15,70	16,34	15,70	13,90	12,00	10,12	8,26	7,85
Reálná doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců (h)												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Čas (h)	1,29	1,96	4,32	4,83	6,03	6,23	6,67	6,67	4,73	3,70	1,36	0,83
Poměrná doba slunečního svitu τ												
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Čas (h)	0,16	0,19	0,36	0,35	0,38	0,38	0,42	0,48	0,39	0,37	0,16	0,11

Příloha 5: Teplota vzduchu t_v v jednotlivých hodinách charakteristických dnů pro daný měsíc pro oblast Karlových Varů, důležité pro výpočet vztahu (17). [43]

Teplota vzduchu pro charakteristické dny jednotlivých měsíců v hodinových intervalech (°)												
Hodina/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	-2,3	-2,7	-0,5	3,3	13,0	16,5	13,5	13,1	9,7	6,0	2,8	-0,6
6	-2,3	-2,6	-0,6	3,4	14,7	17,8	14,3	13,3	9,5	5,8	2,2	-0,7
7	-2,4	-2,8	-0,5	4,9	15,9	18,9	16,1	14,8	10,1	5,8	2,2	-0,7
8	-2,3	-2,9	0,8	7,0	16,9	19,9	17,4	16,2	11,6	6,7	2,1	-0,6
9	-2,1	-2,6	2,2	8,5	17,9	20,6	18,6	17,6	13,1	7,8	2,3	-0,4
10	-1,4	-1,8	3,5	9,8	19,6	21,2	19,6	18,8	14,4	8,9	2,9	0,2
11	-0,6	-0,7	4,6	10,8	19,2	21,7	20,5	19,8	15,5	9,9	3,7	0,9
12	0,1	0,4	5,4	11,6	19,6	21,9	21,2	20,5	16,3	10,8	0,5	1,5
13	0,6	1,3	6,1	13,2	19,8	22,0	21,6	21,0	16,8	11,4	5,2	1,9
14	0,8	1,9	6,4	12,5	19,9	21,9	21,9	21,8	17,1	11,7	6,0	2,0
15	0,6	2,2	6,5	12,6	19,8	21,5	22,0	21,3	17,1	11,7	5,8	1,8
16	0,2	2,2	6,3	12,4	19,4	21,5	21,9	21,1	16,9	11,3	5,3	1,2
17	-0,5	1,9	5,6	11,9	18,8	20,9	21,5	20,7	16,3	10,4	4,6	0,7
18	-0,9	1,1	4,5	11,0	18,0	20,0	20,9	20,0	15,3	9,5	4,1	0,4
19	-1,2	0,2	3,4	9,6	16,8	18,8	20,0	18,9	14,2	8,8	3,7	0,2

Příloha 6: Odhad teploty panelů dle vztahu (17) v kapitole 8.4 [43]

Teplota panelů t_{FV} (°C)												
Hodina/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	-2,3	-2,7	-0,5	3,3	15,0	18,8	15,6	13,1	9,7	6,0	2,8	-0,6
6	-2,3	-2,6	-0,6	5,1	17,6	21,1	17,3	15,2	9,5	5,8	2,2	-0,7
7	-2,4	-2,8	2,8	9,8	22,0	25,4	22,6	20,6	13,6	5,8	2,2	-0,7
8	-2,3	0,2	7,4	15,1	26,4	29,6	27,5	26,2	18,7	11,3	2,1	-0,6
9	1,2	2,6	11,9	19,5	30,4	33,3	32,0	31,4	23,4	15,5	5,6	1,7
10	3,2	4,9	15,7	23,0	34,5	36,2	35,7	35,6	27,3	18,9	7,6	3,5
11	4,8	6,9	18,2	25,5	35,6	38,1	38,2	38,5	30,0	21,5	9,3	4,9
12	5,8	8,3	19,6	26,8	36,5	38,9	39,4	39,9	31,4	22,9	6,3	5,7
13	6,0	8,9	19,7	27,9	36,2	38,5	39,3	39,7	31,4	23,0	10,8	5,9
14	5,4	6,6	18,6	25,8	34,8	36,9	37,9	38,6	30,0	19,0	10,7	5,3
15	3,9	7,3	16,2	23,6	32,3	34,2	35,4	35,1	27,5	19,4	9,1	3,9
16	0,2	4,6	12,9	20,5	28,9	31,3	32,0	31,1	24,0	13,7	5,3	1,2
17	-0,5	1,9	8,9	16,8	25,0	27,5	28,0	26,5	19,8	10,4	4,6	0,7
18	-0,9	1,1	4,5	12,6	20,8	23,3	23,8	21,8	15,3	9,5	4,1	0,4
19	-1,2	0,2	3,4	9,6	18,8	21,1	22,1	18,9	14,2	8,8	3,7	0,2

