

Diplomová práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická

**Návrh a optimalizace energetického systému obnovitelných zdrojů v plánované výstavbě nových budov společnosti DEL a.s. ve Žďáru nad Sázavou.**

Bc. Karel Kusý

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.  
2020



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kusý** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **484303**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektroenergetika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh a optimalizace energetického systému obnovitelných zdrojů v plánované výstavbě nových budov společnosti DEL a.s. ve Žďáru nad Sázavou.**

Název diplomové práce anglicky:

**Design and optimization of renewable energy system in planned construction of new buildings of company DEL a.s. in Žďár nad Sázavou.**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popis fotovoltaické elektrárny.
- 2) Možnosti akumulace elektrické energie z FVE.
- 3) Návrh fotovoltaické elektrárny včetně možnosti akumulace elektrické energie.
- 4) Ekonomické vyhodnocení projektu.

Seznam doporučené literatury:

1. HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
2. HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. Elektrický proud ze slunce. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
3. Akumulátory: od principu k praxi. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem a dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

Podpis autora .....



## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, PhD., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a za další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji společnosti DEL a.s., která mi umožnila spolupracovat na tomto projektu a která mi technicky pomáhala při zpracování této diplomové práce.

V Praze dne .....

Podpis autora .....



## **Abstrakt**

Diplomová práce řeší návrh fotovoltaického systému pro firmu DEL a. s. Práce v prvních třech kapitolách popisuje jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny a možnosti akumulace elektrické energie. V dalších dvou kapitolách jsou popsány softwary pro možný návrh fotovoltaické elektrárny a podmínky pro obdržení podpory od státu. Na závěr je popsán návrh fotovoltaického systému bez bateriového uložení a s bateriovým uložení pro výše zmíněnou společnost včetně ekonomického vyhodnocení.

Součástí diplomové práce je i jejím autorem vytvořený výpočetní program v prostředí MS Excel, který slouží k výpočtům výše zmíněného bateriového uložení a ekonomického vyhodnocení. Dále je k práci přidáno elektrické schéma zapojení navrženého fotovoltaického systému s bateriovým uložení, které autor vytvořil pro správné určení investičních nákladů celého projektu.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaická elektrárna, bateriové uložení, fotovoltaický modul, solární střídač a dotační program.





## **Abstract**

The diploma thesis deals with the design of a photovoltaic system for the company DEL a. s. The work in the first two chapters describes individual components of the photovoltaic power plant and the possibilities of electricity storage. The following two chapters describe the software for a possible design of a photovoltaic power plant and the conditions that have to be met in order to receive the support from the state. The last chapter describes the design of a photovoltaic system without battery storage and with battery storage for the above-mentioned company, including economic evaluation.

The diploma thesis includes a computing program, created by the writer of the thesis in MS Excel environment, which is used to calculate the above-mentioned battery storage and economic evaluation. Furthermore, the thesis also includes an electrical diagram of the proposed photovoltaic system with battery storage which the author created to correctly determine the investment costs of the entire project.

## **Keywords**

Photovoltaic power plant, battery storage, photovoltaic module, solar inverter and subsidy program.



# Obsah

1	ÚVOD .....	1
2	SOLÁRNÍ ČLÁNEK.....	3
2.1	PRINCIP A KONSTRUKCE .....	3
2.2	KRYSTALICKÉ ČLÁNKY .....	5
2.2.1	MONOKRYSTALICKÝ ČLÁNKY .....	5
2.2.2	POLYKRYSTALICKÝ ČLÁNKY .....	6
2.3	TENKOVRSŤVÉ ČLÁNKY .....	7
2.3.1	ČLÁNKY Z AMORFNÍHO KŘEMÍKU (a-Si).....	7
2.3.2	CIGS ČLÁNKY .....	9
2.3.3	ČLÁNKY NA BÁZI TELURIDU KADEMNÉHO (CdTe) .....	10
3	KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ .....	12
3.1	SOLÁRNÍ MODULY .....	12
3.2	NOSNÉ KONSTRUKCE.....	13
3.3	STRÍDAČE .....	14
3.4	AKUMULÁTORY.....	18
3.5	REGULÁTORY NABÍJENÍ .....	18
3.6	OCHRANNÉ JISTÍCÍ PRVKY .....	19
4	MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	21
4.1	ELEKTROCHEMICKÉ AKUMULÁTORY .....	21
4.1.1	OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY .....	21
4.1.2	ALKALICKÉ AKUMULÁTORY .....	23
4.1.3	LITHIOVÉ AKUMULÁTORY .....	24
4.2	ALTERNATIVNÍ ENERGETICKÉ ULOŽIŠTĚ .....	28
4.2.1	ELEKTROTERMÁLNÍ ULOŽIŠTĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE (ETES) .....	28
4.2.2	POWER TO GASS (P2G) .....	29
4.2.3	MECHANICKÉ UKLÁDÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	30
5	VÝZVA III. PROGRAMU PODPORY ÚSPORY ENERGIE (FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY S/BEZ AKUMULACE PRO VLASTNÍ SPOTŘEBU).....	31
5.1	OBEČNÉ INFORMACE.....	31
5.2	MODEL HODNOCENÍ A KRITÉRIA HODNOCENÍ .....	32
5.3	VĚCNÉ HODNOCENÍ .....	34
5.3.1	PŘIPRAVENOST ŽADATELE K REALIZACI PROJEKTU .....	34
5.3.2	POTŘEBNOST A RELEVANCE PROJEKTU.....	34
5.3.3	NÁKLADOVÁ EFEKTIVITA PROJEKTU.....	36
6	NÁSTROJE PRO NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ .....	38
6.1	PV*SOL.....	38
6.2	PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS).....	39

7	NÁVRH OBNOVITELNÝCH ZROJŮ ENERGIE .....	41
7.1	POPIS STÁVAJÍCÍ SITUACE.....	41
7.2	TECHNICKÉ INFORMACE .....	42
7.3	NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....	44
7.3.1	VÝPOČET MAXIMÁLNÍCH VÝKONŮ JEDNOTLIVÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN .....	44
7.3.2	VLIV STÍNĚNÍ.....	46
7.3.3	ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ K SOLÁRNÍM STRÍDAČŮM 48	
7.3.4	MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU .....	50
7.4	EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU BEZ BATERIOVÉHO ULOŽIŠTĚ 55	
7.4.1	ROZPOČET PROJEKTU .....	55
7.4.2	MÍRA PODPORY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU.....	57
7.4.3	CASH FLOW .....	60
7.5	NÁVRH BATERIOVÉHO ULOŽIŠTĚ .....	65
7.5.1	MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM .....	65
7.6	EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM .	69
7.6.1	ROZPOČET PROJEKTU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM.....	69
7.6.2	MÍRA PODPORY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM .....	71
7.6.3	CASH FLOW .....	74
7.7	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	77
8	ZÁVĚR.....	80



# Seznam obrázků

<i>Obr. 2.1: Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém článku.</i>	4
<i>Obr. 2.2: Vývoj nejvyšších dosažených účinností solárních článků (rok 2018).</i>	5
<i>Obr. 2.3: Struktura monokrystalického článku.</i>	6
<i>Obr. 2.4: Struktura polykrystalického článku.</i>	7
<i>Obr. 2.5: Ukázka tandemového solárního článku se dvěma PID vrstvami.</i>	8
<i>Obr. 2.6: Porovnání obyčejného solárního článku z amorfního křemíku s tandemovým solárním článkem se třemi PID vrstvami.</i>	9
<i>Obr. 2.7: Popis struktury CIGS solárního článku.</i>	10
<i>Obr. 2.8: Popis struktury CdTe solárního článku.</i>	11
<i>Obr. 3.1: Konstrukce fotovoltaického modulu.</i>	12
<i>Obr. 3.2: Zapojení obtokových diod ve fotovoltaickém modulu.</i>	13
<i>Obr. 3.3: Konstrukce solárních modulů.</i>	14
<i>Obr. 3.4: Ukázka měření kalifornské účinnosti střídače.</i>	15
<i>Obr. 3.5: Ukázka zapojení Off-grid střídače.</i>	16
<i>Obr. 3.6: Ukázka zapojení střídačů podle výkonu A) velký centrální střídač B) řetězové střídače C) modulové střídače.</i>	17
<i>Obr. 3.7: Schéma zapojení regulátoru.</i>	18
<i>Obr. 3.8: Příklad schématu zapojení AC strany fotovoltaické elektrárny s dvěma zásuvkami.</i>	20
<i>Obr. 4.1: Ukázka olověného akumulátoru.</i>	22
<i>Obr. 4.2: Princip činnosti Li-ion akumulátorů.</i>	25
<i>Obr. 4.3: Ukázka složení HE3DA baterie.</i>	26
<i>Obr. 4.4: Zapojení fotovoltaického modulu s HE3DA baterií.</i>	27
<i>Obr. 4.5: Princip činnosti ETES.</i>	28
<i>Obr. 4.6: Ukázka principu elektrolýzy vody.</i>	29
<i>Obr. 5.1: Ukázka tabulky přijatelnosti.</i>	33
<i>Obr. 5.2: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.</i>	35
<i>Obr. 5.3: Bodové hodnocení pro podíl vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro vlastní spotřebu.</i>	36
<i>Obr. 5.4: Bodové hodnocení měrných investičních nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.</i>	37
<i>Obr. 6.1: Porovnání jednotlivých verzí programu PV*Sol.</i>	38
<i>Obr. 6.2: Ukázka aplikace PVGIS.</i>	39
<i>Obr. 7.1: Budova firmy DEL a. s.</i>	41
<i>Obr. 7.2: Dispoziční řešení (satelitní pohled z Google Earth).</i>	42
<i>Obr. 7.3: Dispoziční řešení fotovoltaických modulů na stávající administrativní budově.</i>	43

<i>Obr. 7.4: Znázornění hodnot z Tab 7.2.</i>	45
<i>Obr. 7.5: Reálný půdorys parkovacího domu s 502 fotovoltaickými moduly.</i>	45
<i>Obr. 7.6: Ilustrační model parkovacího domu.</i>	46
<i>Obr. 7.7: Simulace vlivu stínění fotovoltaických modulů na střeše relaxačního altánu.</i>	47
<i>Obr. 7.8: Simulace vlivu stínění fotovoltaických modulů na střeše parkovacího domu.</i>	47
<i>Obr. 7.9: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt parkovacího domu.</i>	48
<i>Obr. 7.10: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt nové administrativní budovy.</i>	49
<i>Obr. 7.11: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt relaxačního altánu.</i>	49
<i>Obr. 7.12: Účinnost solárních modulů od firmy LOMINA A.G.</i>	51
<i>Obr. 7.13: Orientační schéma zapojení jednotlivých fotovoltaických elektráren.</i>	55
<i>Obr. 7.14: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.</i>	58
<i>Obr. 7.15: Bodové hodnocení podílu vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny určené pro vlastní spotřebu podniku.</i>	58
<i>Obr. 7.16: Bodové hodnocení měrných nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.</i>	59
<i>Obr. 7.17: Simulace chodu bateriového uložení ve dnech 1. a 2. června v prvním roce používání, kde červená barva v simulaci znamená přebytky elektrické energie a zelená barva označuje odběr elektrické energie ze sítě.</i>	66
<i>Obr. 7.18: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložením.</i>	69
<i>Obr. 7.19: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.</i>	71
<i>Obr. 7.20: Bodové hodnocení podílu vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny určené pro vlastní spotřebu podniku.</i>	72
<i>Obr. 7.21: Bodové hodnocení měrných nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.</i>	73
<i>Obr. 7.22: Citlivostní analýza meziročního růstu/ poklesu cen elektrické energie na hodnotu NPV.</i>	77
<i>Obr. 7.23: Vývoj cen elektřiny pro spotřebitele mimo domácnosti, EU-28 a eurozóna, 2008–2019.</i>	78
<i>Obr. 7.24: Citlivostní analýza velikosti diskontní míry na hodnotu NPV.</i>	78
<i>Obr. 7.25: Citlivostní analýza meziroční změny odběru elektrické energie ze sítě na hodnotu NPV.</i>	79
<i>Obr. 7.26: Citlivostní analýza vlivu změny investičních nákladů na hodnotu NPV.</i>	79
<i>Obr. 8.1: Vliv změny energetického zisku z fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu na velikost poskytnuté podpory od státu.</i>	82





## Seznam tabulek

<i>Tab. 5.1: Ukázka souhrnného kumulativního rozpočtu.</i>	32
<i>Tab. 7.1: Tabulka technických informací budov.</i>	42
<i>Tab. 7.2: Tabulka vypočtených hodnot pro minimální rozestupy fotovoltaických modulů.</i>	44
<i>Tab. 7.3: Tabulka výkonů jednotlivých fotovoltaických elektráren.</i>	45
<i>Tab. 7.4: Výsledky vlivu stínění.</i>	47
<i>Tab. 7.5: Model fotovoltaické elektrárny 1 kWp, která bude simulována na střeše parkovacího domu bez vlivu stínění, ztrát v systému a účinností solárních modulů prvního dne kalendářního roku 2012-2016.</i>	50
<i>Tab. 7.6: Průměrný kalendářní týden hodinových odběrů činného výkonu po vykompenzování odchylky a navýšení spotřeby</i>	52
<i>Tab. 7.7: Vzorová data pro simulaci fotovoltaického systému se započteným vlivem stínění, ztrát v systému a účinností solárních modulů prvního dne kalendářního roku.</i>	53
<i>Tab. 7.8: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.</i>	54
<i>Tab. 7.9: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren včetně staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.</i>	54
<i>Tab. 7.10: Rozpočet pro realizaci projektu.</i>	56
<i>Tab. 7.11: Bodové zisky projektu bez akumulace z jednotlivých kritériích.</i>	59
<i>Tab. 7.12: Vstupní ekonomické parametry.</i>	60
<i>Tab. 7.13: Peněžní toky fotovoltaického systému bez akumulace</i>	62
<i>Tab. 7.14: Souhrn výsledků z ekonomických kritérií.</i>	64
<i>Tab. 7.15: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010 s bateriovým uložištěm 62 kWh.</i>	67
<i>Tab. 7.16: Porovnání výstupních hodnot fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.</i>	67
<i>Tab. 7.17: Porovnání výstupních hodnot fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací se starou fotovoltaickou elektrárnou z roku 2010.</i>	68
<i>Tab. 7.18: Rozpočet pro realizaci projektu s bateriovým uložištěm.</i>	70
<i>Tab. 7.19: Bodové zisky projektu fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací.</i>	73
<i>Tab. 7.20: Výpočet míry dotace poskytované od státu pro fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm.</i>	73
<i>Tab. 7.21: Vstupní ekonomické parametry.</i>	74

<i>Tab. 7.22: Souhrn výsledků z ekonomických kritérií pro fotovoltaický systém bez akumulace a s akumulací .....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 7.23: Peněžní toky fotovoltaického systému s bateriovým systémem.....</i>	<i>76</i>
<i>Tab 8.1:Souhrn výsledků z ekonomických kritérií pro fotovoltaický systém bez akumulace a s akumulací .....</i>	<i>81</i>
<i>Tab 8.2: Porovnání fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací při zisku podpory od státu v obou projektech. ....</i>	<i>82</i>



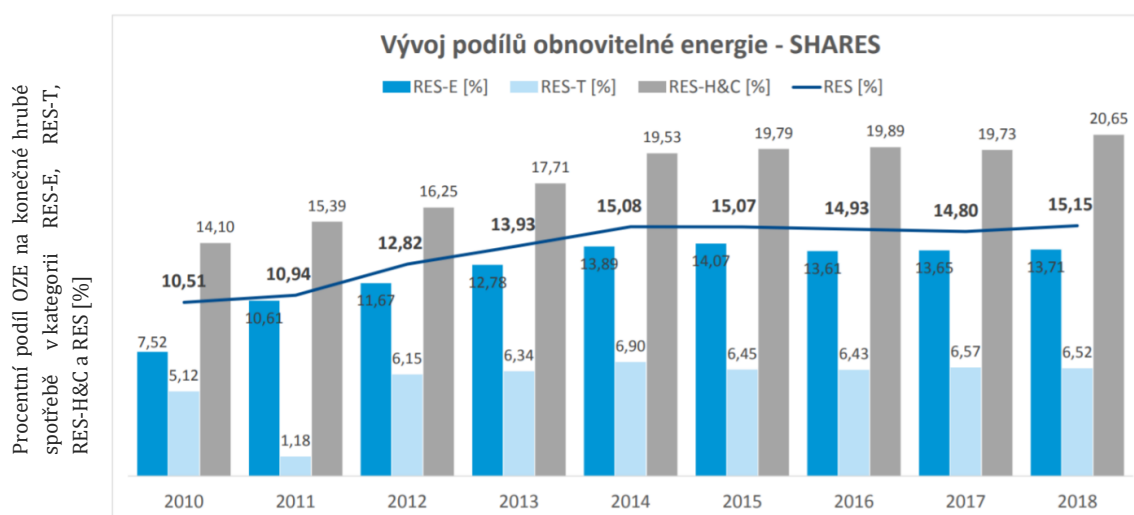
## Seznam zkratek

<i>RES - E</i>	<i>Podíl OZE na konečné hrubé spotřebě elektřiny</i>
<i>RES - T</i>	<i>Podíl OZE na konečné hrubé spotřebě v dopravě</i>
<i>RES – H&amp;C</i>	<i>Podíl OZE na konečné hrubé spotřebě ve vytápění a chlazení</i>
<i>RES</i>	<i>Podíl OZE na celkové konečné hrubé spotřebě energie dle výpočtu Eurostat - SHARES</i>
<i>AC</i>	<i>Střídavý proud</i>
<i>DC</i>	<i>Stejnoseměrný proud</i>
<i>OZE</i>	<i>Obnovitelné zdroje energie</i>
<i>ČR</i>	<i>Česká republika</i>
<i>EU</i>	<i>Evropská unie</i>
<i>FVE</i>	<i>Fotovoltaická elektrárna</i>
<i>OP PIK</i>	<i>Operační program pro Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost</i>
<i>ETES</i>	<i>Elektrotermální uložení elektrické energie</i>
<i>P2G</i>	<i>Power to Gas</i>
<i>MP</i>	<i>Malý podnik</i>
<i>SP</i>	<i>Střední podnik</i>
<i>VP</i>	<i>Velký podnik</i>
<i>MPP</i>	<i>Maximum power point</i>
<i>Ts</i>	<i>Prostá doba návratnosti</i>
<i>Tds</i>	<i>Reálná doba návratnosti</i>
<i>NPV</i>	<i>Čistá současná hodnota</i>
<i>IRR</i>	<i>Vnitřní výnosové procento</i>



# 1 ÚVOD

V dnešní době je vyvíjen velký tlak na energetiku kvůli snížení emisí z výroby elektrické energie z elektráren na fosilní paliva a na bezpečnost výroby a dodávky elektrické energie. Řešením tohoto problému je nahrazení stávajících elektráren obnovitelnými zdroji elektrické energie (OZE). Česká republika (ČR) se již dříve zavázala Evropské unii (EU), že do roku 2020 naplní cíl 13,0 % podílu OZE na konečné hrubé spotřebě. Pro EU to znamenalo celkový podíl OZE 20,0 %. Česká republika tento cíl splnila již v roce 2013 s 13,93 % a od té doby se příliš nezapojovala do další výstavby nových obnovitelných zdrojů. V dnešní době je však stanoven nový závazný cíl, který říká, že do roku 2030 by měl celkový podíl OZE v EU činit 32,0 %, kde ČR v návrhu vyčíslila svůj příspěvek na 20,8 %, což ovšem nemusí být konečná hodnota v závislosti na jednání s Evropskou komisí.



Obr. 1: Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010-2018. <sup>1</sup>

Tento cíl lze splnit pouze za okolností, kdy se budou v České republice budovat nové obnovitelné zdroje. Jelikož výstavba nových vodních a větrných elektráren v ČR již není příliš možná, z důvodu zaplnění stávajících geografických pozic, lze spoléhat při plnění tohoto cíle z větší části na výstavbu nových fotovoltaických elektráren. Výstavba nových obnovitelných zdrojů však nese určitá rizika pro dodržení kvality dodávané energie. Jelikož výroba energie z obnovitelných zdrojů je ve většině případů závislá na počasí, je důležité přebytky elektrické energie uskladňovat do energetických uložišť.

Tato práce se zabývá návrhem fotovoltaického systému pro společnost DEL a. s. ve Žďáru nad Sázavou. V prvních kapitolách práce jsou popsány jednotlivé komponenty fotovoltaické elektrárny. V druhé rešeršní části jsou popsány možnosti akumulace elektrické energie a operační program pro Podnikání a inovace

<sup>1</sup> BUFKA A, Veverková J, Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010-2018.

pro konkurenceschopnost (OP PIK). Na závěr je vytvořen návrh fotovoltaického systému včetně ekonomického vyhodnocení pro výše zmíněnou společnost, která nyní rozšiřuje své kapacity a přemýšlí o výstavbě fotovoltaického zdroje na nových budovách firmy.



## 2 SOLÁRNÍ ČLÁNEK

Solární článek je plochá elektronická součástka, která využívá principu fotovoltaického jevu. Tento jev byl objeven v roce 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Bequerelem. Spočívá ve fyzikálním jevu, kdy se světelná energie přemění na energii elektrickou. Přeměna probíhá bez jakýchkoliv emisí škodlivých látek, bez spotřeby látek v solárně aktivních materiálech a bez mechanických pohyblivých dílů, takže nedochází ke ztrátám vlivem tření.