Příloha 7: Účinnost fotovoltaických panelů v závislosti na jejich teplotě dle vztahu (18)

Účinnost FV panelů v závislosti na teplotě panelů (%)												
Hodina/měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
6	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
7	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
8	21,5	21,5	21,5	21,5	21,4	21,1	21,3	21,4	21,5	21,5	21,5	21,5
9	21,5	21,5	21,5	21,5	21,0	20,7	20,8	20,9	21,5	21,5	21,5	21,5
10	21,5	21,5	21,5	21,5	20,6	20,4	20,5	20,5	21,3	21,5	21,5	21,5
11	21,5	21,5	21,5	21,5	20,5	20,3	20,3	20,2	21,0	21,5	21,5	21,5
12	21,5	21,5	21,5	21,3	20,4	20,2	20,1	20,1	20,9	21,5	21,5	21,5
13	21,5	21,5	21,5	21,2	20,4	20,2	20,2	20,1	20,9	21,5	21,5	21,5
14	21,5	21,5	21,5	21,4	20,6	20,4	20,3	20,2	21,0	21,5	21,5	21,5
15	21,5	21,5	21,5	21,5	20,8	20,6	20,5	20,5	21,3	21,5	21,5	21,5
16	21,5	21,5	21,5	21,5	21,1	20,9	20,8	20,9	21,5	21,5	21,5	21,5
17	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,3	21,2	21,4	21,5	21,5	21,5	21,5
18	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
19	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5

Příloha 8: odhad spotřeby energie domácnosti v hodinových intervalech z kapitoly 8.5

Březen až září				Říjen až únor			
Pracovní den		Víkendový den		Pracovní den		Víkendový den	
Hodina (h)	Spotřeba	Hodina (h)	Spotřeba	Hodina (h)	Spotřeba	Hodina (h)	Spotřeba
0	0,631	0	0,631	0	0,631	0	0,631
1	0,631	1	0,631	1	0,631	1	0,631
2	0,049	2	0,049	2	0,049	2	0,049
3	0,049	3	0,049	3	0,049	3	0,049
4	0,105	4	0,049	4	0,049	4	0,049
5	0,263	5	0,049	5	0,129	5	0,049
6	0,049	6	0,049	6	0,049	6	0,049
7	0,049	7	0,049	7	0,049	7	0,478
8	0,049	8	0,556	8	0,049	8	0,381
9	0,049	9	0,476	9	0,049	9	1,267
10	0,049	10	2,171	10	0,049	10	1,271
11	0,049	11	1,27	11	0,049	11	0,498
12	0,049	12	2,204	12	0,049	12	0,497
13	0,049	13	0,904	13	0,049	13	1,306
14	1,035	14	0,572	14	1,039	14	3,232
15	1,458	15	0,449	15	2,965	15	3,679
16	1,62	16	1,101	16	2,465	16	2,193
17	1,024	17	1,047	17	2,602	17	0,53
18	1,357	18	0,835	18	1,606	18	0,668
19	3,797	19	3,155	19	1,98	19	0,825
20	0,315	20	0,76	20	0,825	20	0,755
21	0,493	21	0,765	21	0,493	21	0,765
22	0,691	22	0,631	22	0,691	22	0,693
23	0,381	23	0,631	23	0,631	23	0,631
Celkem	14,291	-	19,083	-	17,227	-	21,176

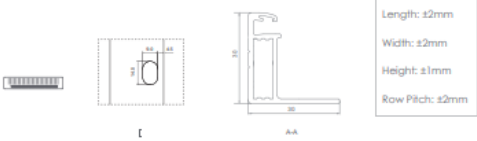
Příloha 9: technické parametry střídače použitého v případové studii v kapitole 8