### 2.1 PRINCIP A KONSTRUKCE

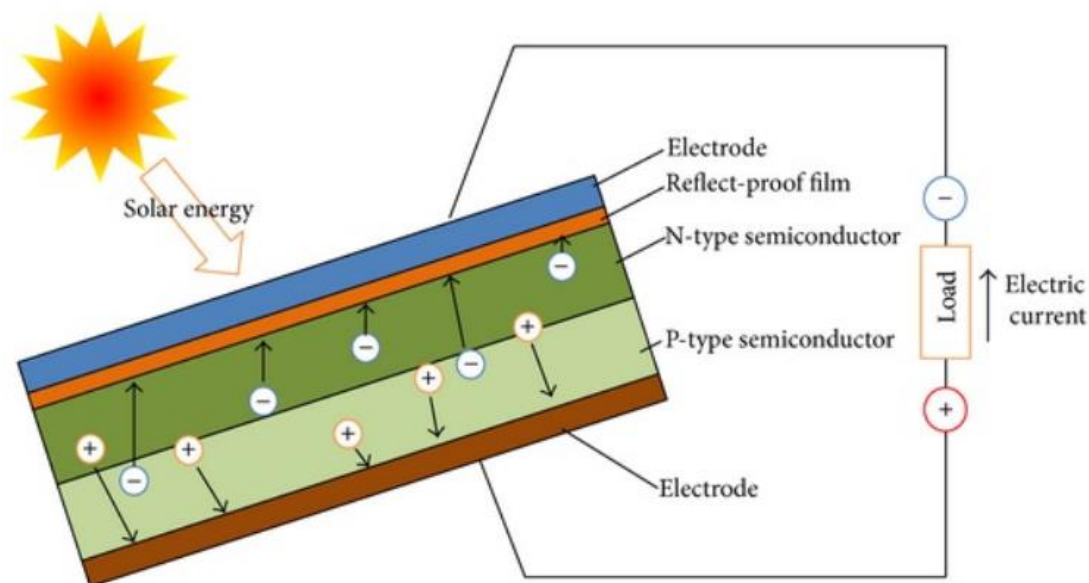
Solární články se skládají z polovodičů a většina z nich je vyrobena na bázi krystalického křemíku. Tyto články mají dvě rozdílně dotované oblasti s různou koncentrací nosičů náboje. Dotováním atomů jiného prvku do polovodiče docílíme změny jeho elektrické vodivosti a vlastností polovodiče. Strana článku, která leží směrem ke slunečnímu záření, je záporně dotována atomy fosforu, strana ležící pod ní, je kladně dotována atomy bóru. V takto různě dotovaných oblastech vzniká vnitřní elektrické pole, které je způsobeno difuzí nadbytečných elektronů z polovodiče N do polovodiče P v prostoru PN přechodu. To má za následek vznik oblasti, které se říká vrstva prostorového náboje. Tato oblast je specifická malým počtem volných nosičů náboje. V kladně dotované oblasti typu P zůstávají záporně a v záporně dotované oblasti typu N zase kladně nabitě atomy daného dotujícího prvku

Dopadne-li na solární článek světelný paprsek, může zářivá energie fotonů uvolnit elektrony z krystalické mřížky PN přechodu. Fotony se přitom absorbují. Uvolněné záporně nabitě elektrony ponechají na svém místě vzniklé elektronové díry. Tyto volné elektrony a díry se vnitřním elektrickým polem oddělí a jsou přitahovány do opačných směrů, tzn. v horní vrstvě křemíku vznikne přebytek elektronů ve spodní vrstvě zas přebytek děr. Tento jev má za následek vznik opačné polarity. Následně mezi přední a spodní vrstvou vznikne rozdíl potenciálů, který lze naměřit jako elektrické napětí. Toto napětí můžeme naměřit na krystalických solárních článcích v rozsahu od 0,6-0,7 V. Pokud se uzavře elektrický obvod, poteče přes zátěž elektrický proud (viz. Obr. 2.1). Ne však všechny elektrony se podílí na průtoku proudu, protože některé elektrony dřív zrekombinují, než dosáhnou kontaktů.<sup>2 3</sup>

---

<sup>2</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>3</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.



Obr. 2.1: Konstrukce a přeměna energie v krystalickém křemíkovém článku. <sup>4</sup>

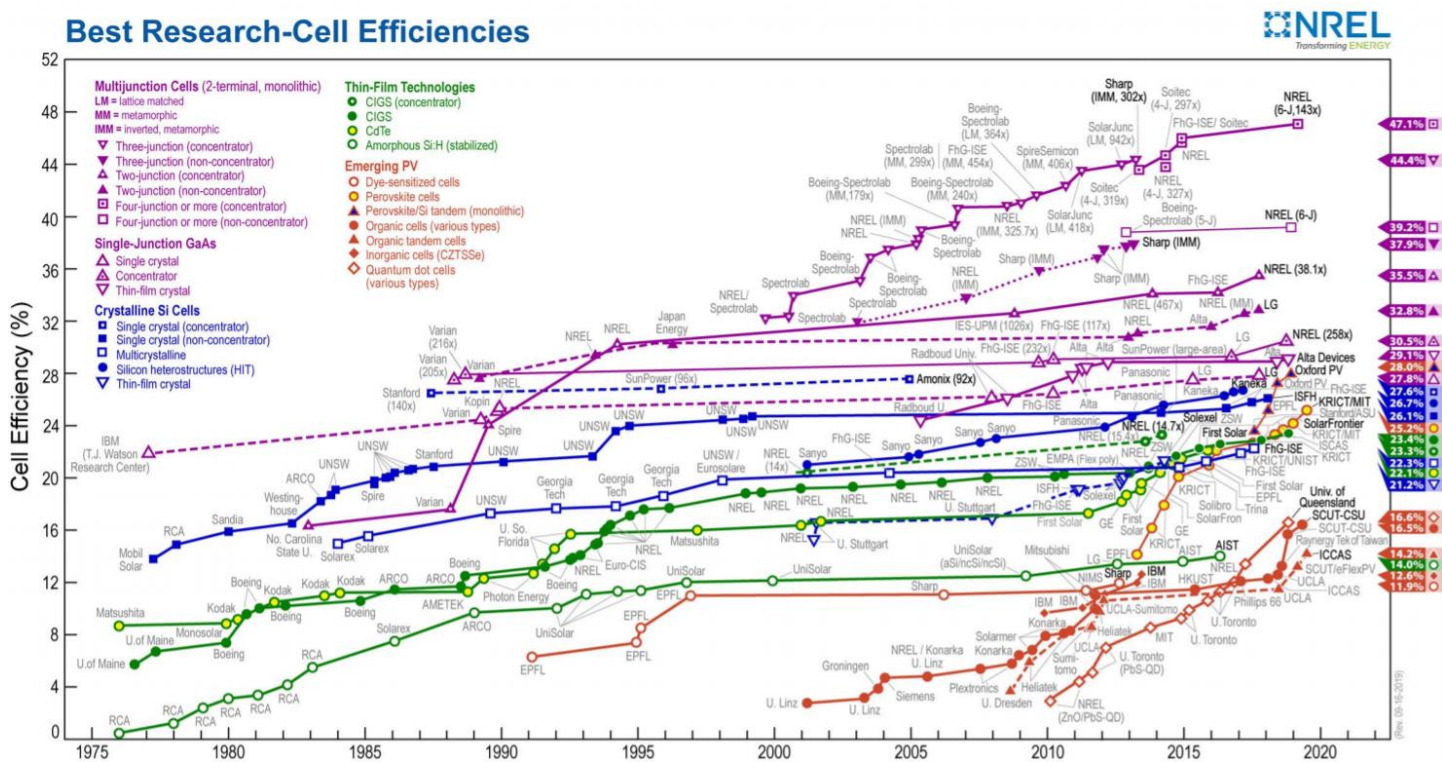
Aby bylo možné uvolněné elektrony světelným paprskem z PN přechodu odvádět do zátěže, jsou na obou stranách článku elektricky vodivé kontakty. Na přední straně článku je zhotovena vodící kontaktní mřížka, která musí zaujímat co nejmenší plochu, aby nedocházelo ke zmenšení aktivní plochy článku. Na zadní straně článku již bývá zpravidla vodící kontaktní plocha. Jen u speciálních článků, kde je zapotřebí extrémní účinnosti, mohou být elektrické kontakty z přední strany vyvedeny taktéž na spodní stranu, aby nedocházelo k žádnému zastínění aktivní plochy. Pod vrchními vodivými kontakty dále bývá antireflexní vrstva, která zabraňuje zbytečným odrazům od povrchu solárního článku. <sup>5</sup>

<sup>4</sup> ZHANG, T. Van Gerven a J. Degève, *ResearchGate, Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs*. [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-operating-principle-of-a-PV-solar-cell-adapted-from-22\\_fig1\\_263354977](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-operating-principle-of-a-PV-solar-cell-adapted-from-22_fig1_263354977).

<sup>5</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

## 2.2 KRYSTALICKÉ ČLÁNKY

Celosvětově jsou krystalické články nejvíce rozšířené. Jejich poměr ve světě činí 97 % a maximální účinnost byla dosažena 27,6 % z heterostrukturních křemíkových solárních článků od firmy Kaneka Solar Energy. Tyto krystalické články se dále dělí na monokrystalické a polykrystalické články.



Obr. 2.2: Vývoj nejvyšších dosažených účinností solárních článků (rok 2018).<sup>6</sup>

### 2.2.1 MONOKRYSTALICKÝ ČLÁNKY

Tento typ je nejčastěji používaným solárním článkem v našich zeměpisných šířkách a jeho struktura je tvořena pouze jedním krystalem. Jejich charakteristická barva je tmavě modrá až černá a jejich tvar je nejčastěji čtverec. Délky jednotlivých stran jsou většinou normalizované a pohybují se v hodnotách 10, 12,5 a 15 centimetrů. Nejmodernější monokrystalické solární články mohou mít až 15,2 cm a jsou většinou vybaveny třemi vodivými páskami. V praxi je možné vidět i monokrystalické články ve tvaru čtverce se zaoblenými rohy. Jelikož moduly jsou většinou pravouhlé a použitím obých čtverců dochází ke snížení účinnosti důsledkem menší využití plochy, tak se tento typ používá nejčastěji v modulech pro integraci do budov, kde je zapotřebí částečná průhlednost nebo vzhledový

<sup>6</sup> National Renewable Energy Laboratory: *Cell-efficiency*, 2018 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.

design. Průměrná účinnost těchto článků se pohybuje okolo 14 % až 20 %, u kvalitních monokrystalických článků dosahuje účinnost až 25 %.

Při výrobě se používá nejčastěji Czokralskiho metoda. Tato metoda spočívá v tom, že se ponoří zárodek krystalu do vysoce čisté křemíkové taveniny a při pomalém otáčení se postupně vytahuje kulatá monokrystalická tyč až o průměru 30 centimetrů a několika metrů délky. Následně se kulatá tyč rozřeže na požadovaný tvar (čtverec, poločtverec, atd.) a pomocí pily s ocelovými strunami se nařeže na destičky o tloušťce 0,3 milimetrů. Při této metodě je nejvíce energeticky a ekonomicky náročné roztavit křemík na 420 °C (krystalizace).<sup>7 8</sup>



Obr. 2.3: Struktura monokrystalického článku.<sup>9</sup>

## 2.2.2 POLYKRISTALICKÝ ČLÁNKY

Zatímco monokrystalické články byly složeny z jednoho krystalu, polykrystalické články jsou složeny z mnohokrystalů. Tento typ článků se vyznačuje značně třpytivě modrou barvou a je velmi snadné je rozeznat od monokrystalických článků. Obvykle mají čtvercový tvar s normovanou délkou strany 10; 12,5; 15; 15,6 nebo 21 cm. Účinnost u tohoto typu je menší a pohybuje se v rozmezích 12 % až 17 %. Tyto články mají největší zastoupení tam, kde je určitá odchylka modulů od ideální orientace.<sup>7 8</sup>

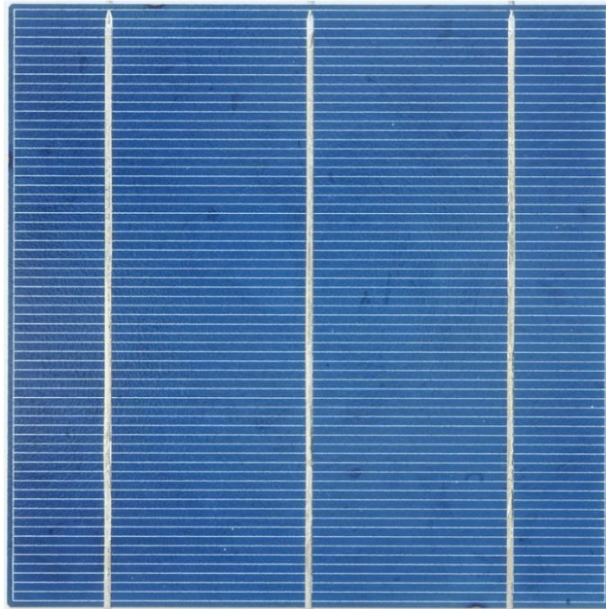
Výroba polykrystalického křemíku je značně jednodušší a levnější než výroba monokrystalického křemíku. Většinou se používá metoda blokového lití.

<sup>7</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>8</sup> Elektřina ze slunce - Solární elektrárna na klíč: *Typy solárních panelů* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.elektřinazeslunce.cz/faq-typy-solarnich-panelu>.

<sup>9</sup> Sinovoltaics, *Monocrystalline Silicon Cells: efficiency and manufacturing*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/monocrystalline-silicon-cells/>.

Tato metoda spočívá v tom, že se křemík ve vakuu zahřeje na 1500 °C a v grafitovém kelímku se regulovaně ochlazuje až do teploty bodu tání. Takto se vyrobí bloky 40x40 centimetrů o výšce cca 30 cm. Tyto bloky se následně rozřezou na tyče a poté pomocí pily na destičky. U této metody dojde k menším odřezům než u Czokralskiho metody.<sup>10 11</sup>



Obr. 2.4: Struktura polykrystalického článku.<sup>12</sup>

## 2.3 TENKOVRSŤVÉ ČLÁNKY

Z důvodu vysoké energetické náročnosti výroby krystalických článků, byly navrženy tenkovrstvé články. Tyto články mají velkou budoucnost kvůli jejich dobrým fyzikálním vlastnostem, ale i kvůli nízké energetické náročnosti. Jejich poměr ve světě však činí pouze 3 % a každým rokem se jejich výroba snižuje, a to kvůli jejich poměrně nízké účinnosti. Cena těchto článků je menší, ale pokud do pořizovací ceny započteme montážní a instalační náklady, jsou tenkovrstvé články cenově srovnatelné s krystalickými články.

### 2.3.1 ČLÁNKY Z AMORFNÍHO KŘEMÍKU (a-Si)

Základním materiálem této tenkovrstvé technologie je amorfní křemík, který se vyrábí chemickým odlučením z plynného silanu při teplotách okolo 200 °C. Mezi vrstvy P a N se musí integrovat intristická vrstva, která zajišťuje vyšší životnost

---

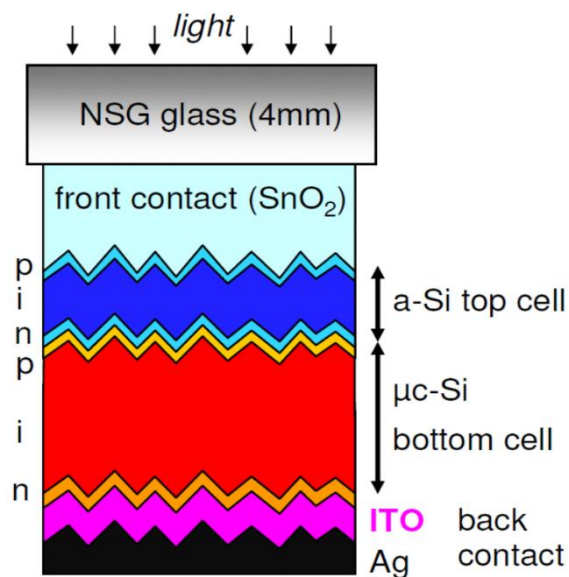
<sup>10</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>11</sup> Elektřina ze slunce - Solární elektrárna na klíč: *Typy solárních panelů* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.elektřinazeslunce.cz/faq-typy-solarnich-panelu>.

<sup>12</sup> MRWATT: *Solar cell Polycrystalline*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.mrwatt.eu/en/shop/solar-cells/polycrystalline-photovoltaic-cells/polycrystalline-solar-cell-6x6-inches-156x156-mm-a-grade-2-bus-bars-3750mw-power.html>.

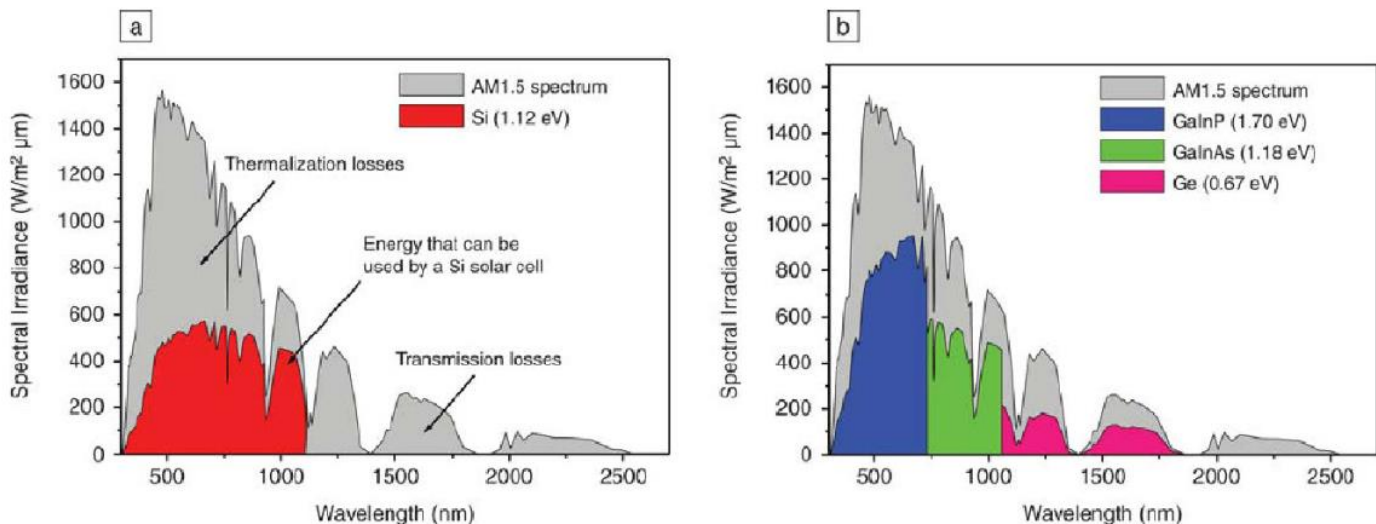
nosičů náboje. Kdyby tato vrstva nebyla integrována, došlo by k okamžité rekombinaci, z důvodu krátké difuzní vzdálenosti dotovaného amorfního křemíku. V této vrstvě také dochází k absorpci světla a vytváření nových nosičů náboje. Vrstvy P a N vytváří pouze vnitřní elektrické pole, které nosiče náboje odděluje. Tato struktura se nazývá pin.

Nevýhodou této technologie je nízká účinnost, která se pohybuje v rozmezích 7 % až 9 %. Navíc v prvních 6 - 12 měsících dochází k degradaci materiálu a účinnost článku ještě klesá. Poté však drží stálou hodnotu účinnosti. Z tohoto důvodu výrobci těchto článků uvádí jako jmenovitou účinnost, účinnost po degradaci materiálů.



Obr. 2.5: Ukázka tandemového solárního článku se dvěma PID vrstvami. <sup>13</sup>

<sup>13</sup> Semantic Scholar, *High-efficiency multi-junction solar cells* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/High-efficiency-multi-junction-solar-cells-%3A-status-Yastrebova/2a4dce1dd62aba60fb2fe2a8f3f11241b2f325a0/figure/5>.



Obr. 2.6: Porovnání obyčejného solárního článku z amorfního křemíku s tandemovým solárním článkem se třemi PID vrstvami. <sup>14</sup>

Na Obr. 2.6 jsou porovnány dva články s odlišnými počty vrstev nad sebou. Z obrázků lze vidět, že pokud je každá vrstva navržena na jinou barvu slunečního záření, dojde ke zvýšení spektra citlivosti solárního článku. Tímto způsobem může být docíleno až teoretické účinnosti 57,3 %. Další velkou výhodou technologie s více vrstvami je, že tyto články mohou být upevněny na nejrůznější materiály. <sup>15 16</sup>

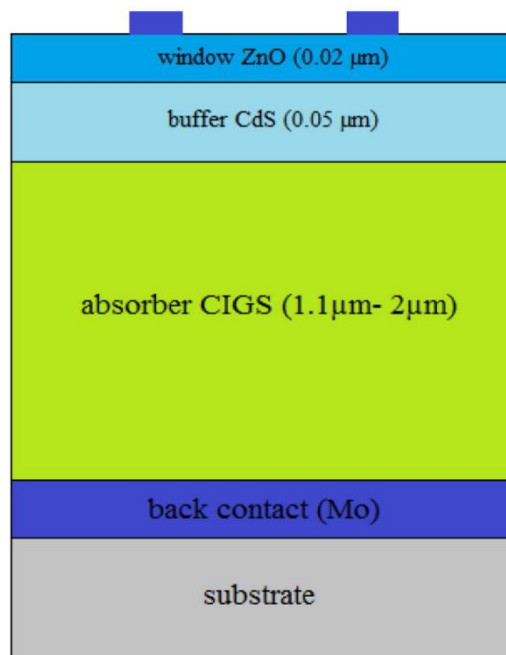
### 2.3.2 CIGS ČLÁNKY

V dnešní době tento typ solárních článků vykazuje nejvyšší účinnost z tenkovrstvých technologií. Účinnost se pohybuje okolo 18 %. Jak již říká název, struktura GIGS těchto článků je tvořena čtyřmi prvky: měď, indium, galium a selen. Mezi hlavní výhody těchto článků patří schopnost reagovat na červenou složku světla (tzn. při zatažené obloze nebo mlze dochází k výrobě elektrické energie), dlouhá životnost, odolnost a snadná montáž. Moduly s články CIGS je možné instalovat na všechny druhy střech, ale i na fasády domů.

<sup>14</sup> Semantic Scholar, *High-efficiency multi-junction solar cells* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/High-efficiency-multi-junction-solar-cells-%3A-status-Yastrebova/2a4dce1dd62aba60fb2fe2a8f3f11241b2f325a0/figure/5>.

<sup>15</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>16</sup> Nell. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1486627/metrics#metrics>.



Obr. 2.7: Popis struktury CIGS solárního článku.<sup>17</sup>

Jak lze vidět z Obr. 2.7 na transparentní substrát (obvykle sklo) je naprášena vrstva molybdenu. Následně dojde k napaření vrstvy mědi (Cu), india (I), gallia (Ga) a selenu (Se). Dále musí dojít k selenizaci ve vodíkové atmosféře při teplotě vyšší než 400 °C. V posledních krocích se provede chemická depozice tenké vrstvy sulfidu kademnatého (CdS), naprášení transparentní vrstvy oxidu zinečnatého (ZnO) dotovaný hliníkem (Al) a vytvoření elektrických kontaktů z niklu (Ni) a stříbra (Al).  
18 19

### 2.3.3 ČLÁNKY NA BÁZI TELURIDU KADEMNÉHO (CdTe)

Tento typ článků se vyznačuje lesknoucí tmavězelenou až černou barvou. Účinnost je vyšší než u amorfních křemíků a pohybuje se okolo 11 %. Strukturu tvoří polykrystalický tenkovrství materiál se šířkou zakázaného pásu 1,44 eV, díky které pohlcuje sluneční světlo na ideální vlnové délce. Další pozitivní vlastností tohoto článku je vysoký činitel absorpce, díky kterému mohou být články na bázi CdTe velmi tenké.

Velkou nevýhodou je však, že je složen z těžkého kovu kadmia, který je jedovatý a může být potencionální karcinogen, který se hromadí v rostlinné a živočišné tkáni. Samotné užití kadmia v solárním článku není až tak velký problém,

<sup>17</sup> International Journal of Hydrogen Energy: *New ultra thin CIGS structure solar cells using SCAPS simulation program*. 2017, (42). ISSN 0360-3199.

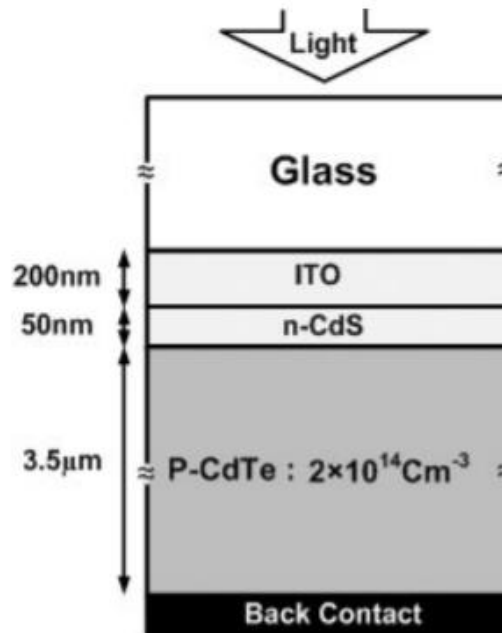
<sup>18</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>19</sup> International Journal of Hydrogen Energy: *New ultra thin CIGS structure solar cells using SCAPS simulation program*. 2017, (42). ISSN 0360-3199.



avšak recyklace těchto článků je velmi nákladná a nebezpečná. Z tohoto důvodu vznikají otázky ohledně užití těchto článků kvůli ochraně životního prostředí.

Na výrobu se používá nejčastěji vakuová metoda, při které dochází k vylučování polovodičových vrstev. Celý tento proces probíhá při teplotě 700 °C.<sup>20</sup>  
21



Obr. 2.8: Popis struktury CdTe solárního článku.<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>21</sup> BENDA, Vítězslav. *Přednášky z předmětu Aplikace solárních předmětů*. (B1M13ASSN). ČVUT FEL v Praze, 2019.

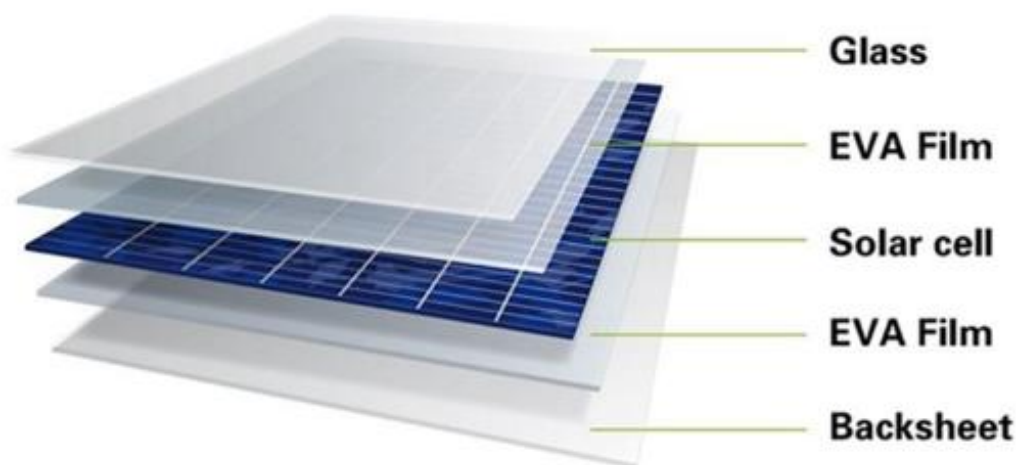
<sup>22</sup> Taktéž.

## 3 KOMPONENTY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

Fotovoltaická elektrárna se neskládá pouze ze solárních modulů a střídačů, ale ke správné funkci jsou zapotřebí i jiné komponenty jako jsou kabely, nosné konstrukce, akumulátory, ale především ochranné jistící prvky. V této kapitole jsou popsány potřebné komponenty pro úspěšný návrh a provoz fotovoltaické elektrárny.

### 3.1 SOLÁRNÍ MODULY

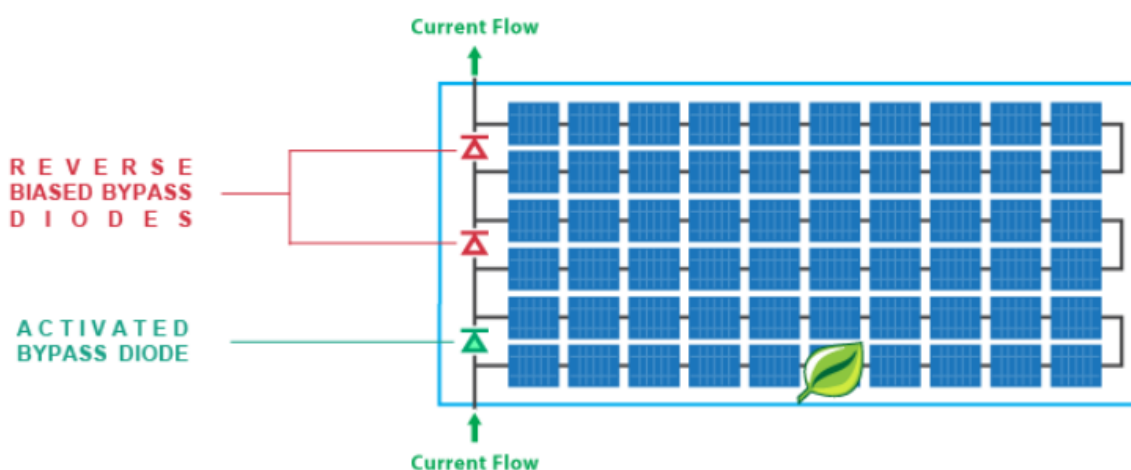
V kapitolách 2.2 a 2.3 byly detailně popsány základní struktury solárních článků. V praxi se však nepoužívají jednotlivé solární články, ale vytváří se z nich takzvané moduly. Modul většinou obsahuje 36, 48, 54, 60 nebo 72 článků zapojených do sériových větví. Následně takto vytvořené větve se oboustranně zapustí do vrstvy EVY (etylen- vinyl- acetátu), která slouží k ochraně před povětrnostními vlivy, mechanickým namáháním a vlhkostí článků. Dalším krokem je umístění na přední stranu článků tvrzené sklo, které obsahuje jen malé množství oxidu železa a je tudíž velmi propustné pro světlo. Na zadní stranu článku s vrstvou EVY se nanese folie z umělohmotného kompozitu. Celá tato konstrukce je poté upevněna do hliníkového rámu.



Obr. 3.1: Konstrukce fotovoltaického modulu.<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Brijen capsulants, *Brij Protect Backsheets* - Brij Encapsulants (India), 2016 [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <http://www.brijencapsulants.com/about-us/products/brij-protect-backsheets/>

Nevýhodou zapojení článků do sériových větví v modulu je, že pokud dojde k zastínění nebo závadě jednoho článku v sériové větvi, dojde k omezení proudu, a to v takové velikosti, že celá větev dodává hodnotu proudu jako nejméně osvětlený článek. V horším případě může dojít k vytvoření tzv. Hot Spotu. Tento Hot Spot je způsoben tím, že ostatní plně osvětlené články ve větvi jsou nadále aktivní a celý vyrobený proud teče přes neosvětlený článek, ve kterém dochází k přeměně energie na teplo. Vysoká teplota dále roztaví materiál článku a modul se zničí. Aby nedošlo k této nežádoucí situaci, jsou použity obtokové (bypass) diody mezi jednotlivé části modulu, které vedou proud mimo neaktivní větvev.



Obr. 3.2: Zapojení obtokových diod ve fotovoltaickém modulu. <sup>24</sup>

Pokud je porovnávána účinnost takto vyrobeného solární modulu a solárního článku, je účinnost modulu vždy menší než článku. Je to logické a je to způsobeno tím, že přední sklo a vrstva EVY nepropouští všechno sluneční záření, ale také i tím, že články nelze osadit v plné ploše modulu. <sup>25</sup>

## 3.2 NOSNÉ KONSTRUKCE

Z důvodu, že solární moduly jsou vystaveny všem vlivům počasí, musí být správně navržena i nosná konstrukce. Musí být dimenzována tak, aby odolala proti všem vlivům mechanickému zatížení (např. vítr, sníh, led), tak i proti chemickému zatížení (např. koroze). Životnost konstrukce by měla být navržena alespoň na životnost solárních modulů tzn. 30 roků a více.

Při montáži je nutné zohlednit všechny parametry střechy (např. náklon a výška střechy, rozestupy modulů, atmosférické podmínky, atd.), aby bylo možné vyloučit nadzdvížení, skluz a nebo překlopení konstrukce s moduly. V praxi se

<sup>24</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>25</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

používají dva typy upevnění nosné konstrukce na střechu: zátěžové kotvení a přímé kotvení. Zátěžové kotvení je závislé na nosnosti samotné střechy objektu. Přímé kotvení je lehčí, ale dojde k průniku kotev do střechy objektu (narušení hydroizolační funkce pláště střechy), a proto musí dojít následně k ošetření průniků.



Obr. 3.3: Konstrukce solárních modulů.<sup>26</sup>

Pokud jsou moduly ukotveny na ploché střechě, musí dojít k optimálnímu navržení rozestupů jednotlivých konstrukcí, aby nedocházelo ke zbytečnému stínění solárních modulů v zimních měsících. Potřebná plocha pod moduly, aby se zabránilo vzájemnému stínění je přibližně 2,7 násobek plochy modulu.<sup>27 28</sup>

### 3.3 STŘÍDAČE

Tento elektrický přístroj je v celé fotovoltaické elektrárně nejsložitější a nejporuchovější. Slouží k převodu vyrobeného stejnosměrného napětí na střídavé napětí. Přeměna se provádí pomocí elektronických výkonových tranzistorů, s frekvencí okolo 20 kHz. Střídač je ve většině případů vybaven vypínačem proti zkratu, vypínačem proti přetížení a displejem, na kterém se zobrazují okamžité hodnoty výkonu, napětí, energie vyprodukovaná fotovoltaickou elektrárnou za sledované období, ale i indikací poruch a příčin poruch.

Účinnost střídačů se v dnešní době pohybuje okolo 94 - 97,5 %. Tato účinnost je ovšem velmi závislá na vstupních hodnotách střídače a na teplotě střídače. Z důvodu neustálých změn vstupních hodnot, jsou střídače vybaveny algoritmem MPP (Maximum power point). Tento algoritmus má za úkol vždy vyhledat bod

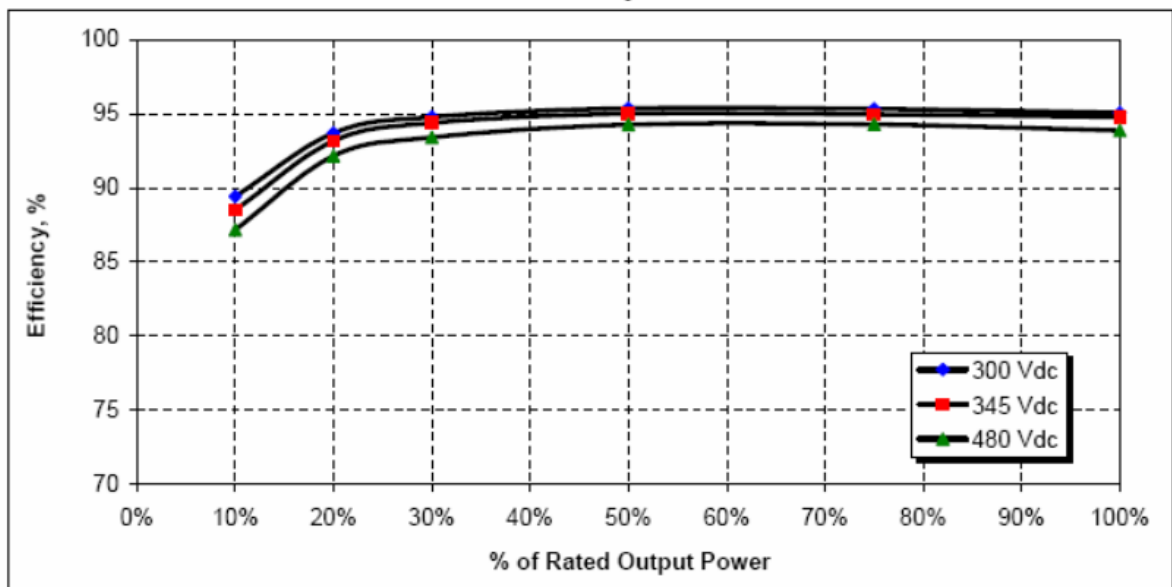
---

<sup>26</sup> KOSTKA, Tomáš. *Fotovoltaická elektrárna*. únor 2015.

<sup>27</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

<sup>28</sup> KOSTKA, Tomáš. *Fotovoltaická elektrárna*. Únor 2015.

maximálního výkonu solárního generátoru, aby se přenášel maximální možný výkon. Účinnost střídačů se dále dělí na evropskou a kalifornskou účinnost. Evropská účinnost udává průměrnou účinnost, které odpovídá střídači v solárních systémech ve středoevropských klimatických podmínkách v ročním průměru. Měří se při zatížení 5, 10, 20, 30, 50 a 100 % jmenovitého výkonu střídače. Kalifornská účinnost vychází taktéž z průměru, ale měří se při 10, 20, 30, 50, 75, a 100 % výkonu střídače.



Obr. 3.4: Ukázka měření kalifornské účinnosti střídače.<sup>29</sup>

Ve fotovoltaických systémech se rozeznávají tři základní druhy střídačů:

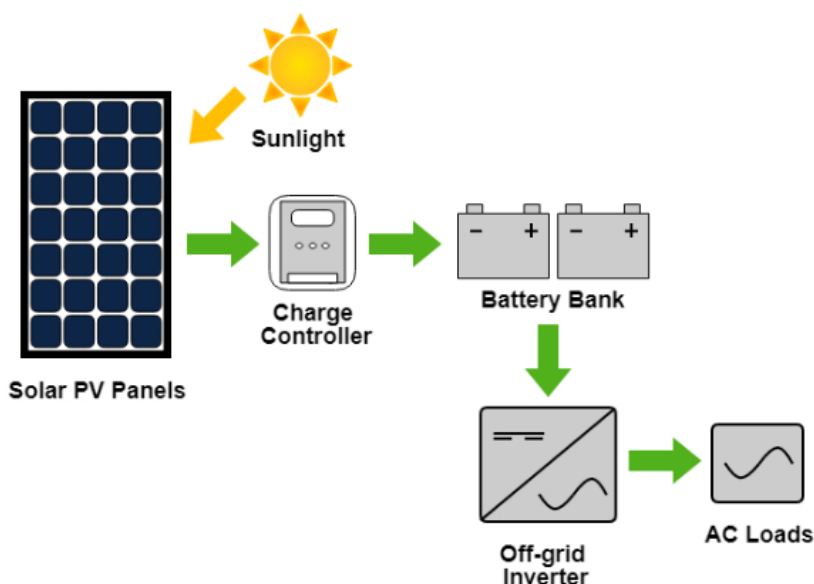
- střídače pro solární zařízení pracující se sítí
- střídače pro izolovaná solární zařízení
- střídače pro izolované instalace i instalace spojené se sítí

Střídače pro solární zařízení pracující se sítí jsou připojeny paralelně k síti. Střídač je nastaven na hodnotu napětí a frekvence sítě. Z tohoto důvodu nedochází k žádným proudovým nárazům při připojení FVE. Střídač také musí v každé chvíli sledovat síťové napětí a při výpadku dodávky elektrické energie jej okamžitě odpojit od sítě, z důvodu možných prací na vedení. Tyto střídače jsou provozovány bez akumulace elektrické energie a jsou navrhovány na hodnotu výkonu fotovoltaického pole a primárního systémového napětí.

Střídače pro izolovaná solární zařízení jsou zapojeny pouze k solárnímu generátoru bez možnosti připojení do vnější distribuční soustavy (tzn. Off-grid provoz). Tyto střídače nemohou být připojeny k jinému zdroji el. energie, jelikož

<sup>29</sup> PV Performance Modeling Collaborative: *CEC Inverter test protocol*, National Technology and Engineering Solutions of Sandia, 2018 [cit. 13.11.2019].

pracují bez vnějšího nastavování veličin napětí a frekvence. Nejčastěji se používají v oblastech, kde není možný přístup k rozvodné síti, nebo tam, kde vybudování nové přípojky by bylo velmi nákladné (např. chatové oblasti). Střídač musí být navržen tak, aby byl schopen dodávat maximální trvalý výkon všech současně používaných spotřebičů po časově neomezenou dobu. To znamená, že jeho jmenovitý výkon musí být minimálně roven nejméně součtu hodnot příkonu všech současně připojených spotřebičů na 230 V. V technické dokumentaci střídače může být uveden i maximální špičkový výkon, který může být až třikrát vyšší než jmenovitý. Příklad je dimenzován na tento výkon kvůli možnému nárazovému proudu, který je zapotřebí v prvních několika sekundách při zapnutí spotřebiče s motorem (indukční spotřebiče). K tomuto střídači se často volí i akumulátor elektrické energie, aby bylo možné vyrobenou nevyužitou elektrickou energii shromažďovat pro období bez slunečního záření.<sup>30 31 32</sup>



Obr. 3.5: Ukázka zapojení Off-grid střídače.<sup>33</sup>

Posledním typem jsou střídače, které umí pracovat v obou předchozích zapojeních. U této varianty je nutná akumulace. Slouží nám k nouzovému zásobení budov elektrickým proudem při výpadku sítě nebo pro lepší využití elektrické energie.

<sup>30</sup> HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

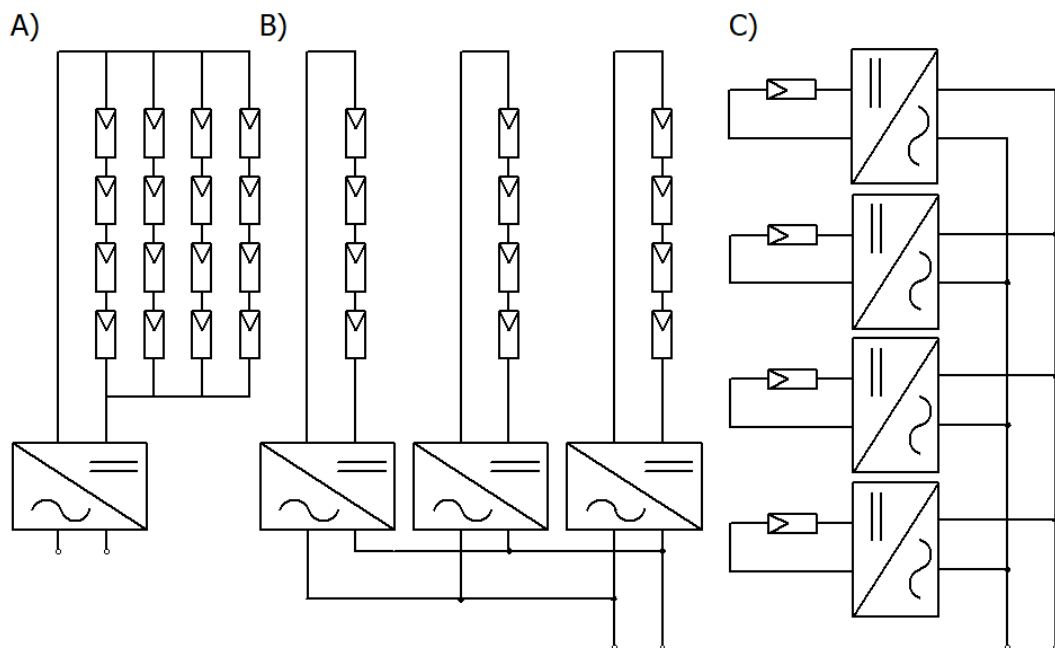
<sup>31</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

<sup>32</sup> Solární Experti, *Jak funguje ostrovní solární systém* [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaicky-system/>.

<sup>33</sup> Apricus, Solar PV System. *Solar Water Heater - Solar Hot Water Solutions by Apricus* [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <http://www.apricus.com/solar-pv-systems-29/#.XcPgi1dKhz0>.