Model	STH-4KTL-HT	STH-5KTL-HT	STH-6KTL-HT	STH-8KTL-HT	STH-10KTL-HT	STH-12KTL-HT	
DC vstup	Max. výkon (W)	6,400	8,000	9,600	12,800	16,000	19,200
	Startovní napětí (V)	150	150	180	180	180	180
	Max. DC napětí (V)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Jmenovité DC napětí (V)	620	620	620	620	620	620
	Rozsah napětí MPPT (V)	150-850	150-850	200-850	200-850	200-850	200-850
	Počet MPPT	2	2	2	2	2	2
	Počet FV vstupů	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
	Max. vstupní proud (A)	13/13	13/13	13/13	13/13	13/13	13/13
Max. zkratový proud (A)	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	18/18	
Baterie	Typ baterie	Lithiová baterie (s BMS)					
	Komunikační rozhraní	CAN / RS485					
	Rozsah napětí baterie (V)	180-750 ¹⁾					
	Max. nabíjecí/vybíjecí proud (A)	25/25					
	Jmenovitý proud vestavěné pojistky (A)	63					
Výstup AC (Síťový provoz)	Jmenovitý výkon AC (W)	4,000	5,000	6,000	8,000	10,000	12,000
	Max. výkon AC (W)	4,400	5,500	6,600	8,800	11,000	13,200
	Max. zdánlivý výkon (VA)	4,400	5,500	6,600	8,800	11,000	13,200
	Max. zdánlivý výstupní výkon (VA)	8,000 ²⁾	10,000 ²⁾	12,000 ²⁾	16,000 ²⁾	16,500 ²⁾	16,500 ²⁾
	Max. nabíjecí výkon baterie (W)	4,000	5,000	6,000	8,000	10,000	12,000
	Jmenovité výstupní napětí (V)	3L/N/PE, 230/400V					
	Jmenovitá AC frekvence (Hz)	50/60Hz 45-55Hz/55-65Hz					
	Max. Výstupní proud (A)	6.7	8.3	10	13.3	16.5	20
	Faktor jalového výkonu	0.8 cap ---0.8 ind					
	Faktor zkreslení (THD)	< 3% při jmenovitém výkonu					
Dodávka energie DCI	< 0.5%In						
Output (Back-up)	Doba přepnutí UPS	< 10ms					
	Jmenovité výstupní napětí (V)	3L/N/PE, 230/400V					
	Jmenovitá AC frekvence (Hz)	50/60Hz 45-55Hz/55-65Hz					
	Max. zdánlivý výstupní výkon (VA)	4,400	5,500	6,600	8,800	11,000	13,200
	Špičkový zdánlivý výkon při přetížení (VA)	8,000 ³⁾ , 60s	10,000 ³⁾ , 60s	12,000 ³⁾ , 60s	16,000 ³⁾ , 60s	20,000 ³⁾ , 60s	20,000 ³⁾ , 60s
	Špičkový zdánlivý výstupní výkon na fázi (VA)	1,600 ³⁾	2,100 ³⁾	2,600 ³⁾	3,300 ³⁾	4,000 ³⁾	5,000 ³⁾
	Faktor zkreslení	< 3% při lineárním zatížení					
Účinnost	Max. účinnost	98.1%	98.1%	98.1%	98.2%	98.2%	98.2%
	Evropská účinnost	97.3%	97.3%	97.3%	97.4%	97.4%	97.4%
	Max. účinnost konverze při nabíjení baterie	97.2%	97.2%	97.2%	97.3%	97.3%	97.3%
	Max. Účinnost konverze při vybíjení baterie	97.2%	97.2%	97.2%	97.3%	97.3%	97.3%
Bezpečnost		Obecné údaje					
Ochrana proti přepólování DC	Integrované	Rozměry (mm) (VxŠxH)		410x550x175			
Ochrana proti přepólování vstupu baterie	Integrované	Hmotnost (kg)		26~28			
Ochrana izolačního odporu	Integrované	IP krytí		IP65			
DC Switch	Volitelné	Vlastní spotřeba v noci (W)		< 15			
Přepětová ochrana	Integrované	Topologie		Transformer less			
Ochrana proti přehřátí	Integrované	Rozsah teploty prostředí (* C)		-30~60			
Ochrana proti zbytkovému proudu	Integrované	Relativní vlhkost vzduchu		0~100%			
Ochrana proti ostrovnímu režimu	Frekvenční posun, Integrované	Instalační výška (m)		4000 (snížení při > 3000)			
Ochrana proti přepětí AC	Integrované	Chlazení		Přirozené konvekční			
Ochrana proti přetížení	Integrované	Typická hlučnost (dB)		< 25			
AC Short-circuit Protection	Integrated	Displej		OLED & LED			
		Komunikace		WiFi / LAN (Optional)			