Z jiného hlediska lze střídače dělit i podle výkonů na:

- velké centrální střídače: střídač je připojen na stovky až tisíce FV modulů (výkon FVE je 50 - 1000 kW)
- řetězcové nebo stringové střídače: na každý střídač je připojeno několik FV modulů (výkon FVE se pohybuje okolo 1 - 5 kW FVE)
- modulové střídače: střídač je připojen k jednomu FV modulu (výkon FVE je 50 - 300 W)<sup>34</sup>



Obr. 3.6: Ukázka zapojení střídačů podle výkonu A) velký centrální střídač B) řetězcové střídače C) modulové střídače.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

<sup>35</sup> Taktéž

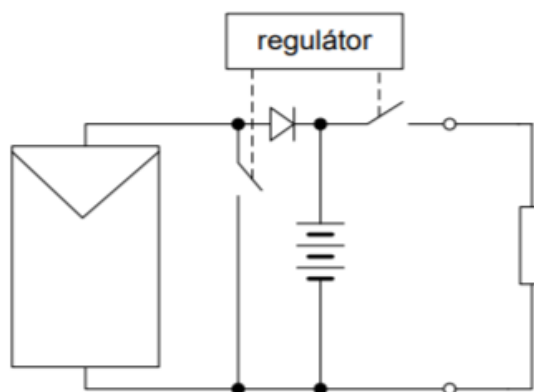
### 3.4 AKUMULÁTORY

V minulých letech se akumulátory elektrické energie nejčastěji používali pouze pro Off - grid systémy kvůli jejich vysoké pořizovací ceně. V dnešní době již pronikly i do Grid - on systémů, a to z velké části kvůli dotačnímu programu Nová Zelená Úsporám (FVE do 10 kWp) nebo kvůli dotačnímu programu pro podniky („OP PIK“). Akumulátory pro FVE mohou být různých typů (chemické, mechanické, tepelné) a kapacit (jednotky kWh až tisíce kWh.) Nejčastěji se používají akumulátory na chemické bázi, o kapacitách jednotek až desítek kWh. Tyto typy akumulátorů se používají na chatách, rodinných domech, ale už i v podnicích, kde je také střešní plocha zaplněna fotovoltaickým polem.

Velké akumulátory (stovky až tisíce kWh) se v dnešní době instalují buď u velkých fotovoltaických elektráren nebo u charge pointů.<sup>36</sup>

### 3.5 REGULÁTORY NABÍJENÍ

Základní funkcí regulátoru nabíjení je optimálně řídit proces nabíjení a vybíjení akumulátoru tak, aby nedošlo ke snížení jeho životnosti. Při nabíjení musí regulátor omezit napětí na akumulátoru. To znamená, při dosažení koncového nabíjecího napětí musí buď odpojit akumulátor od solárního pole, nebo snížit nabíjecí napětí po určitý časový okamžik. Při vybíjecím cyklu se zase musí zabránit, aby nedošlo k hlubokému vybití akumulátoru. To se provede tak, že regulátor odpojí spotřebiče od akumulátoru. K odpojení spotřebičů se většinou používají pomocné spínače (výkonné relé).



Obr. 3.7: Schéma zapojení regulátoru.<sup>37</sup>

Dalším důležitým úkolem, který regulátor musí plnit je, sledování bodu maximálního výkonu. Tento algoritmus, má stejně jako u střídačů za úkol řídit

<sup>36</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

<sup>37</sup> SEDLÁK, P. *Možnosti akumulace energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s.



solární generátor, aby vždy pracoval v bodě maximálního výkonu nezávisle na okamžitém napětí akumulátoru.<sup>38 39</sup>

### 3.6 OCHRANNÉ JISTÍCÍ PRVKY

Pořizovací cena fotovoltaické elektrárny je relativně vysoká a nechtěná destrukce fotovoltaického systému je nežádoucí. Destrukce může být způsobena jak atmosférickým, tak i spínací přepětím. Dalším možným zdrojem poruchy může být zkratování části elektrického obvodu, kde mohou vzniknout velké proudové rázy, které mohou způsobit zničení systému, v horších případech i požár. Aby se zamezilo těmto událostem, musí se v elektrickém obvodu používat jistící prvky.

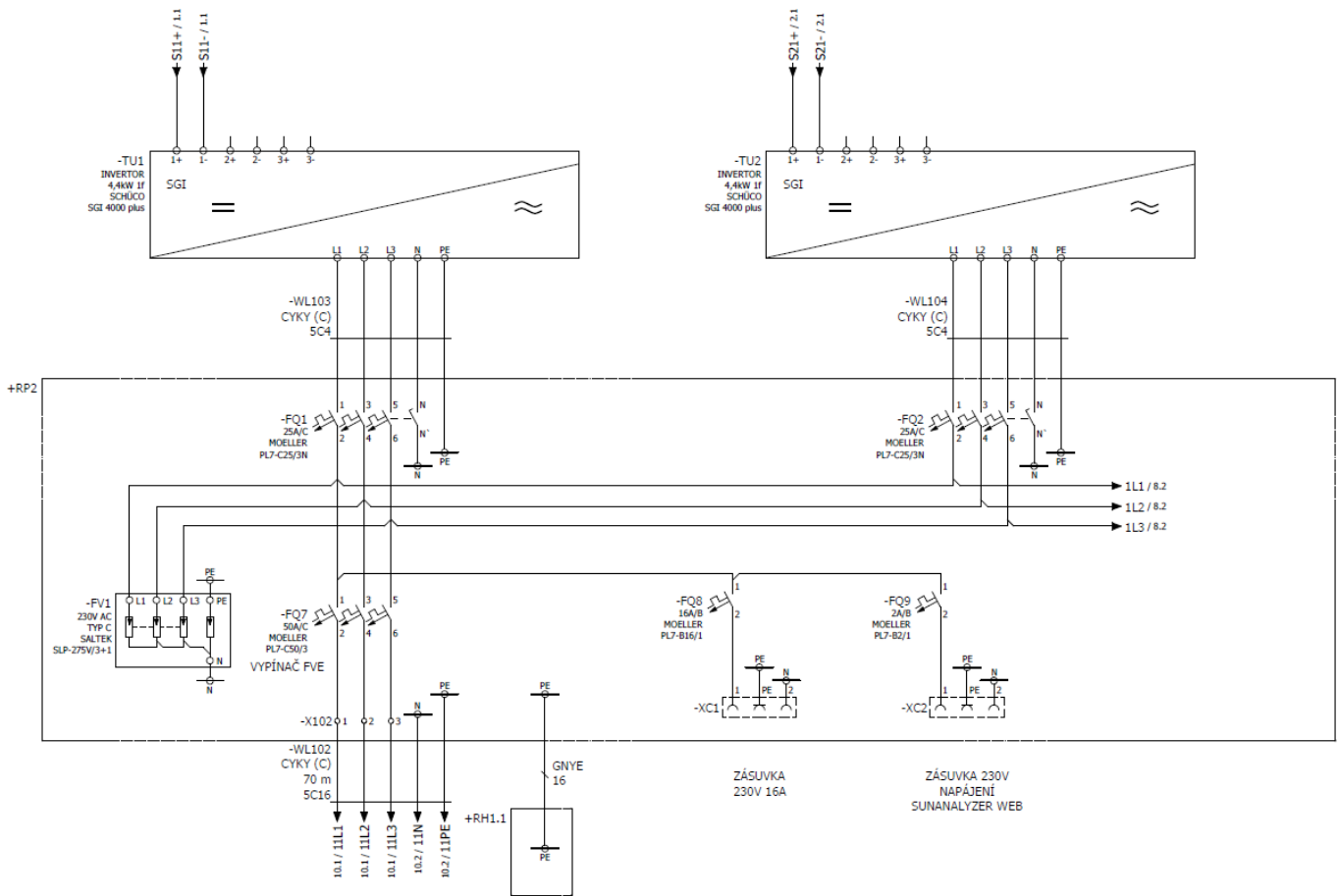
Hlavním jistícím prvkem jsou jističe a pojistky. Tyto součástky nám chrání obvod proti zkratovým proudům vzniklým poruchou. Používají se jak v DC části obvodu (před střídačem), tak i v AC části (za střídačem), aby se zamezilo možným škodám. V obou částech obvodu je i žádoucí mít přepětíové ochrany, které nás chrání proti možnému přepětí v obvodě. Dále v elektrickém obvodě fotovoltaické elektrárny lze nalézt vypínače. Tyto vypínače nám slouží pro vypnutí části fotovoltaické elektrárny.

Jak lze vidět na *Obr. 3.8*, u větších fotovoltaických elektráren je možné do AC rozváděče zabudovat také elektrické zásuvky pro spotřebiče (např. světlo v rozváděcí skříni). I tato zásuvka musí být chráněná jističem, kvůli možnému vzniku zkratového proudu ve spotřebiči.

---

<sup>38</sup> HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.

<sup>39</sup> SEDLÁK, P. *Možnosti akumulace energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s.



Obr. 3.8: Příklad schématu zapojení AC strany fotovoltaické elektrárny s dvěma zásuvkami.

# 4 MOŽNOSTI AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

## 4.1 ELEKTROCHEMICKÉ AKUMULÁTORY

Elektrochemické zdroje lze rozdělit do tří základních skupin, a to podle funkce a principu na primární články, sekundární články a palivové články.

Primární články jsou takové články, které obsahují omezené množství aktivního materiálu potřebné pro elektrochemickou reakci. Když články vyčerpají tyto aktivní materiály (vybití), nelze tyto produkty reakce pomocí vnějšího elektrického proudu převést zpět v aktivní materiál. Vybité články poté není možné znovu použít a ztrácí svoji funkci. Nejrozšířenějšími primárními články jsou v dnešní době články na bázi Zn/MnO<sub>2</sub>, neboli lidově nazývané alkalické články. Tento typ článku má katodu zhotovenou z oxidu manganičitého a anodu ze zinku. Elektrolyt je tvořen hydroxidem draselným (KOH). Těmto typům článku se nebudu dále věnovat, protože ve fotovoltaických systémech se neuplatňují.

Dalším typem jsou sekundární články. Tyto články mají stejně jako primární omezené množství aktivního materiálu, ale po vyčerpání těchto aktivních materiálů, je lze znovu obnovit pomocí elektrického proudu (nabíjení). Jedno nabití a vybití článku představuje jeden cyklus baterie. Akumulátory vydrží většinou stovky až tisíce takovýchto cyklů. Hlavními představiteli této skupiny jsou olověné, lithiové a alkalické akumulátory. Popis jednotlivých akumulátorů bude v samostatné kapitole, a to z důvodu, že ve fotovoltaických systémech se používají převážně tyto typy.

Poslední skupinou jsou palivové články. Reakční komponenty v těchto článcích se rozdílně a kontinuálně přivádějí k příslušným elektrodám, na kterých dochází k elektrochemickým reakcím mezi palivem a oxidovadlem. Důležité je při tomto procesu po celou dobu kontinuálně odvádět reakční zplodiny, protože pokud dojde k přísunu reakčních komponentů a odvodu zplodin, lze z článků odvádět teoreticky nekonečně dlouho elektrický proud. Životnost článků je daná pouze opotřebením jednotlivých částí. Tyto články se již používají a jsou známy jako P2G.

40

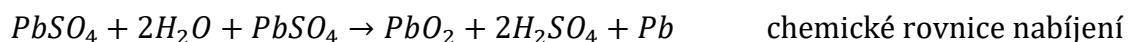
### 4.1.1 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY

Hlavní konstrukční částí olověného akumulátoru jsou dvě elektrody (kladná a záporná), které určují velikost, hmotnost, ale i životnost akumulátoru. Kladná elektroda je ve vybitém stavu tvořena aktivním materiálem ze síranu olovnatého (PbSO<sub>4</sub>), který při nabíjení posléze oxiduje na oxid olovičitý (PbO<sub>2</sub>). Záporná elektroda je tvořena ve vybitém stavu také síranem olovnatým (PbSO<sub>4</sub>), který se

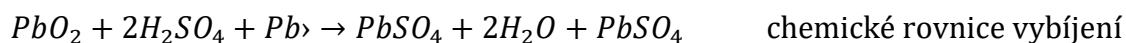
---

<sup>40</sup> SEDLÁK, P. Možnosti akumulace energie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s.

ale při nabíjení redukuje na velmi porézní olovo (Pb). Aby došlo k této chemické reakci, musí být obě elektrody ponořeny do elektrolytu. Při nabíjení akumulátoru elektrolyt ( $2H_2O$ ) houstne a tvoří se kyselina sírová ( $H_2SO_4$ ), která po nabití akumulátoru tvoří asi 37 % celkové hmotnosti akumulátoru. Jmenovité napětí plně nabitého článku se pohybuje okolo 2 V. Pro dosažení vyššího napětí se spojí jednotlivé články do série.

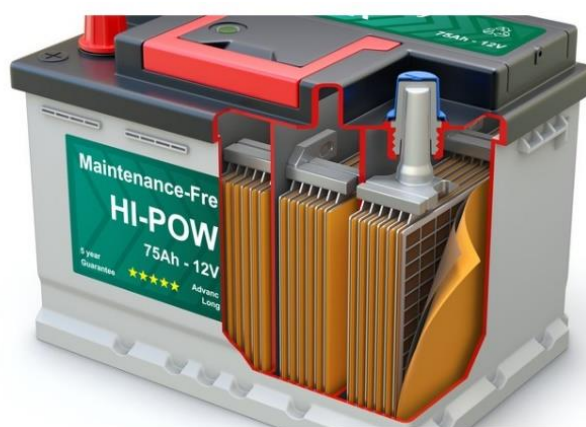


Při vybíjení akumulátoru nastává z cela opačný děj. Kyselina sírová ( $H_2SO_4$ ), se rozkládá na vodu ( $2H_2O$ ) a na elektrodách vzniknou jemné krystalky síranu olovnatého ( $PbSO_4$ ). Při vybíjení akumulátoru se musí hlídat hladina napětí, aby nedocházelo k hlubokému vybití a tím i zkracování životnosti akumulátoru.



Olověné akumulátory jsou i přes jejich stáří (první baterie byla vyrobena v roce 1859) hojně používány i dnes. Jejich velkou výhodou je pomalé vybíjení, velký měrný výkon, schopnost vysokých vybíjecích proudů a příznivá cena (nízké náklady na watthodinu). Velká nevýhoda však je pomalé nabíjení, omezená životnost, špatný poměr hmotnosti k energii a není šetrný k životnímu prostředí (olovo je jedovaté).

<sup>41 42</sup>



Obr. 4.1: Ukázka olověného akumulátoru. <sup>43</sup>

<sup>41</sup> SEDLÁK, P. *Možnosti akumulace energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s.

<sup>42</sup> CENEK, Miroslav, Jiří JINDRA, Miroslav JON, Jiří KAZELLE, Josef KOZUMPLÍK a Jan VRBA. *Akumulátory: od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

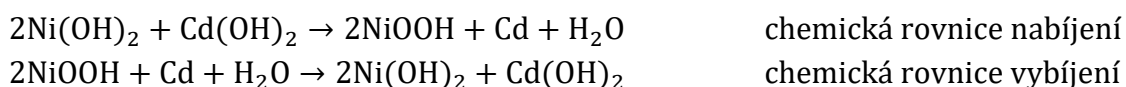
<sup>43</sup> Tzb-info: Jak funguje olověný akumulátor? 2017 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>.

## 4.1.2 ALKALICKÉ AKUMULÁTORY

Tato skupina akumulátorů zahrnuje akumulátory jako jsou nikel-kadmiové (Ni-Cd), nikel-železné (Ni-Fe), nikel-metalhydrové (NiMH) a další. Společná vlastnost těchto akumulátorů je stejný druh elektrolytu na bázi vodného roztoku hydroxidu alkalického kovu, nejčastěji hydroxidu draselného (KOH). Tyto akumulátory jsou v dnešní době již z větší části nahrazeny akumulátory lithiovými.

### 4.1.2.1 NIKL-KADMIOVÉ AKUMULÁTORY

Výroba nikel-kadmiových akumulátorů je dnes z velké části omezena, a to kvůli jedovatému kadmiumu, tak i kvůli nízké hustotě energie. Reálná hustota energie se pohybuje okolo 45-80 Wh \* kg<sup>-1</sup> a životnost se pohybuje okolo pěti let. Základním konstrukčním prvkem jsou dvě elektrody různé polaroty. Jelikož aktivní hmoty elektrod nejsou samonosné, uzavírají se elektrody do pouzder z jemně perforovaného ocelového pásu, nebo jsou vloženy do spékaných porézních skeletů. Aktivní hmota kladné elektrody obvykle bývá tvořena 80 % hydroxidu nikelného (Ni(OH)<sub>2</sub>) a 20 % práškového grafitu. Aktivní hmota záporné elektrody bývá tvořena 80 % hydroxidu kademného (Cd(OH)<sub>2</sub>) s přísadou 18 % jemně disperzního železa (Fe) a 2 % grafitu. Přísady aktivní hmoty se od různých výrobců většinou nepatrně liší, protože výrobci těchto akumulátorů mají svoji vlastní recepturu pro jejich výrobu, aby zlepšili její elektrické parametry. Elektrolytem, do kterého jsou ponořeny obě elektrody, je roztok hydroxidu draselného.



Ze základních chemických rovnic je patrné, že při nabíjení se hydroxid nikelnatý (Ni(OH)<sub>2</sub>) oxiduje na oxihydroxid nikelnatý (2NiOOH) a při vybíjení se oxihydroxid nikelnatý zpět redukuje na oxid nikelnatý. Při vybíjení dále hydroxidové ionty (OH<sup>-</sup>) oxidují na kadmiovou elektrodu za vzniku hydroxidu kademnatého (Cd(OH)<sub>2</sub>).<sup>44</sup>

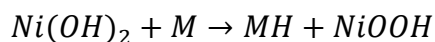
### 4.1.2.2 NIKL-METALHYDROVÉ AKUMULÁTORY (NIMH)

Nikel-metalhydrové akumulátory mají podobnou konstrukci jako nikel-kadmiové akumulátory. Měrná hustota energie se pohybuje okolo 60-120 Wh \* kg<sup>-1</sup> a životnost akumulátoru je přibližně 500 cyklů. Tento typ akumulátoru může pracovat v jakékoliv poloze, protože elektrolyt hydroxidu draselného vyplňuje celý prostor pouzdra článků. Kladná elektroda má stejné složení aktivní hmoty a stejnou chemickou reakci jako nikel-kadmiový akumulátor. Aktivní hmota záporné elektrody

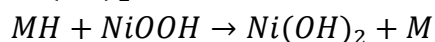
---

<sup>44</sup> CENEK, Miroslav, Jiří JINDRA, Miroslav JON, Jiří KAZELLE, Josef KOZUMPLÍK a Jan VRBA. *Akumulátory: od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

je tvořena metal hydridem (MH), který následně při vybíjení oxiduje na kovovou slitinu (M).



chemické rovnice nabíjení



chemické rovnice vybíjení

Velkou nevýhodou u tohoto typu je (stejně jako u nikl-kadmiových akumulátorů), že dochází k vysokému samovybíjení. Ztrácí kolem 10 % kapacity za měsíc. Další velkou nevýhodou je malý počet cyklů nabíjení/ vybíjení.<sup>45</sup>

### 4.1.3 LITHIOVÉ AKUMULÁTORY

Lithiové akumulátory se používají od počátku 90 let a postupně nahradily akumulátory alkalické (Ni - Fe, Ni - Cd, atd.), tak i olovené, kvůli jejich lepším vlastnostem. Mají vyšší hustotu energie, vyšší životnost, menší samovybíjení a nabíjení se může provádět v jakýkoliv okamžik kapacity akumulátoru.

#### 4.1.3.1 Li-ion AKUMULÁTORY

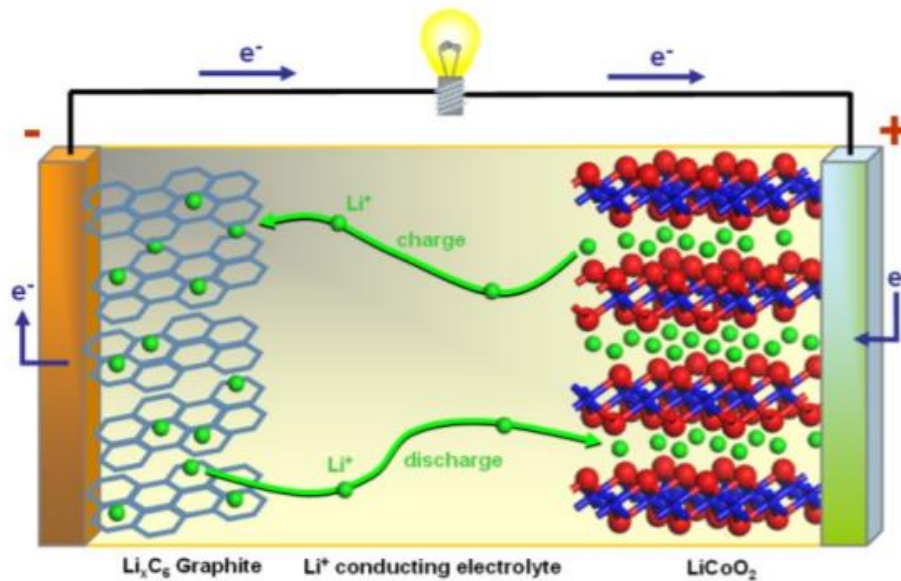
Tento typ akumulátorů je nejrozšířenější na celém světě a používá se ve spotřební elektronice (mobilní telefony, notebooky), v serioparalelních řazeních (baterie Tesly), ale také i ve výkonové elektronice (fotovoltaická elektrárna). Energetická hustota se pohybuje okolo 150 - 200 Wh \* kg<sup>-1</sup> a životnost je 500 - 1500 nabíjecích cyklů. Základním prvkem jsou opět dvě tenké elektrody různých polarit. Aktivním materiálem kladné elektrody obvykle bývají sloučeniny LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub> nebo LiNiO<sub>2</sub>. Aktivním materiálem záporné elektrody obvykle bývá uhlíková matrice, připravená např. z grafitizovaných částic koksu. Matrice musí velmi dobře přijímat ionty lithia a opět je snadno uvolňovat, aby chemický děj byl vratný. Obě elektrody jsou dále zalité elektrolytem z vodivé soli (LiPF<sub>6</sub>) a rozpouštědlem (etylen-, propylen-, atd.). Poměr látek v elektrolytu je volen tak, aby elektrolyt byl co nejvíce vodivý. Celý princip tohoto akumulátoru je, aby ionty Li<sup>+</sup> přecházeli při vybíjení a nabíjení z kladné elektrody do záporné elektrody viz *Obr. 4.2*. V prvním cyklu nabíjení se ionty Li<sup>+</sup> uvolňují z katody a vnikají do anody. Část lithia je vždy v tomto cyklu nevratně spotřebována uhlíkovou anodou, a proto se při výrobě katody nechává určitý přebytek Li. Tohle je však velký problém, protože s přebytkem katody klesá hustota energie článku.

Výhodou Li-ion akumulátorů je vysoké jmenovité napětí (3,6 V), vysoké nabíjecí napětí (4,2 V), nízké samovybíjení, dlouhá životnost a vysoká hustota

---

<sup>45</sup> CENEK, Miroslav, Jiří JINDRA, Miroslav JON, Jiří KAZELLE, Josef KOZUMPLÍK a Jan VRBA. *Akumulátory: od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

energie. Nevýhodou však je náchylnost akumulátoru na přebíjení a podbíjení, velký vnitřní odpor a vysoká cena.<sup>46 47</sup>



Obr. 4.2: Princip činnosti Li-ion akumulátorů.<sup>48</sup>

#### 4.1.3.2 LITHIUM- ŽELEZO- FOSFÁTOVÝ AKUMULÁTOR (LiFePO<sub>4</sub>)

Lithium-železo-fosfátové akumulátory pracují principiálně stejně jako Li-ion akumulátory, s tím rozdílem, že mají jiný aktivní materiál na elektrodách, který je tvořen z lithia-železo-fosfátu. Tento aktivní materiál byl objeven roku 1997 a má výborné tepelné i chemické vlastnosti a nedochází v něm k degradaci struktury během interkalace a deinterkalace Li iontů. Energetická hustota se pohybuje okolo 90 - 120 Wh \* kg<sup>-1</sup> a jmenovité napětí se pohybuje okolo 3,3 V. Minimální napětí, na které se může akumulátor vybit je přibližně 2,8 V. Životnost těchto akumulátorů se pohybuje kolem 500 cyklů a je možné je používat v teplotách od -20 °C až 70 °C. Nevýhodou je nízká vodivost, která má za následek sníženou možnost nabíjení a vybíjení vysokými proudy. Další nevýhodou je nižší nabíjecí napětí, než u Li-ion akumulátoru, které dosahuje maximálně 3,6 V.

Tyto akumulátory se používají jako přímá náhrada za olověné akumulátory, protože čtyřčlanková sada má při provozu velice podobné napětí (12 V) jako olověné akumulátory.<sup>49</sup>

<sup>46</sup> CENEK, Miroslav, Jiří JINDRA, Miroslav JON, Jiří KAZELLE, Josef KOZUMPLÍK a Jan VRBA. *Akumulátory: od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

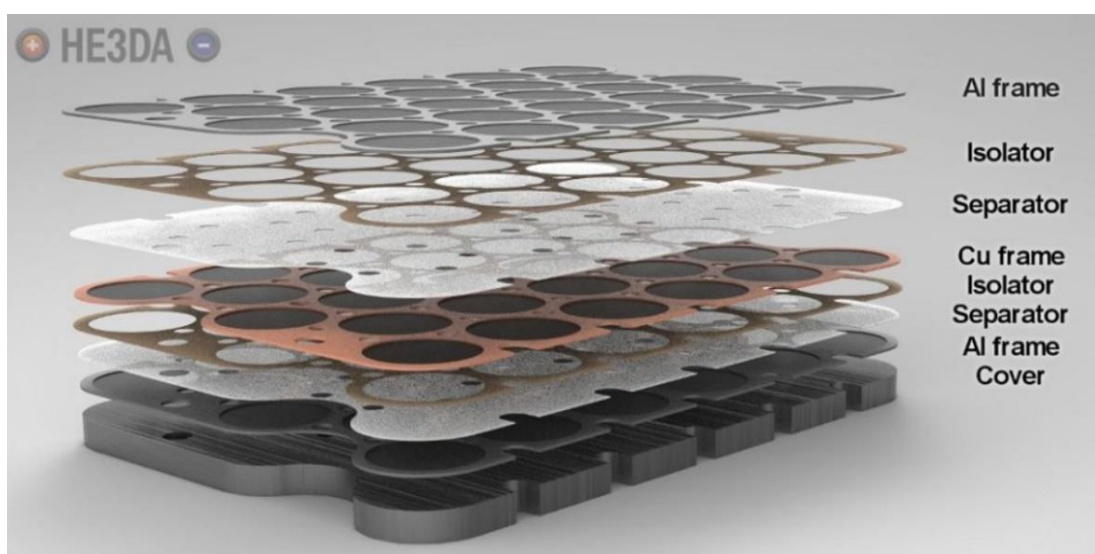
<sup>47</sup> KAWULOK, Filip. *Pokročilý power management v energetické jednotce*. Ostrava, 2015. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Robert Frischer.

<sup>48</sup> TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností*. UETE FEKT VUT v Brně, 2015 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>.

<sup>49</sup> BUKÁČKOVÁ, I. *Modifikace katodového materiálu na bázi niklu a manganu pro Li-ion články*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 45 s.

#### 4.1.3.3 HE3DA AKUMULÁTORY

HE3DA baterie jsou novodobím typem akumulátorů na bázi lithia z České republiky. Baterie jsou vyrobeny ze stejných prvků jako obyčejné lithiové baterie (např. grafit a směsný oxid, lithium, nikl, mangan), ale jsou konstrukčně jinak uspořádány. V případě technologie HE3DA se jedná o nanotechnologii se specifickou strukturou, která dosahuje hustoty energie až  $200 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Baterie dále zvládá až 10 000 cyklů nabití a vybití a díky své jednoduché konstrukci je plně recyklovatelná. Elektrody těchto baterií jsou silné několik milimetrů a jsou tvořeny hliníkovými a měděnými rámy, do nichž je vlisován aktivní materiál ve formě černého prášku.



Obr. 4.3: Ukázka složení HE3DA baterie.<sup>50</sup>

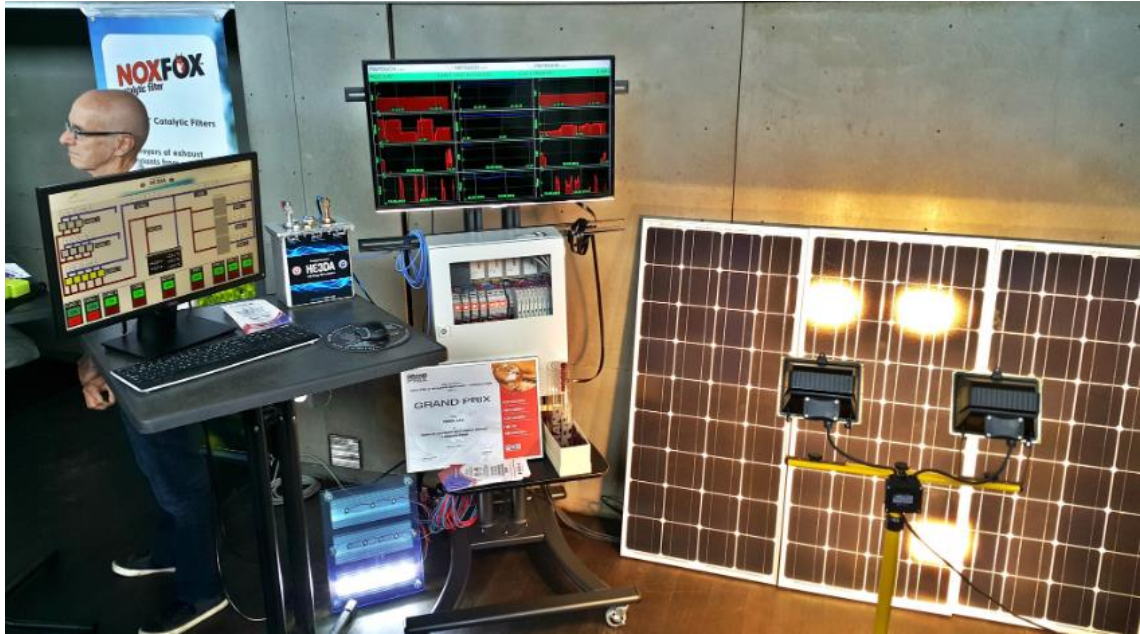
Jednotlivé elektrody jsou dále prokládány separátorem s příměsí keramických vláken, pro odolnost vůči vyšším teplotám. Po složení jednotlivých vrstev je baterie slisována a sešroubována dohromady. Poslední proces tvoří zalití těchto vrstev elektrolytem (fluor fosfátový roztok). Celý proces neobsahuje žádná pojiva a s nehořlavým separátorem zabraňuje hořlavosti baterie.

Hlavní výhodou HE3DA baterií je bezpečnost, spolehlivost, levná výroba, ale hlavně schopnost pracovat v potenciostatickém režimu. Nastavením potencionálu, lze řídit kam povedou lithiové ionty a tím pádem i elektrony. Tahle vlastnost snižuje množství elektronických komponentů v systému. Nevýhodou této baterie je omezená funkce v nižších teplotách. Tento problém se dá však odstranit výměnou elektrolytu.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> ZILVAR, Jiří a Petr BOHUSLÁVEK. *Baterie HE3DA: výroba, zátěž, zkrat a crash test*. 2018 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16935-baterie-he3da-vyroba-zatez-zkrat-a-crash-test>.

<sup>51</sup> Taktéž.





Obr. 4.4: Zapojení fotovoltaického modulu s HE3DA baterií. <sup>52</sup>

Na Obr. 4.4 lze vidět demonstrativní zapojení fotovoltaického systému s touto baterií. Systém je tvořen fotovoltaickými moduly, baterií HE3DA, spínací a monitorující elektronikou a led svítidly, které představují zátěž. Díky baterii není zapotřebí žádný regulátor napětí a baterie řídí celý proces nabíjení a vybíjení sama. Další výhodou tohoto systému je, že pokud dojde k zastínění fotovoltaického modulu, systém dodává stále konstantní požadovaný výkon do zátěže (baterie vyrovnává výkon díky potenciostatickému režimu). <sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> ZILVAR, Jiří. *HE3DA: Chceme vyrábět akumulátory do automobilů a pro solární pole.* 2016 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/14422-he3da-chceme-vyrabet-akumulatory-do-automobilu-a-pro-solarni-pole>.

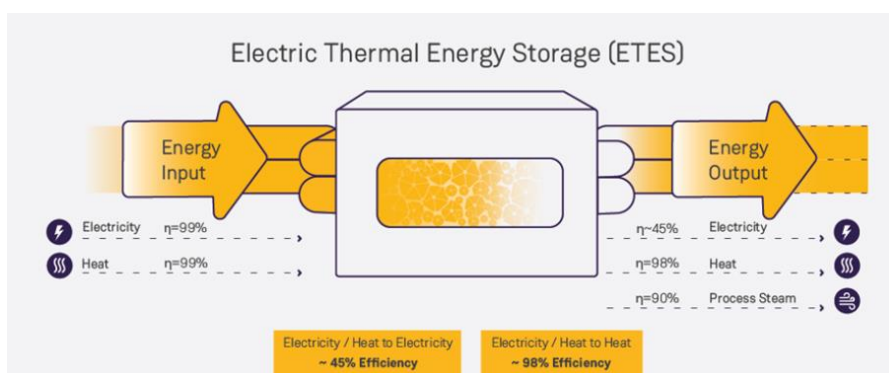
<sup>53</sup> Taktéž.

## 4.2 ALTERNATIVNÍ ENERGETICKÉ ULOŽIŠTĚ

Z důvodu vysokých pořizovacích nákladů a vlivu složení baterií na životní prostředí, se hledají různé alternativní možnosti způsobu ukládání elektrické energie. V této kapitole jsou popsány základní alternativní energetické úložiště, které se v praxi buď již vyskytují nebo jsou zatím v testovací fázi.

### 4.2.1 ELEKTROTERMÁLNÍ ULOŽIŠTĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE (ETES)

Princip tohoto úložiště elektrické energie spočívá v přeměně přebytečné elektrické energie do tepelné energie. Odporové ohřívače a dmýchadla poháněné elektrickou energií ohřívají vulkanické kameny v izolované místnosti (izolace až 1 metr), které dosahují teploty okolo 600 °C. Pro opětovnou přeměnu tepelné energie na elektrickou energii slouží konvenční parní turbína. Celý systém je postaven z 80 % z běžných komponentů vyskytující se na stávajícím trhu. Účinnost výroby elektřiny z tepelné energie činí zhruba 45 %. Kromě výroby elektrické energie je možné akumulované teplo také využít pro vytápění či dodávky technologické páry. Při tomto skladování elektrické energie do tepla se účinnost pohybuje okolo 98 %.



Obr. 4.5: Princip činnosti ETES. <sup>54</sup>

Nákladově je tento systém akumulace konkurenceschopný a kapitálové výdaje jsou až desetkrát nižší než do bateriových systémů. Ve srovnání s bateriemi se zde nepoužívají žádné neekologické materiály a jsou plně recyklovatelné.

V roce 2014 firma Siemens postavila první ETES v Německu. Kapacita tohoto úložiště je 5 MWh a hmotnost použitých lávových kamenů činí 5 tun. Nejnovější ETES od firmy Siemens v německém Hamburku nyní dosahuje až 130 MWh. Je zde použito 1 000 tun lávových kamenů a generátor s výkonem 1,4 MW. <sup>55</sup>

<sup>54</sup> Kazda. Siemens Gamesa, *Thermal energy storage with ETES*, 2019 [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/hybrid-and-storage/thermal-energy-storage-with-etes>.

<sup>55</sup> Taktéž.

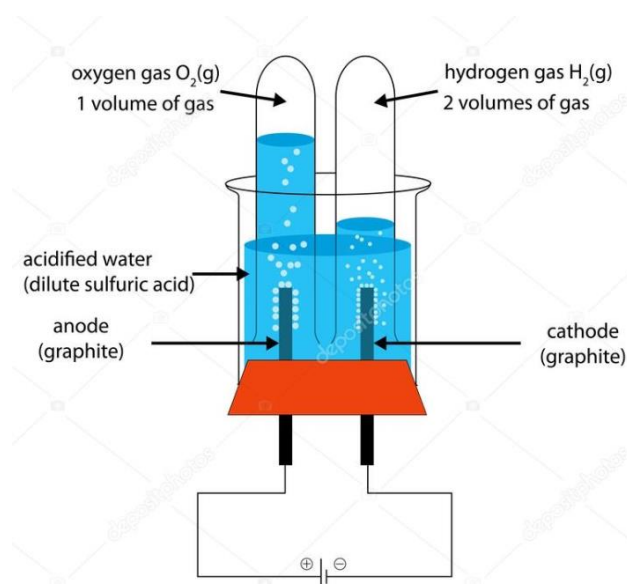
## 4.2.2 POWER TO GASS (P2G)

Do této kategorie akumulace patří jak výroba vodíku, tak i výroba syntetického methanu z elektrické energie. Obě varianty mohou být distribuovány pomocí již existujících plynovodů, zásobníků nebo cisteren.

Výroba vodíku je již delší dobu známa z fosilních paliv, nyní se přichází s úvahami, že ideální akumulace elektrické energie je výroba vodíku z přebytku elektrické energie pomocí elektrolýzy vody. Základním prvek jsou dvě grafitové elektrody různé polarity, které jsou ponořeny do vody s přísadami pro zvýšení vodivosti. Elektrody jsou dále napájeny stejnosměrným proudem. Průchodem stejnosměrného proudu vodou dojde k rozštěpení vazby mezi vodíkem a kyslíkem. Kladný vodíkový iont poté reaguje na katodě a na ni se pak uvolňuje vodíkový plyn, který je následně zachycen a skladován. Na záporné elektrodě se uvolňuje kyslík. Výstupem je tedy kyslík a velmi čistý vodík. Účinnost tohoto cyklu se pohybuje okolo 80 - 92 %.

Vodík lze produkovat i přímo foto-elektrochemickým dějem. Tento děj funguje na základě přeměny světelné energie na elektrickou energii v článku obsahující dvě elektrody, které jsou ponořeny do elektrolytu. Jedna elektroda je polovodičová a je schopna měnit světelné záření na nosiče náboje.

Pro zpětnou přeměnu vodíku na elektrickou energii se používá palivových článků (viz Kap 4.1). Účinnost tohoto procesu se pohybuje v rozmezí 40 - 80 %.



Obr. 4.6: Ukázka principu elektrolýzy vody.<sup>56</sup>

Vyrobený vodík může mít celou řadu uplatnění v různých oborech. Lze ho akumulovat jak zkapalněný, tak i v plynném stavu. Nevýhodou tohoto prvku je jeho

<sup>56</sup> CZ Deposit: *Elektrolýza vody*, 2015 [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/88210744/stock-illustration-fully-labeled-diagram-ofr-the.html>.

skladnost, distribuce a užití, protože molekuly vodíku jsou velmi malé a pronikají přes celou řadu materiálů. Výhodou je, že ho lze použít jako palivo pro spalovací motory, ale s problémem vzniku emisí NO<sub>x</sub> při spalovacím ději.

Výroba syntetického metanu je nadstavba po výrobě vodíku z elektrolýzy. Po vyrobení vodíku se tento prvek smíchá s oxidem uhličitým a jejich reakcí vznikne syntetický metan neboli zemní plyn. Reakce probíhá za vysokého tlaku a teploty pomocí Sabatierovy reakce. Účinnost celého cyklu včetně výroby vodíku se pohybuje okolo 70 %.<sup>57</sup>

### 4.2.3 MECHANICKÉ UKLÁDÁNÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

V této kategorii mají největší zastoupení rotující setrvačníky. Jejich princip je založen na točícím se elektromotoru, který je zatížen setrvačníkem na hřídeli. Pokud jsou přebytky elektrické energie, elektromotor se chová jako motor a elektrická energie je akumulována do setrvačníku. V opačném případě, kdy je nedostatek elektrické energie se elektromotor chová jako generátor napájen setrvačníkem. Tento typ akumulace se používá nejčastěji v průmyslu, kde je zapotřebí velmi rychlé a krátkodobé regulace frekvence pro zajištění kvality elektrické energie.

Jejich kapacita se v běžném provozu pohybuje okolo 6 kWh, ale existují i setrvačnickové farmy s kapacitami v řádech desítek MWh. Účinnost je velmi vysoká a pohybuje se okolo 80 %. Nevýhodou této akumulace je, že je kapacita úměrná kvadrátu frekvence otáček. To je limitující faktor, protože frekvence otáček je závislá zase na materiálu, ze kterého je setrvačník vyroben. Pro výrobu setrvačníku se používají nejčastěji materiály jako je ocel a jsou použita klasická ložiska, které limitují frekvenci otáček na několik tisíc za minutu. Pro zvýšení frekvence otáček jsou setrvačníky vyrobeny z uhlíkového kompozitu, ložiska jsou magnetická a celý setrvačník rotuje ve vakuu. Tímto vylepšením lze dosáhnout až 100 000 otáček za minutu, ale pořizovací cena je značně vyšší.<sup>58</sup>

Novým prototypem mechanického ukládání elektrické energie, který se již testuje ve Švýcarsku jsou takzvaná jeřábová uložistě. Tyto uložistě využívají potenciální a kinetickou energii pro akumulaci a dodávku elektrické energie. Tato akumulace je principiálně založena na šestiramenném jeřábu, který zdvihá nebo pokládá betonové válce kolem něho. Výhodou této technologie je nízká pořizovací cena a vysoká životnost, která se závisí na kvalitě betonových válců.<sup>59</sup>

---

<sup>57</sup> O Energetice, *Velký přehled: Využívané perspektivní technologie akumulace energie* [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie>.

<sup>58</sup> Taktéž.

<sup>59</sup> VYTLAČIL, Petr, O Energetice. *Způsobí jeřábová uložistě elektrické energie revoluci na trhu s akumulací energie?* 2018 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/zpusobi-jarabova-uloziste-elektricke-energie-revoluci-trhu-akumulaci-energie>.

## **5 VÝZVA III. PROGRAMU PODPORY ÚSPORY ENERGIE (FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY S/BEZ AKUMULACE PRO VLASTNÍ SPOTŘEBU)**

V této kapitole bude pojednáno o možnostech a podmínkách čerpání dotace pro fotovoltaické systémy bez akumulace, tak i s akumulací. Tato Výzva k programu podpory „Úspory energie“ (dále jen „Výzva“) je vyhlášena v rámci implementace Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020 („OP PIK“)

### **5.1 OBECNÉ INFORMACE**

Tato Výzva byla vyhlášena dne 13.12.2019 a následně byla zpřístupněna dne 13.1.2020 ve 13:00 hodin. Cílem této Výzvy je podpořit snížení energetické náročnosti v podnikatelském sektoru. Výše plánované alokace pro tuto Výzvu byla stanovena na 500 mil. Kč. Tuto podporu, mohou čerpat jak malé, střední, ale i velké podniky včetně podnikatelských subjektů s majetkovou účastí (až do výše 100 %) obcí, měst, krajů a státu, mimo zdravotnických subjektů vlastněných 100 % veřejným subjektem pověřených Službou obecného zájmu od svého zřizovatele. Základní míra podpory je 60 %, následně má malý podnik bonus 20 % a střední podnik 10 %. To znamená:

- zdali je příjemcem dotace malý podnik (MP), je subvence poskytnuta až do výše 80 % způsobilých nákladů.
- zdali je příjemcem dotace střední podnik (SP), je subvence poskytnuta až do výše 70 % způsobilých nákladů.
- zdali je příjemcem dotace velký podnik (VP), je subvence poskytnuta až do výše 60 % způsobilých nákladů.

Aby bylo možné vyhodnotit výši podpory pro určitý projekt, musí se určit tzn. celkové způsobilé výdaje. Žadatel musí doložit při žádosti o dotaci souhrnný kumulativní rozpočet projektu, ve kterém bude možné jednoduše identifikovat náklady na FV systém a na systém akumulace elektrické energie.

Příklad členění souhrnného kumulativního rozpočtu musí být následující:

A	Náklady na FV systém [Kč]
B	Náklady na systém akumulace elektřiny [Kč]
C	Referenční varianta [Kč]
D	Celkové způsobilé náklady [Kč]

Tab. 5.1: Ukázka souhrnného kumulativního rozpočtu. <sup>60</sup>

kde:

- Náklady na FV systém (A) – se učí dle kap. 5 Výzvy a přílohy č. 2 Výzvy. <sup>61</sup>
- Náklady na systém akumulace elektřiny (B) – se určí dle kap. 5 Výzvy a přílohy č. 2 Výzvy. <sup>62</sup>
- Referenční varianta (C) – se určí jako roční využitý energetický zisk FV systému [MWh] \* 8862,63 [Kč\*MWh<sup>-1</sup>].
- Celkové způsobilé náklady (D) – se určí jako  $D = A + B - C$ .