Příloha 10: Technické parametry baterie použité v případové studii v kapitole 8

Cell Technology	Li-Iron (LFP)		
System Model Name	Force-H2-96/192V	Force-H2-96/288V	Force-H2-96/384V
Battery System Capacity(kWh)	7.10	10.65	14.20
Battery System Usable Capacity	6.39	9.59	12.87
Battery System Voltage(Vdc)	192	288	384
Battery System Capacity(AH)	37Ah		
Battery Controller Name	FC0500M-40S		
Battery Module Name	FH9637M		
Battery Module Quantity(pcs)	2	3	4
Battery Module Capacity(kWh)	3.552		
Battery Module Voltage(Vdc)	96		
Battery Module Capacity(AH)	37		
Battery System Charge upper-Voltage(Vdc)	216	324	432
Battery System Charge/Discharge Current (Amps, Standard)	7.4		
Battery System Charge/Discharge Current(Amps, Normal)	18.5		
Battery System Charge/Discharge Current(Amps, Max.@15s)	40		
Battery System Discharge lower-Voltage(Vdc)	174	261	348
Battery System DC Rate Power (kW)	3.55	5.33	7.10
Battery System DC Max. Power (kW.@15s)	7.68	11.52	15.36
Short circuit rating(Amps)	< 4000		
Efficiency(%)	96		
Depth of Discharge(%)	90		
Dimension(W*D*H, mm)	450*296*822	450*296*1118	450*296*1414
Communication	CANBUS/Modbus RTU		
Protection Class	IP55		
Weight(kg)	82	117	152
Operation Life(Years)	15+		
Operation Temperature(°C)	0-50°C		
Storage Temperature(°C)	-20-60°C		
Humidity	5-95%		
Product Certificate	VDE2510-50, IEC62619, IEC62477-1, IEC62040-1, CE,UN38.3		
Warranty	10 Years		
1) Battery Controller Dimensions(W*D*H)	450x296x190 mm		
2) Battery Module Dimensions (W*D*H)	450x296x296mm		
3) Battery bottom base Dimensions(W*D*H)	450x296x40 mm		

Příloha 11: technické parametry pro fotovoltaické panely použité v případové studii
v kapitole 8



Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	120 (6×20)
Dimensions	1692×1029×30mm (66.61×40.51×1.18 inch)
Weight	19.0kg (41.89 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm (+): 290mm, (-): 145mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallets, 70pcs/stack, 910pcs/ 40'HQ Container

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM355N-6TL3 JKM355N-6TL3-V		JKM360N-6TL3 JKM360N-6TL3-V		JKM365N-6TL3 JKM365N-6TL3-V		JKM370N-6TL3 JKM370N-6TL3-V		JKM375N-6TL3 JKM375N-6TL3-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	355Wp	265Wp	360Wp	268Wp	365Wp	272Wp	370Wp	276Wp	375Wp	280Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.04V	31.40V	34.19V	31.58V	34.34V	31.72V	34.49V	31.89V	34.63V	32.03V
Maximum Power Current (Imp)	10.43A	8.43A	10.53A	8.50A	10.63A	8.58A	10.73A	8.65A	10.83A	8.73A
Open-circuit Voltage (Voc)	41.01V	38.71V	41.16V	38.85V	41.31V	38.99V	41.46V	39.13V	41.60V	39.26V
Short-circuit Current (Isc)	11.13A	8.99A	11.23A	9.07A	11.33A	9.15A	11.43A	9.23A	11.53A	9.31A
Module Efficiency STC (%)	20.39%		20.68%		20.96%		21.25%		21.54%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.34%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