Po určení celkových způsobilých nákladů lze již vypočítat míru podpory projektu následovně:

$$\text{Dotace} = \text{celkové způsobilé náklady} * \text{míra podpory (MP, SP, VP)} \quad (4.1)$$

Takto vypočtená dotace se musí následně pohybovat v intervalu 2 mil. Kč až 50 mil. Kč. Pokud se tyto hranice intervalu překročí, dotace projektu nebude poskytnuta.

## 5.2 MODEL HODNOCENÍ A KRITÉRIA HODNOCENÍ

Při podání žádosti o dotaci na fotovoltaický systém, se jako první hodnotí splnění formálních náležitostí a kritérií přijatelnosti. Tyto dvě kritéria se hodnotí čtyřmi různými způsoby: splněno / nesplněno / nehodnoceno / nerelevantní. Kde varianta nehodnoceno se uvádí pro případ, kdy je zapotřebí odstranit některé konkrétní záležitosti žadatelem, aby bylo možné vyhodnotit kritérium. Varianta nerelevantní je určeno projektům, ke kterým se toto hodnocení nevztahuje.

Pokud dojde k nesplnění jednoho či více kritérií při kontrole a kritéria budou označeny jako napravitelná, bude žadatel vyzván k opravě žádosti, a to ve lhůtě 8 pracovních dnů od data doručení výzvy k odstranění vad. Po odstranění vad ze strany žadatele, je následně žádost znovu přezkoumána a ohodnocena. K vrácení

<sup>60</sup> Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu.

<sup>61</sup> Taktéž.

<sup>62</sup> Taktéž.

žádosti může dojít maximálně dvakrát. Jestliže žadatel ve lhůtě 8 pracovních dnů neodstraní závady, dojde k zamítnutí celé žádosti o podporu.

**KRITÉRIA PŘIJATELNOSTI:**

Poř.	Definice kritéria přijatelnosti	Hodnocení splněno / nesplněno / nehodnoceno / nerelevantní	Druh kritéria napravitelné / nenapravitelné	Zdroj informace
1.	Žadatel získal na základě předložené žádosti o podporu minimální požadovaný počet bodů/známku v rámci ekonomického hodnocení.		napravitelné	Žádost o podporu v MS2014+
2.	Projekt byl posouzený jako přijatelný z hlediska CBA.		napravitelné	Žádost o podporu, informace v MS2014+
3.	Dle ustanovení § 136 zákona č. 182/2006 Sb., o úpadku a způsobech jeho řešení (insolvenční zákon) nebylo rozhodnuto o úpadku žadatele (pokud je soudem povolena reorganizace, která je podnikem splněna, nenahlíží se na podnik jako na podnik v		napravitelné	PM ověří zadáním IČ žadatele v registru

Obr. 5.1: Ukázka tabulky přijatelnosti.<sup>63</sup>

Pokud jsou splněny v žádosti všechny formální náležitosti a kritéria přijatelnosti následuje hodnocení projektu z hlediska věcného hodnocení. Toto hodnocení se skládá ze čtyř základních kategorií (A - D):

- A. Vylučovací kritéria (ANO x NE)
- B. Připravenost žadatele k realizaci projektu (hodnotící kritérium, max. 20 bodů)
- C. Potřebnost a relevance projektu (hodnotící kritérium, max. 55 bodů)
- D. Nákladová efektivita projektu (ekonomická efektivnost, max. 25 bodů)

Jestli projekt získá v kategorii A (Vylučovací kritérium) záporné hodnocení, nebude projekt dále hodnocen a bude označen jako nepřijatelný. Pokud projekt získá alespoň 60 bodů z kategorií B-D a zároveň získá kladné hodnocení z A, bude mít projekt nárok na podporu z alokace 500 mil. Kč. Pokud by však došlo k vyčerpání alokace, může být nový příjem žádostí zastaven.<sup>64</sup>

<sup>63</sup> Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu.

<sup>64</sup> Taktéž.

## 5.3 VĚCNÉ HODNOCENÍ

Z předešlé kapitoly je zřejmé, že maximální počet bodů, které lze ve věcném hodnocení získat je 100 bodů. Tyto body jsou rozděleny do jednotlivých podskupin, které nyní budou detailně rozebrány, z důvodu potřeby pro vyhodnocení praktické části.

### 5.3.1 PŘIPRAVENOST ŽADATELE K REALIZACI PROJEKTU

V této kategorii lze získat 20 bodů za smlouvu o připojení k distribuční soustavě nebo za projekt v ostrovním provozu. Tuto smlouvu o připojení k distribuční soustavě je nutné doložit k žádosti o podporu z důvodu, aby mohlo dojít k zapsání bodového hodnocení. Důležité je si uvědomit, že poskytnutí rezervace výkonu u distributora standardně trvá 30 dní pro fotovoltaické elektrárny do 100 kWp. Pro elektrárny nad 100 kWp má distributor elektrické energie 60 dní. Pokud fotovoltaická elektrárna pracuje v ostrovním provozu, lze také bodové hodnocení získat. V tomto případě se však k žádosti dokládá schéma zapojení od autorizovaného inženýra nebo technika, který tuto skutečnost dokáže.

### 5.3.2 POTŘEBNOST A RELEVANCE PROJEKTU

Tato kategorie je rozdělena na dvě hodnotící kritéria, ve kterých lze získat až 55 bodů. První kritérium, které se hodnotí až 25 body je poměrná doba ročního využití instalovaného výkonu pro vlastní spotřebu. V tomto kritériu se poměruje množství vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu a teoreticky vyrobená elektřina v celoročním nepřerušném provozu. Velikost poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu lze vypočítat:

$$t_{skut} = \frac{W_e}{P_i * 8760} \quad (4.2)$$

kde:

$W_e$  je roční využitý energetický zisk fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu [kWh \* rok<sup>-1</sup>];

$P_i$  je instalovaný výkon FV systému [kWp];



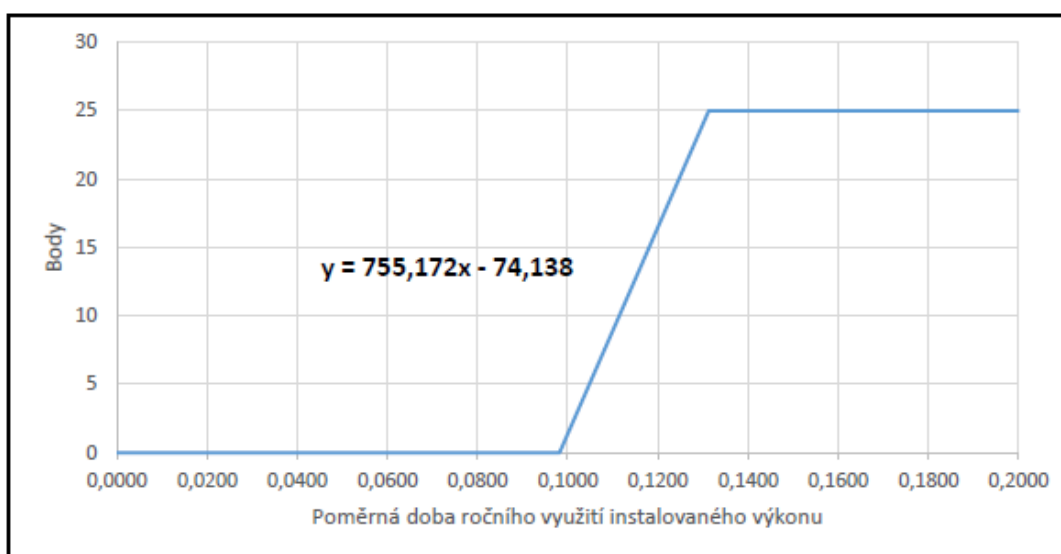
Projekty s koeficientem poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu nižším než 0,0981 (860 hodin \* rok<sup>-1</sup>) získají 0 bodů a projekty s koeficientem vyšším než 0,1313 (1150 hodin \* rok<sup>-1</sup>) získají plný počet 25 bodů. Pro projekty s koeficientem uvnitř tohoto intervalu je stanovena lineární závislost ve tvaru:

$$y = 755,172x - 74,138 \quad (4.3)$$

kde:

x je poměrná doba ročního využití instalovaného výkonu pro vlastní spotřebu [-];

Grafickou závislost tohoto hodnocení lze vidět na *Obr. 5.2*.



*Obr. 5.2: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.*<sup>65</sup>

Druhé kritérium, které se hodnotí v této kategorii, je podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu. V tomto kritériu lze dosáhnout až 30 bodů. Projekty, kde se spotřeba elektrické energie pro vlastní spotřebu pohybuje pod 70 % je projekt hodnocen 0 body, kdežto projekty s 95 % mírou využití energie pro vlastní spotřebu jsou hodnoceny plným počtem bodů. Interval mezi těmito hodnotami je znovu proložen lineární závislostí, která je:

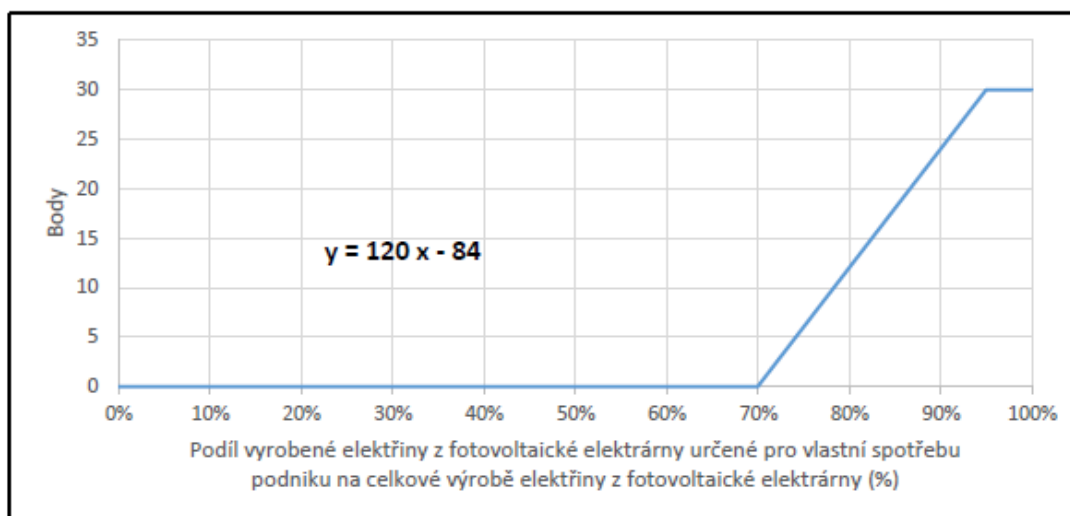
$$y = 120x - 84 \quad (4.4)$$

kde:

x je podíl vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro vlastní spotřebu [%];

<sup>65</sup> Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu.

Grafickou závislost bodového hodnocení podílu vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro vlastní spotřebu lze vidět na Obr. 5.3.



Obr. 5.3: Bodové hodnocení pro podíl vyrobené elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro vlastní spotřebu.<sup>66</sup>

### 5.3.3 NÁKLADOVÁ EFEKTIVITA PROJEKTU

Poslední kritérium, které se posuzuje je kritérium měrných investičních nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny. V tomto případě lze získat až 25 bodů. Do investiční nákladů se berou v potaz pouze náklady související s fotovoltaickou elektrárnou bez investičních nákladů souvisejících s akumulací elektrické energie. Mezní hodnoty jsou zde stanoveny tak, že při měrných nákladech menších než 28 tis. Kč \* kWp<sup>-1</sup> je projekt hodnocen 25 body, kdežto projekt s měrnými náklady přesahující 35 tis. Kč \* kWp<sup>-1</sup> je hodnocen 0 bodů. Interval mezi těmito hodnotami je stanoven:

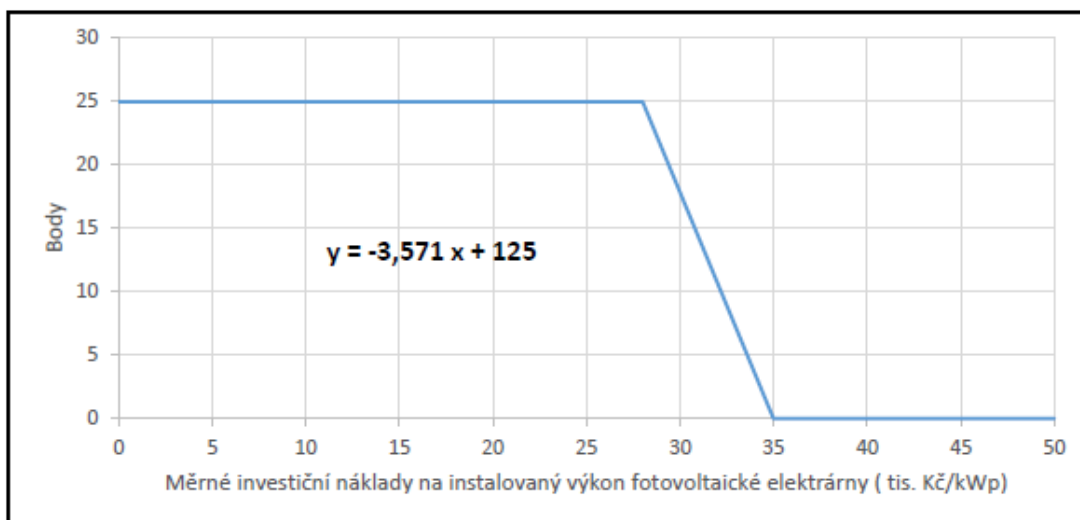
$$y = -3571x + 125 \quad (4.5)$$

kde:

x jsou měrné investiční náklady na instalovaný výkon [Kč];

<sup>66</sup> Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu.

Grafickou závislost tohoto bodového hodnocení lze vidět na *Obr. 5.4*.



*Obr. 5.4: Bodové hodnocení měrných investičních nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.*<sup>67</sup>

V tomto kritériu je navíc doplněn požadavek, aby hodnocený projekt měl menší vnitřní výnosové procento (IRR) než 15 %. Pokud tento požadavek není splněn, je celé kritérium hodnoceno nulovým počtem bodů. Vnitřní výnosové procento se stanoví:

$$\sum_{t=1}^t \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN = 0 \quad (4.6)$$

kde:

t je doba hodnocení za 20 roků [rok];

CF<sub>t</sub> jsou peněžní roky v roce t [Kč];

IN jsou investiční náklady [Kč];




<sup>67</sup> Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu.

## 6 NÁSTROJE PRO NÁVRH FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ

Aby byl zajištěn správný návrh fotovoltaického systému, jsou k dispozici různé simulační softwary. Tyto programy pracují s řadou proměnlivých parametrů, jako jsou: intenzita solárního záření v určité lokalitě, natočení a orientace fotovoltaických modulů nebo zastínění fotovoltaických modulů.

### 6.1 PV\*SOL

Tento simulační program je vyvinut německou firmou Valentin software. Firma se zabývá jak simulací solárního termického systému (T\*Sol), tak i simulací fotovoltaického systému (PV\*Sol). Oba tyto programy se prodávají ve třech verzích, které lze po zakoupení licence stáhnout na internetu.

PV*SOL	 PV*SOL express	 PV*SOL Pro	 PV*SOL Expert
Síťové systémy (grid on, 100 %)	x	x	x
Vlastní spotřeba (grid on, <100 %)		x	x
Ostrovní systémy (grid off)		x	x
Maximální velikost systému	1 x 100 kWp	6 x 65000 panelů	6 x 65000 panelů
Různé druhy ploch pro využití panelů		x	x
Počet klimatických databází	2000	8000	8000
Počet PV panelů	> 4 500	> 4 500	> 4 500
Počet měničů	> 1 000	> 1 000	> 1 000
2D vizualizace střechy	x	x	x
3D vizualizace			x
návrh umístění panelů pomocí fotky objektu	x	x	x
Horizontální stínění	předdefinované	x	x
Analýza stínění 3D			x
Porovnání výsledků		x	x
Výstup výsledků	krátký report	obsáhlý report	obsáhlý report + 3D
Ekonomická analýza	krátký report	obsáhlý report	obsáhlý report

Obr. 6.1: Porovnání jednotlivých verzí programu PV\*Sol. <sup>68</sup>

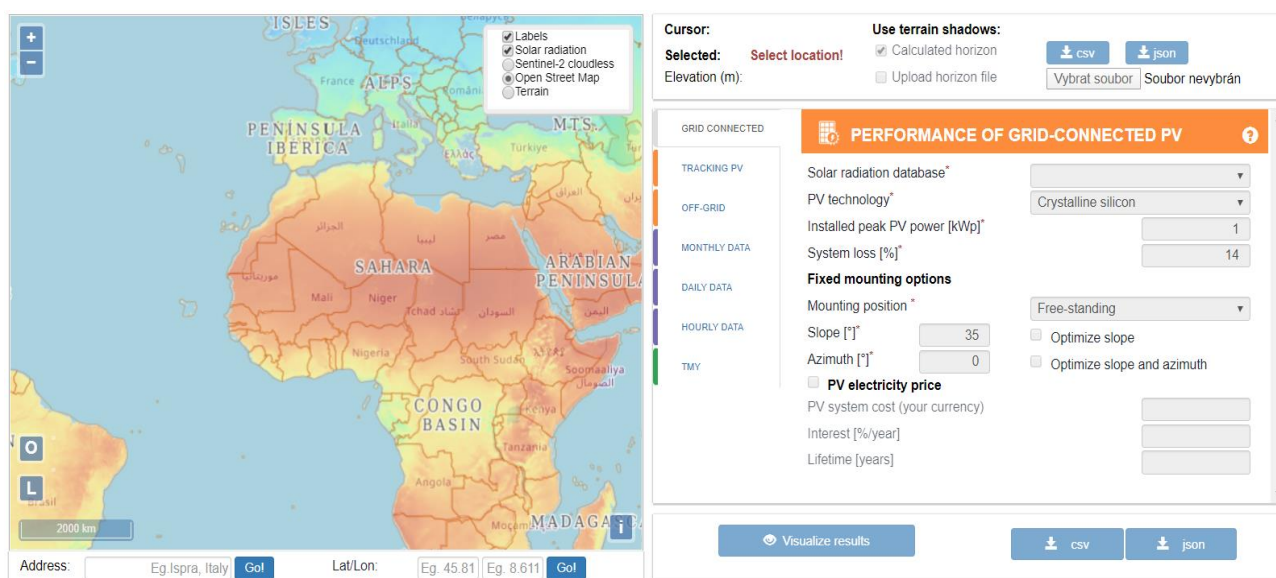
PV\*Sol je převážně využíván firmami, projektanty, tak i architekty, kvůli možnosti modelování 3D objektů. Tento fakt má za následek, že lze simulovat výrobu elektrické energie velmi přesně i s okolním zastíněním modulů od různých objektů (strom, budova, atd.). Dále lze softwarem vyhodnotit, po zadání všech vstupních parametrů, optimální rozestavení fotovoltaických modulů, typy a zapojení střídačů, účinnost fotovoltaického systému, roční výrobu elektrické energie nebo ekonomické vyhodnocení.

<sup>68</sup> ŠANCOVÁ, L, Srdečný K, O Energetice, *Software pro návrh solárních systémů*. 2010 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6912-software-pro-navrh-solarnich-systemu>.

Výstupem výpočtů a simulací je konečná zpráva ve formě PDF, která může být v podobě podrobného výpisu, nebo pouze v jednostránkové variantě, ve které jsou vypsány pouze nejdůležitější informace (velikost fotovoltaické elektrárny, roční produkce elektrické energie, zapojení střídačů, atd.).<sup>69</sup>

## 6.2 PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (PVGIS)

Tato aplikace vytvořená výzkumným centrem Evropské komise slouží k určení výroby elektrické energie z fotovoltaických elektráren kdekoliv v Evropě nebo v Africe. Aplikace využívá jak údaje ze satelitních družic, tak i z pozemních meteorologických stanic. Výhodou tohoto modelu je, že je k dispozici on-line a zdarma na oficiálních stránkách Evropské unie.



Obr. 6.2: Ukázka aplikace PVGIS.

V aplikaci lze vyhodnotit výstupní data pomocí čtyř různých solárních databází:

- PVGIS-SARAH: Databáze vytvořená pomocí algoritmu CM SAF.
- PVGIS-CMSAF: Bývalá výchozí satelitní databáze PVGISu 4. Nejistota této databáze je větší než u SARAH.
- PVGIS-ERA5: Nejnovější globální analýza ECMWF pro Evropu.
- PVGIS-COSMO: Regionální analýza COSMO-REA6 od HERZ-DWD.

<sup>69</sup> ŠANCOVÁ, L, Srdečný K, O Energetice, *Software pro návrh solárních systémů*. 2010 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6912-software-pro-navrh-solarnich-systemu>.

Po vybrání typu databáze a zadání všech vstupních hodnot (viz *Obr. 6.2*) lze získat roční, měsíční, denní, tak i hodinovou produkci elektrické energie v dané lokalitě fotovoltaické elektrárny. Aplikace také dokáže určit i optimální náklon a orientaci fotovoltaických modulů.

# 7 NÁVRH OBNOVITELNÝCH ZROJŮ ENERGIE

## 7.1 POPIS STÁVAJÍCÍ SITUACE

Úkolem této diplomové práce je návrh obnovitelných zdrojů elektrické energie pro firmu DEL a. s. se sídlem ve Žďáru nad Sázavou. Tato společnost byla založena roku 1995 a její zaměření se orientuje na průmyslovou automatizaci, elektrotechniku a robotizaci. Sídlo firmy bylo roku 2010 zrekonstruováno a rozšířeno. Nyní společnost zaměstnává přibližně 300 zaměstnanců po celé České republice.

Společnost v současné době potřebuje rozšířit výrobní kapacity, ale také zdokonalit a rozšířit portfolio pro automobilový průmysl, lehké i těžké strojírenství či energetický průmysl. Z tohoto důvodu chce firma v nejbližší době postavit novou výrobní halu, nové administrativní prostory, ale také parkovací dům, v němž najdou zaměstnanci firmy 253 míst určených k parkování. V areálu závodu má navíc vyrůst nový relaxační altán s možností dostavění nabíjecí stanice.



*Obr. 7.1: Budova firmy DEL a. s.*

Mým dílčím úkolem v této fázi expanzi firmy je návrh fotovoltaické elektrárny pro novou administrativní budovu, parkovací dům a relaxační altán. Tyto fotovoltaické elektrárny mají být navíc optimalizovány tak, aby měly co největší výtěžnost a ekonomickou efektivitu.

## 7.2 TECHNICKÉ INFORMACE

Jak již bylo řečeno v předešlé kapitole, úkolem této práce je návrh tří fotovoltaických elektráren na jednotlivých budovách společnosti DEL a. s. Celý závodní areál se nachází na Vysočině, 49,55 ° zeměpisné šířky a 15,92 ° zeměpisné délky, v nadmořské výšce přibližně 580 m. Velikosti střech jednotlivých budov v areálu lze vidět v *Tab. 7.1*. Střechy budou speciálně upraveny tak, aby bylo možné využít většinu střešního prostoru pro plné zaplnění fotovoltaickými moduly. Dále lze vidět na *Obr. 7.2* dispoziční řešení těchto budov. Lze si všimnout, že všechny budovy jsou orientovány směrem 27 ° od jihu. Zatímco v architektuře se sever označuje 0 ° a úhel poté roste ve směru hodinových ručiček do 360 °, v solární technice se azimutem 0 ° označuje orientace na jih. Směrem na východ mají úhly záporné znaménko (orientace odpovídá -90 °) a směrem na západ kladné (orientace odpovídá +90°).

Označení na mapě	Název objektu	Plocha objektu [m <sup>2</sup> ]	Azimut [°]
1	Stávající administrativní budova	944,5	27
2	Parkovací dům	2 780	27
3	Nová administrativní budova	900	27
4	Relaxační altán	320	27

*Tab. 7.1: Tabulka technických informací budov.*



*Obr. 7.2: Dispoziční řešení (satelitní pohled z Google Earth).*

Na stávající administrativní budově firmy (1), je již od roku 2010 postavena fotovoltaická elektrárna o velikosti 28,8 kWp. Tato elektrárna je umístěna na ploché



střeše a má jednu polovinu fotovoltaických modulů směřovanou na severozápad (117 °) a druhou na jihovýchod (- 63 °), aby došlo k celodenní rovnovážné výrobě z této elektrárny. Jednotlivé moduly jsou vyrobeny tenkovrstvou technologií z amorfního křemíku a na budově mají sklon 10 °. Fotovoltaické moduly mají integrovány nosné díly v sobě a pomocí spojovacích dílů je z nich vytvořena výsledná sestava, která je uchycena pomocí bezkotevního systému ke střeše budovy. Střecha budovy je chráněna hydroizolační fólií s tepelnou izolací na betonové nosné konstrukci. Fotovoltaická elektrárna obsahuje 320 kusů fotovoltaických modulů o výkonu 90 Wp a 6 kusů jednofázových střídačů o výkonu 4,4 kW od firmy Schüco.



*Obr. 7.3: Dispoziční řešení fotovoltaických modulů na stávající administrativní budově.*

Distributor elektrické energie, který poskytuje a vykupuje elektrickou energii pro tuto firmu je společnost E.ON Distribuce a. s. Cenu za dodanou elektrickou energii si distributor účtuje 2 625 Kč \* MWh<sup>-1</sup> bez DPH, za výkup elektrické energie 200 Kč \* MWh<sup>-1</sup> bez DPH. Spotřeba elektrické energie ve firmě za rok 2019 činila 733 824 MWh. Firma po rozšíření očekává, že nárůst spotřeby elektrické energie bude činit přibližně půl násobek stávající spotřeby elektrické energie.

## 7.3 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Tato kapitola bude sloužit jako příprava pro matematický model fotovoltaického systému. Bude zde popsáno, jak určit maximální výkon jednotlivých fotovoltaických elektráren (2,3,4), jak určit vliv zastínění fotovoltaických modulů a na závěr zde bude představeno schéma zapojení střídačů elektrické energie.

### 7.3.1 VÝPOČET MAXIMÁLNÍCH VÝKONŮ JEDNOTLIVÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN

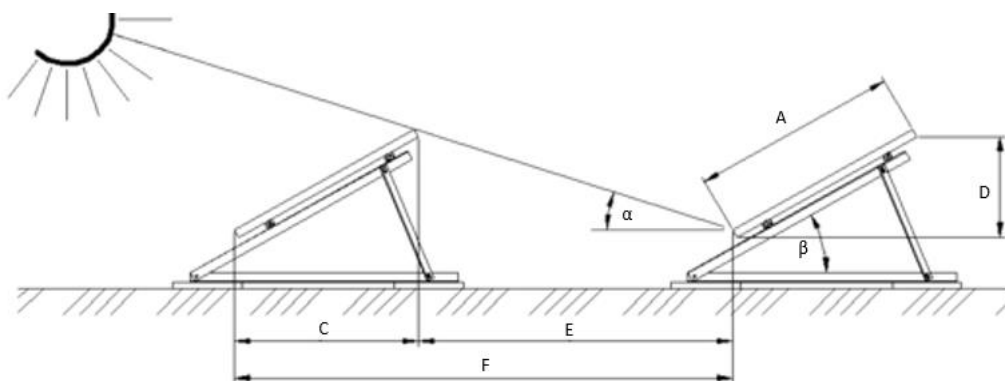
Prvním krokem při návrhu fotovoltaických elektráren, je zapotřebí, zvolit si jednotnou optimální velikost a výkon fotovoltaických modulů pro všechny nově navrhované zdroje energie, aby se předešlo nechtěným situacím jako jsou různé druhy použitých solárních střídačů a fotovoltaických modulů v projektu. Jako nejvhodnější fotovoltaický modul byl zvolen modul typu PS325M-20/UM od firmy LOMINA A.G. Tento monokrystalický modul má výkon 325 Wp a účinnost je 19,98 %. Výstupní napětí v MPP režimu je 32,6 V a výstupní proud opět v MPP režimu je 9,97 A. Hlavní jeho výhodou je velikost, která činí 1640 x 992 x 35 mm.

Další krok, který je nutný udělat při návrhu, je zvolit si optimální orientaci a sklon fotovoltaických modulů. Orientace fotovoltaických modulů byla stanovena ve všech třech případech na 27 ° od jihu, z důvodu stejné orientace jednotlivých budov (viz. Obr. 7.2). Sklon byl určen z aplikace PVGIS, který vyhodnotil jako optimální hodnotu v těchto zeměpisných souřadnicích na 33 °.

Následně po získání všech vstupních hodnot popsaných výše, lze vypočítat minimální rozestupy fotovoltaických modulů, aby nedocházelo v zimních měsících k vlastnímu stínění. Při tomto výpočtu je v našich zeměpisných souřadnicích uvažován nejnižší možný úhel dopadajícího paprsku slunce 16,5 °. Výpočet minimálního rozestupu dvou modulů lze vidět v Tab. 7.2.

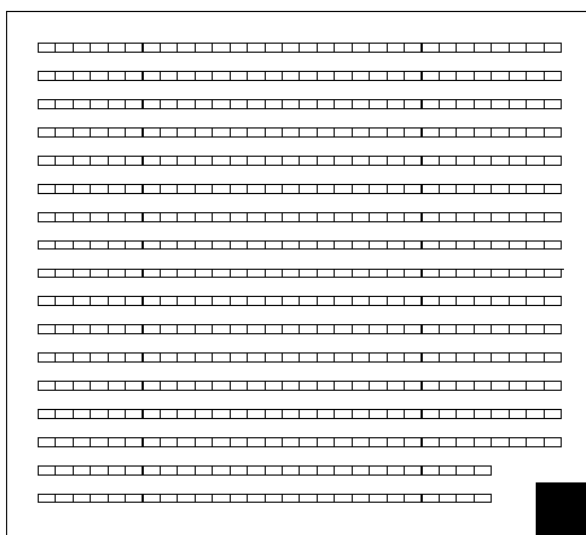
Zadané hodnoty	
A- Výška modulu [m]	0,992
B- Délka modulu [m]	1,640
$\beta$ - Úhel zvednutí modulu [°]	33
$\alpha$ - Úhel zastínění v zimním měsíci [°]	16,5
Vypočtené hodnoty	
C- Základní linie modulu [m]	0,832
D- Svislá výška modulu [m]	0,540
<b>E- Minimální vzdálenost modulů [m]</b>	<b>1,824</b>
<b>F- Řadové dělení [m]</b>	<b>2,656</b>
Plocha modulu [m <sup>2</sup> ]	1,627

Tab. 7.2: Tabulka vypočtených hodnot pro minimální rozestupy fotovoltaických modulů.



Obr. 7.4: Znáznornění hodnot z Tab 7.2.

V poslední fázi již stačí rozmístit jednotlivé fotovoltaické moduly tak, aby nedocházelo k vlastnímu zastínění na jednotlivých střechách budov a zjistit maximální možný výkon pro jednotlivé elektrárny. Příklad takového rozmístění lze vidět na Obr. 7.5, kde je znázorněn půdorys parkovacího domu s rozmístěnými moduly.



Obr. 7.5: Reálný půdorys parkovacího domu s 502 fotovoltaickými moduly.

Tímto způsobem, lze následně určit i maximální výkony zbylých fotovoltaických elektráren na nové administrativní budově a altánu. Jednotlivé vypočtené výkony těchto zdrojů lze vidět v Tab. 7.3.

Název budovy	Počet fotovoltaických modulů [ks]	Výkon FVE [kWp]
Parkovací dům	502	163,15
Nová administrativní budova	168	54,6
Relaxační altán	70	22,75

Tab. 7.3: Tabulka výkonů jednotlivých fotovoltaických elektráren.

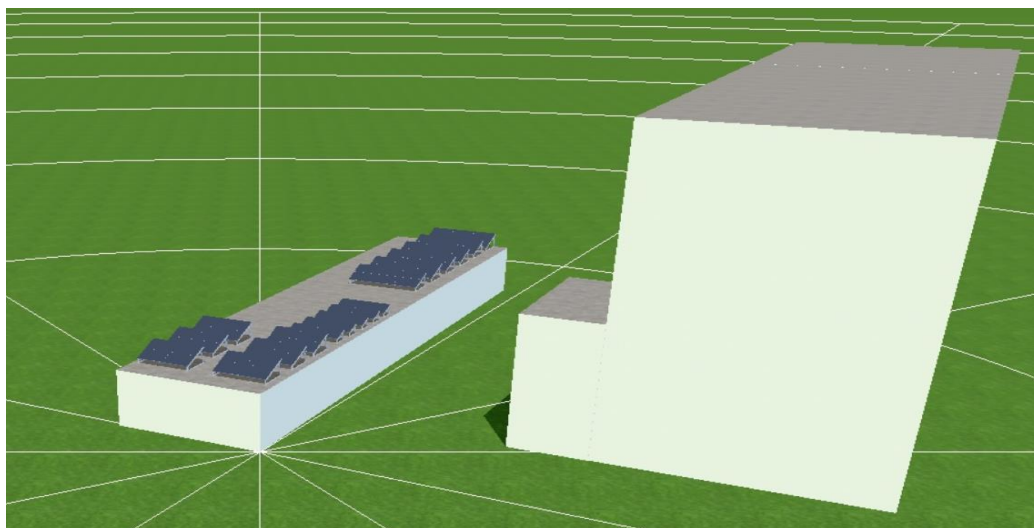
### 7.3.2 VLIV STÍNĚNÍ

Vliv stínění fotovoltaických modulů v tomto projektu se nejvíce bude projevovat u relaxačního altánu a následně u parkovacího domu. Ostatní budovy nebudou stíněné. Budova relaxačního altánu bude stát na místě, kde bude docházet k lokálnímu stínění od hlavní budovy firmy (viz. *Obr. 7.2*). U parkovacího domu je situace odlišná. Parkovací dům bude mít na střeše postavenou věž s logem firmy a právě tento objekt bude mít vliv na výkon některých fotovoltaických modulů (viz. *Obr. 7.6*).



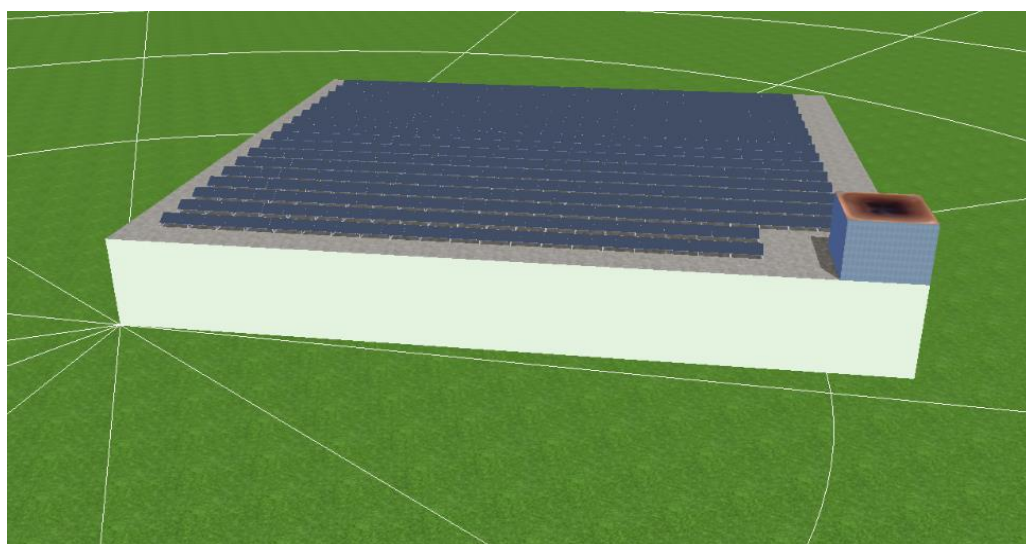
*Obr. 7.6: Ilustrační model parkovacího domu.*

Abych mohl tyto dva parametry stínění simulovat v matematickém modelu v programu MS Excel, musím zjistit jejich velikost. K vyřešení tohoto problému bude sloužit popisovaný program v kapitole 6 – PV\*Sol. Jelikož si firma nepřeje zveřejnit ilustrační vzhled altánu, je tato budova v programu PV\*Sol navržena pouze ve zjednodušeném modelu, který však nijak nezkrusluje výsledky této 3D simulace. V simulaci jsou zachovány veškerá skutečná data tzn.: rozměry a orientace budovy, velikost, výkon a sklon fotovoltaických modulů. Zjednodušený 3D model lze vidět na *Obr. 7.7*.



*Obr. 7.7: Simulace vlivu stínění fotovoltaických modulů na střeše relaxačního altánu.*

3D model budovy parkovacího domu je vidět na *Obr. 7.8*. Zde jsou opět zachována veškerá skutečná data.



*Obr. 7.8: Simulace vlivu stínění fotovoltaických modulů na střeše parkovacího domu.*

Po simulaci těchto objektů je pomocí programu zjištěno, že vlivem stínění u relaxačního altánu dojde ke snížení výkonu fotovoltaické elektrárny o 16,7 %. V tomto případě to znamená snížení instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny z 22,75 kWp na 18,95 kWp. U parkovacího domu je snížen výkon fotovoltaické elektrárny o 2,5 % (snížení instalovaného výkonu ze 163,15 kWp na 159 kWp).

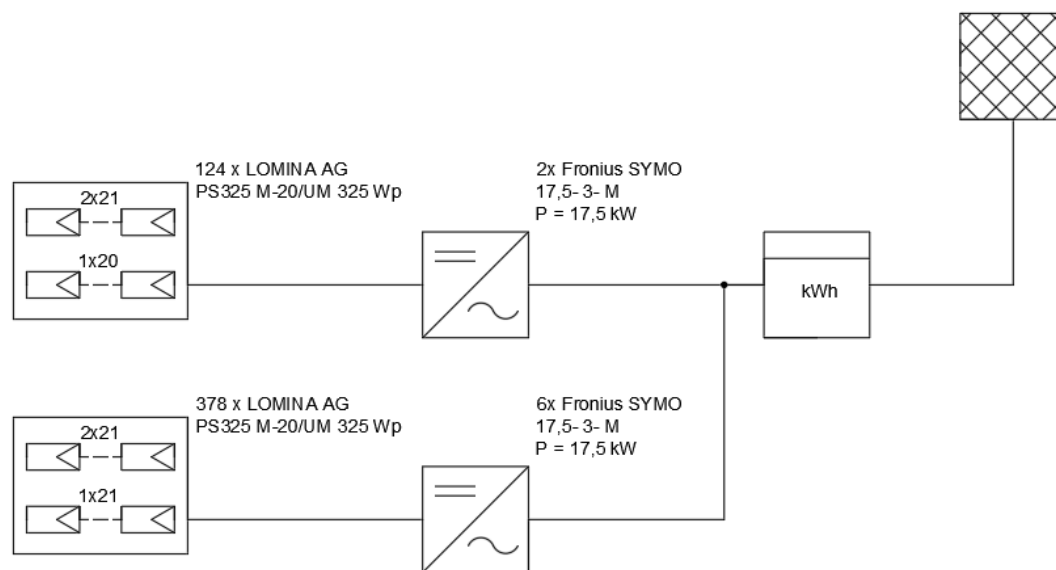
Název budovy	Snížení instalovaného výkonu [%]
Relaxační altán	16,7
Parkovací dům	2,5

*Tab. 7.4: Výsledky vlivu stínění.*

### 7.3.3 ZAPOJENÍ FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ K SOLÁRNÍM STŘÍDAČŮM

Dalším důležitým bodem při návrhu fotovoltaického systému je zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům. Střídače, které budou v tomto projektu použity, budou střídače FRONIUS SYMO 17,5-3-M o jmenovitém výkonu 17,5 kW (AC). Tento typ střídače má maximální možný připojitelný výkon na vstupní (DC) stranu 26,3 kWp. Tato strana může být napájena až 1000 V DC o vstupním proudu maximálně 51 A ( $I_{DCmax1} + I_{DCmax2}$ ). Střídač má již zabudované dva MPP trackery s rozsahem napětí MPP 370 - 800 V DC. Výstupní strana (AC) může být zapojena jak 3~NPE 400 V AC, tak i 3~NPE 230 V AC. Výstupní jmenovitý proud z AC strany je 25,3 A. Střídač má dále vstupy jak pro připojení přijímače HDO (dálkové ovládání výkonu střídače), tak i vstupy pro připojení monitorujícího zařízení.

Po zjištění těchto údajů z katalogového listu střídače a pomocí údajů o fotovoltaických modulech, lze již navrhnout optimální zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům. Jednotlivé návrhy zapojení lze vidět na *Obr. 7.9 -7.11*.

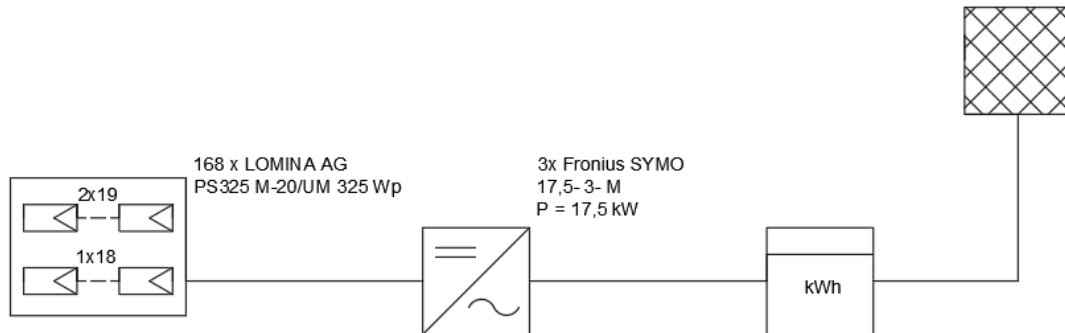


*Obr. 7.9: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt parkovacího domu.*

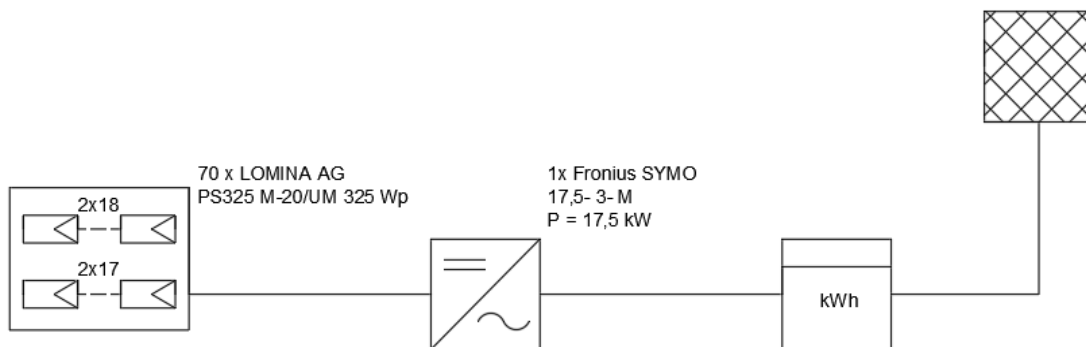
Z *Obr. 7.9* lze vidět, že pro optimální technické řešení je zapotřebí dvou větví střídačů o různém počtu fotovoltaických modulů, aby se vstupní hodnoty blížili ke jmenovitým hodnotám střídače. Horní střídač na *Obr. 7.9* má zapojené dvě paralelní větve o 21 modulech na první MPP tracker a na druhý MPP tracker je zapojeno pouze 20 fotovoltaických modulů bez druhé paralelní větve. Tímto zapojení je docíleno to, že první MPP tracker je napájen 684,6 V a 19,94 A. Druhý MPP tracker je napájen 652 V a 9,97 A v MPP režimu. Celkový zapojený výkon fotovoltaického generátoru je 20,15 kWp. V druhém střídači je situace podobná, ale na druhý MPP tracker je zapojeno 21 fotovoltaických modulů v sérii, což má

za následek zvýšení napájecího napětí z 652 V na 684,6 V. Celkový výkon připojeného fotovoltaického generátoru je 20,475 kWp

U zbylých dvou fotovoltaických elektráren je situace obdobná a jsou opět navrženy tak, aby se vstupní hodnoty přiblížili ke jmenovitým hodnotám střídače.



Obr. 7.10: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt nové administrativní budovy



Obr. 7.11: Zapojení fotovoltaických modulů k solárním střídačům pro projekt relaxačního altánu.