Příloha 12: cash flows a energetická bilance investice bez baterie

Rok životnosti investice (-)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investice (Kč)	-142399	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční produkce elektrické energie (kWh)	0	6194	6170	6146	6120	6095	6071	6046	6021	5996	5972	5947	5922
Množství spotřebované energie (kWh)	0	2010	2007	2005	2003	1999	1997	1994	1992	1989	1986	1984	1981
Množství energie dodané do sítě (kWh)	0	4061	4038	4017	3995	3974	3593	3931	3909	3888	3867	3844	3823
Cena elektřiny (Kč/MWh)	0	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403
Cena výkupu elektřiny (Kč/MWh)	0	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
peněžní tok (Kč)	-142299	13289	13263	13236	13209	13182	13154	13126	13098	13070	13042	13013	12985
Kumulovaný peněžní tok (Kč)	-142299	-129010	-115747	-102511	-89302	-76120	-62967	-49841	-36742	-23673	-10631	2383	15367

Příloha 13: cash flows a energetická bilance investice bez baterie

Rok životnosti investice (-)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investice (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční produkce elektrické energie (kWh)	5897	5872	5848	5823	5798	5773	5749	5724	5699	5674	5649	5625	5600
Množství spotřebované energie (kWh)	1978	1975	1972	1977	19564	1962	1959	1954	1950	1948	1944	1939	1936
Množství energie dodané do sítě (kWh)	3802	3781	3759	3738	3717	3696	3675	3655	3634	3614	3593	3573	3552
Cena elektřiny (Kč/MWh)	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403
Cena výkupu elektřiny (Kč/MWh)	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
peněžní tok (Kč)	12956	12927	12898	12868	12838	12808	12778	12746	12714	12681	12648	12616	12583
Kumulovaný peněžní tok (Kč)	28323	41250	54147	67016	79854	92662	105440	118186	130899	143580	156229	168844	181428

Příloha 14: cash flows a energetická bilance investice s baterií

Rok životnosti investice (-)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investice (Kč)	-204899	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční produkce elektrické energie (kWh)	0	6194	6170	6146	6120	6095	6071	6046	6021	5996	5972	5947	5922
Množství spotřebované energie z panelů (kWh)	0	2010	2007	2005	2003	1999	1997	1994	1992	1989	1986	1984	1981
Množství energie dodané do sítě (kWh)	0	2619	2600	2581	2554	2543	2507	2495	2467	2446	2426	2396	2384
Množství spotřebované energie z baterie (kWh)	0	1310	1309	1307	1306	1304	1303	1301	1300	1299	1298	1297	1295
Cena elektřiny (Kč/kWh)	0	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403
Cena výkupu elektřiny (Kč/kWh)	0	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
Peněžní tok (Kč)	-204899	24338	24276	24215	24154	24094	24033	23973	23902	23831	23760	23689	23617
Kumulovaný peněžní tok (Kč)	-204899	-180561	-156285	-132070	-107916	-83822	-59789	-35816	-11914	11917	35677	59366	82983

Příloha 15: cash flows a energetická bilance investice s baterií

Rok životnosti investice (-)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investice (Kč)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roční produkce elektrické energie (kWh)	5897	5872	5848	5823	5798	5773	5749	5724	5699	5674	5649	5625	5600
Množství spotřebované energie z panelů (kWh)	1978	1975	1972	1977	19564	1962	1959	1954	1950	1948	1944	1939	1936
Množství energie dodané do sítě (kWh)	2355	2334	2312	2214	-156735	2252	2238	2225	2211	2171	2158	2154	2124
Množství spotřebované energie z baterie (kWh)	1294	1293	1292	1291	1289	1287	1284	1283	1281	1280	1278	1276	1275
Cena elektřiny (Kč/MWh)	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403	5403
Cena výkupu elektřiny (Kč/MWh)	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598	598
Peněžní tok (Kč)	23530	23443	23356	23267	23176	23079	22976	22868	22751	22622	22488	22350	22350
Kumulovaný peněžní tok (Kč)	106513	129956	153312	176579	199755	222834	245809	268678	291429	314051	336539	358889	381239