## 7.3.4 MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Z důvodu, aby bylo možné celou situaci co nejpřesněji simulovat a navrhnout správný matematický model pro ekonomické vyhodnocení, je zapotřebí druhá popsaná aplikace PVGIS z kapitoly 6, která dokáže exportovat hodinové výkony jednotlivých fotovoltaických elektráren (stávající administrativní budova, nová administrativní budova, parkovací dům a relaxační altán) za celý kalendářní rok do csv. souboru.

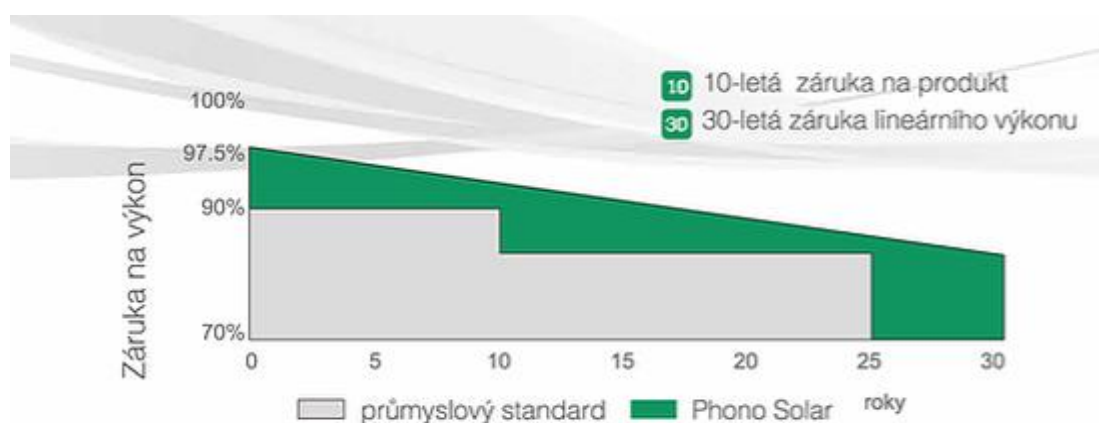
V modelu bude použita solární databáze ERA 5, která je v PVGISu nejnovější. Z důvodu, co možná nejpřesnějších vstupních dat jednotlivých fotovoltaických elektráren, budou použity vstupy z databáze roku 2012-2016, ze kterých je následně vypočten průměrný kalendářní rok hodinových výkonů jednotlivých elektráren (viz. Tab. 7.5).

Datum	Den	Čas [h]	Rok 2012	Rok 2013	Rok 2014	Rok 2015	Rok 2016	Průměrný rok
			P [W]	P [W]	P [W]	P [W]	P [W]	P [kW]
1. ledna	Pondělí	0:00	0	0	0	0	0	0
		1:00	0	0	0	0	0	0
		2:00	0	0	0	0	0	0
		3:00	0	0	0	0	0	0
		4:00	0	0	0	0	0	0
		5:00	0	0	0	0	0	0
		6:00	0	0	0	0	0	0
		7:00	0,44	44,74	5,23	0,92	6,11	0,01
		8:00	9,14	140,75	36,99	15,2	32,13	0,05
		9:00	14,32	225,92	93,44	52,2	50,95	0,09
		10:00	9,02	266,06	143,5	98,43	72,23	0,12
		11:00	13,88	242,38	218,68	92,28	72,95	0,13
		12:00	14,13	253,36	214,8	111,06	79,04	0,13
		13:00	7,38	125,5	220,96	189,67	58,54	0,12
		14:00	0,23	45,9	148,28	100,25	16,9	0,06
		15:00	0	0	0	0	0	0
		16:00	0	0	0	0	0	0
		17:00	0	0	0	0	0	0
		18:00	0	0	0	0	0	0
		19:00	0	0	0	0	0	0
		20:00	0	0	0	0	0	0
		21:00	0	0	0	0	0	0
		22:00	0	0	0	0	0	0
		23:00	0	0	0	0	0	0
....	....	....	....	....	....	....	....	....

Tab. 7.5: Model fotovoltaické elektrárny 1 kWp, která bude simulována na střeše parkovacího domu bez vlivu stínění, ztrát v systému a účinností solárních modulů prvního dne kalendářního roku 2012-2016.



Aby bylo možné pracovat se vstupními daty, musí se *Tab. 7.5* převést na hodinovou výrobu elektrické energie fotovoltaické elektrárny. Následně se data převedou na požadovaný výkon fotovoltaické elektrárny a započtou se ztráty stíněním, v systému a účinností fotovoltaických modulů. Ztráty stíněním lze vidět v *Tab. 7.4*, ztráty v systému (ztráty ve střídači, v rozvodech, ztráty způsobené degradací fotovoltaických modulů, atd.) jsou odhadnuty z doporučení PVGISu, který udává hodnotu 14 %. V tomto projektu budu však uvažovat ztráty pouze 12 %, protože ztráty vlivem degradací modulů budu uvažovat samostatně. Účinnost fotovoltaických modulů byla stanovena dle výrobce LOMINA A.G z katalogového listu (viz *Obr. 7.11*).



Obr. 7.12: Účinnost solárních modulů od firmy LOMINA A.G.

Další vstupní data, která jsou zapotřebí pro vyhodnocení, jsou data od dodavatele elektrické energie, protože právě dodavatel dokáže poskytnout hodinové odběry elektrické energie v budově firmy. Tyto data mi byly poskytnuty, ale pouze za 4 kalendářní měsíce v roce 2019 (květen - srpen). Z těchto čtyř měsíců jsem následně vytvořil průměrný kalendářní týden, který v matematickém modelu stále opakuji po celý rok. Kvůli poskytnutí dat pouze za 4 měsíce, dochází k určité odchylce v modelu a v reálné situaci. Tuto odchylku jsem se snažil vykompenzovat tím, že jsem průměrný kalendářní týden vynásobil konstantou 1,1795, abych dostal stejný odběr elektrické energie jako za rok 2019 (733 824 MWh). Následně jsem navýšil spotřebu elektrické energie na požadovaný 1,5 násobek stávající spotřeby (viz. *Tab. 7.6*). Z tabulky je vidět, že o víkendových dnech není odběr elektrické energie nulový, ale je zde pouze snížen, kvůli dvacetičtyřhodinovému provozu ve výrobní hale.

Čas [h]	Odběr činného elektrického výkonu P [kWh]						
	Den						
	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
0:00-1:00	57,1	65,5	50,4	58,8	60,5	42,0	35,3
1:00-2:00	55,4	62,1	48,7	53,7	58,8	42,0	36,9
2:00-3:00	48,7	52,1	45,3	45,3	52,1	42,0	38,6
3:00-4:00	57,1	63,8	50,4	53,7	60,5	50,4	36,9
4:00-5:00	65,5	67,2	53,7	63,8	68,9	72,2	38,6
5:00-6:00	105,8	109,2	97,4	110,8	112,5	78,9	40,3
6:00-7:00	270,4	262,0	251,9	273,7	258,6	85,6	36,9
7:00-8:00	282,1	283,8	262,0	287,2	277,1	80,6	33,6
8:00-9:00	272,0	278,8	253,6	280,4	270,4	75,6	26,9
9:00-10:00	272,0	280,4	246,9	275,4	260,3	63,8	23,5
10:00-11:00	225,0	220,0	209,9	218,3	213,3	43,7	18,5
11:00-12:00	235,1	240,1	216,6	236,8	223,3	30,2	18,5
12:00-13:00	251,9	263,7	233,4	248,5	241,8	18,5	15,1
13:00-14:00	243,5	253,6	223,3	241,8	231,7	15,1	15,1
14:00-15:00	228,4	226,7	204,9	221,7	178,0	18,5	18,5
15:00-16:00	204,9	196,5	178,0	191,4	146,1	21,8	18,5
16:00-17:00	178,0	174,6	157,9	169,6	132,7	23,5	20,2
17:00-18:00	166,3	167,9	149,5	162,9	125,9	28,5	25,2
18:00-19:00	129,3	125,9	117,6	131,0	102,4	28,5	30,2
19:00-20:00	166,3	162,9	149,5	161,2	119,2	33,6	36,9
20:00-21:00	179,7	176,3	159,5	174,6	125,9	38,6	42,0
21:00-22:00	167,9	149,5	146,1	162,9	110,8	43,7	52,1
22:00-23:00	85,6	70,5	77,2	77,2	55,4	42,0	67,2
23:00-0:00	72,2	57,1	62,1	65,5	43,7	35,3	60,5

Tab. 7.6: Průměrný kalendářní týden hodinových odběrů činného výkonu po vykompenzování odchylky a navýšení spotřeby

Z důvodu, aby byly veškeré výše popsané kroky srozumitelné je přiložena Tab. 7.7, ve které jsou zobrazeny výsledná data hodinové vyrobené elektrické energie z jednotlivých simulovaných fotovoltaických elektráren a data hodinových odběrů činného elektrického výkonu firmy v prvním dnu v roce. Z tabulky lze již vypočítat jak využitý energetický zisk fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu, tak i přebytky elektrické energie, které jsou posílány zpět do distribuční sítě.

Datum	Den	Čas [hod]	Předpokládaná výroba elektrické energie z fotovoltaických elektráren				Spotřeba elektrické energie ve firmě po předpokládaném navýšení stávající spotřeby [kWh]
			Stávající administrativní budova [kWh]	Parkovací dům [kWh]	Relaxační altán [kWh]	Nová administrativní budova [kWh]	
1. ledna	Pondělí	0:00-1:00	0	0	0	0	57,1
		1:00-2:00	0	0	0	0	55,4
		2:00-3:00	0	0	0	0	48,7
		3:00-4:00	0	0	0	0	57,1
		4:00-5:00	0	0	0	0	65,5
		5:00-6:00	0	0	0	0	105,8
		6:00-7:00	0	0	0	0	270,4
		7:00-8:00	0,38	1,58	0,06	0,54	282,1
		8:00-9:00	1,04	6,39	0,65	2,19	272,0
		9:00-10:00	1,70	11,92	1,23	4,09	272,0
		10:00-11:00	2,17	16,08	1,65	5,52	225,0
		11:00-12:00	2,23	17,47	1,76	5,60	235,1
		12:00-13:00	2,09	18,35	1,76	6,30	251,9
		13:00-14:00	1,34	16,43	1,36	5,64	243,5
		14:00-15:00	0,36	8,50	0,51	2,92	228,4
		15:00-16:00	0	0	0	0	204,9
		16:00-17:00	0	0	0	0	178,0
		17:00-18:00	0	0	0	0	166,3
		18:00-19:00	0	0	0	0	129,3
		19:00-20:00	0	0	0	0	166,3
		20:00-21:00	0	0	0	0	179,7
		21:00-22:00	0	0	0	0	167,9
		22:00-23:00	0	0	0	0	85,6
		23:00-0:00	0	0	0	0	72,2
....	....	....	....	....	....	....	

Tab. 7.7: Vzorová data pro simulaci fotovoltaického systému se započteným vlivem stínění, ztrát v systému a účinností solárních modulů prvního dne kalendářního roku.

Po zpracování *Tab. 7.7* pro celý kalendářní rok, je následně vidět, že díky vysokému odběru elektrické energie ve všedních dnech, dochází k přebytkům elektrické energie velmi zřídka, avšak o víkendových dnech, kdy je odběr elektrické energie snížen, dochází ve většině případů k přebytkům.

Aby bylo možné celou situaci co nejpřesněji ekonomicky vyhodnotit, je zapotřebí udělat tyto modely pro celou předpokládanou životnost fotovoltaického systému, která činí 25 roků. V těchto ročních modelech se každý rok snižuje účinnost fotovoltaických modulů a tím i výtěžnost elektrické energie. Roční výstupy lze vidět za prvních 5 roků v *Tab. 7.8* a v *Tab. 7.9*.

		1. ROK	2. ROK	3. ROK	4. ROK	5. ROK	6. ROK
<b>Spotřeba/Výroba elektrické energie</b>	Aktuální roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	....
	Předpokládaná roční výroba el. energie z FVE [MWh]	248,36	246,97	245,70	244,43	243,15	....
<b>FVE bez akumulace</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	895,51	896,40	897,35	898,35	899,30	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	43,04	42,72	42,39	42,07	41,74	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	82,67	82,70	82,75	82,79	82,83	....

*Tab. 7.8: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.*

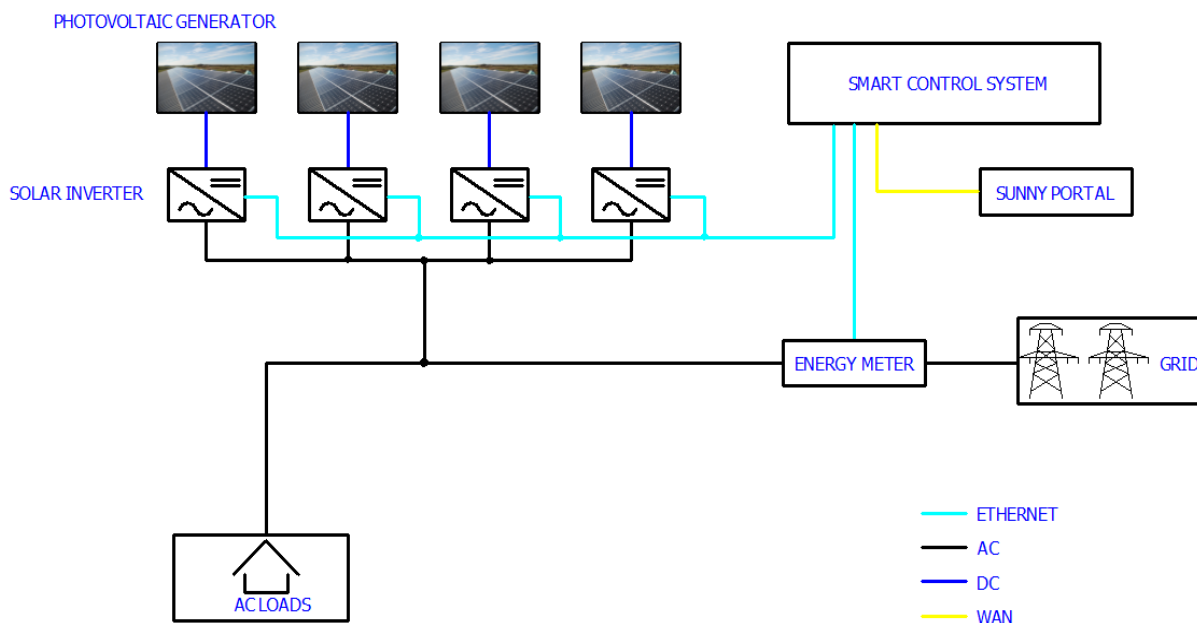
		1. ROK	2. ROK	3. ROK	4. ROK	5. ROK	6. ROK
<b>Spotřeba/Výroba elektrické energie</b>	Aktuální roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	....
	Předpokládaná roční výroba el. energie z FVE [MWh]	274,30	272,78	271,38	269,97	268,57	....
<b>FVE bez akumulace</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	875,88	876,87	877,91	879,01	880,05	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	49,36	49,00	48,64	48,27	47,91	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	82,00	82,04	82,08	82,12	82,16	....

*Tab. 7.9: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren včetně staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.*

*Tab. 7.8* popisuje situaci bez stávající fotovoltaické elektrárny, která je již postavena od roku 2010. Tyto data budou sloužit pro učení velikosti dotace od státu a pro ekonomické vyhodnocení. Druhá tabulka popisuje situaci včetně výroby elektrické energie ze simulované stávající fotovoltaické elektrárny.

## 7.4 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU BEZ BATERIOVÉHO ULOŽIŠTĚ

Ekonomické vyhodnocení je nejdůležitější část projektu. Zde bude rozhodnuto, zda se do projektu vyplatí investovat, či nikoli. Orientační schéma zapojení fotovoltaických elektráren lze vidět na *Obr. 7.13*.



*Obr. 7.13: Orientační schéma zapojení jednotlivých fotovoltaických elektráren.*

### 7.4.1 ROZPOČET PROJEKTU

Pro ekonomické vyhodnocení je zapotřebí odhadnout přibližné množství potřebného materiálu pro jednotlivé fotovoltaické elektrárny a určit ceny těchto položek. V minulých kapitolách již bylo určeno množství fotovoltaických modulů a střídačů. Dále je zapotřebí Smart control system, který se stará o sledování a řízení fotovoltaického systému. Jeho úkolem je spojení všech komunikačních portů, sbírání dat a jejich ukládání a obecně centrální monitoring a správa fotovoltaické elektrárny. Dále jsou zapotřebí jistící ochrany, které budou chránit jednotlivé komponenty při vzniku zkratu, nebo přetížení, DC a AC rozváděče pro uložení ochrany, solárních střídačů a ostatních komponentů. V neposlední řadě se nesmí zapomenout na DC a AC kabely, na konstrukce pro fotovoltaické moduly a na samotné práce na fotovoltaické elektrárně. Všechny tyto zmíněné položky lze vidět v *Tab. 7.10*, kde jsem se snažil pomocí vytvořeného elektrického schématu přibližně vykalkulovat potřebné množství těchto položek a určit jejich jednotlivé ceny bez DPH.

Po zhotovení *Tab. 7.10* lze vidět, že investiční náklady všech fotovoltaických elektráren byly stanoveny na hodnotu 6 701 414,2 Kč.

Název materiálu	Množství potřebného materiálu			Cena za jednotku	Celková cena
	Parkovací dům	Nová administrativní budova	Relaxační altán		
Návrh projektu		1 ks		382 050,0 Kč	382 050,0 Kč
Fotovoltaický modul PS325M-20/UM	502 ks	168 ks	70 ks	2 641,2 Kč	1 954 516,9 Kč
Střídač Fronius Symo 17.5-3-M 725 x 510 x225	8 ks	3 ks	1 ks	58 555,5 Kč	702 666,4 Kč
Solar monitor 300		1 ks		14 008,5 Kč	14 008,5 Kč
Nosná konstrukce panelů	502 ks	168 ks	70 ks	1 630,1 Kč	1 206 259,2 Kč
Přepětová ochrana SLP-PV1000 V/Y	24 ks	9 ks	4 ks	2 292,3 Kč	84 815,1 Kč
Pojistkové odpínače 1000V, 12A	24 ks	9 ks	4 ks	305,6 Kč	11 308,7 Kč
DC rozváděč 400x400x200	3 ks	2 ks	1 ks	1 808,4 Kč	10 850,2 Kč
DC kabel, solar, UV odolnost, modrý	1 000 m	480 m	200 m	25,5 Kč	42 789,6 Kč
DC kabel, solar, UV odolnost, červený	1 000 m	480 m	200 m	25,5 Kč	42 789,6 Kč
MC-4 male DC connector	50 ks	50 ks	50 ks	25,5 Kč	3 820,5 Kč
MC-4 female DC connector	50 ks	50 ks	50 ks	25,5 Kč	3 820,5 Kč
Kabelová ochrana	1 000 m	480 m	200 m	50,9 Kč	85 579,2 Kč
Přepětová ochrana 230 V	1 ks	1 ks	1 ks	2 801,7 Kč	8 405,1 Kč
Jistič 2 A/ C/ 1p		1 ks		216,5 Kč	216,5 Kč
Jistič 2 A/ C/ 3p		2 ks		764,1 Kč	1 528,2 Kč
Jistič 32 A/ C/ 3p	8 ks	3 ks	1 ks	636,8 Kč	7 641,0 Kč
Jistič 100 A/ C/3p	0 ks	1 ks	0 ks	2 929,1 Kč	2 929,1 Kč
Výkonový jistič 250 A	1 ks	0 ks	0 ks	9 933,3 Kč	9 933,3 Kč
Výkonový jistič s vyrážecí cívkou 630 A		1 ks		21 598,6 Kč	21 598,6 Kč
AC rozváděč 2025 x 590 x400		8 ks		14 517,9 Kč	174 214,8 Kč
CY 1X1,5 mm <sup>2</sup>		30 m		0,5 Kč	15,3 Kč
CYKY- O 3 x 1,5 mm <sup>2</sup>		30 m		10,2 Kč	305,6 Kč
CYKY- J 4 x 10 mm <sup>2</sup>	1 800 m	800 m	300 m	79,0 Kč	228 975,3 Kč
CYKY- J 4 x 25 mm <sup>2</sup>	0 m	100 m	0 m	216,5 Kč	21 649,5 Kč
CYKY- J 4 x 50 mm <sup>2</sup>	100 m	0 m	0 m	427,9 Kč	42 789,6 Kč
CYKY- J 4x 70 mm <sup>2</sup>		100 m		585,8 Kč	58 581,0 Kč
CYY 10 mm <sup>2</sup>		800 m		49,7 Kč	39 733,2 Kč
Ethernet kabel		800 m		17,8 Kč	14 263,2 Kč
Elektroměr SE1-PM3		1 ks		5 348,7 Kč	5 348,7 Kč
Total stop tlačítko		1 ks		1 018,8 Kč	1 018,8 Kč
Montáž konstrukcí	502 ks	168 ks	70 ks	152,8 Kč	113 086,8 Kč
Montáž kabelů		1 ks		331 110,0 Kč	331 110,0 Kč
Transport materiálu		1 ks		127 350,0 Kč	127 350,0 Kč
Instalace fotovoltaických modulů	502 ks	168 ks	70 ks	203,8 Kč	150 782,4 Kč
Montáž a nastavení měničů	8 ks	3 ks	1 ks	8 914,5 Kč	106 974,0 Kč
Funkční zkouška a zkušební provoz		1 ks		127 350,0 Kč	382 050,0 Kč
Revize		1 ks		101 880,0 Kč	305 640,0 Kč
				<b>Celková investice</b>	<b>6 701 414,2 Kč</b>

Tab. 7.10: Rozpočet pro realizaci projektu.

## 7.4.2 MÍRA PODPORY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

Aby bylo možné určit skutečnou cenu fotovoltaické elektrárny, za kterou bude firma platit, je zapotřebí vypočítat podporu poskytnutou od státu. Tato podpora má několik podmínek pro čerpání (viz. kapitola 5).

Já se zde budu zabývat pouze věcným hodnocením, které je při návrhu nejdůležitější. Splnění formálních náležitostí, kritérií přijatelnosti a zaslání všech potřebných dokumentů státu budu uvažovat jako vyřízené a splněné.

Prvním hodnotícím kritériem je připravenost žadatele k realizaci projektu. Tento bod je spíše technicko - právní problém a neodpovídá textu této diplomové práce. Bude tedy automaticky hodnocen 20 body.

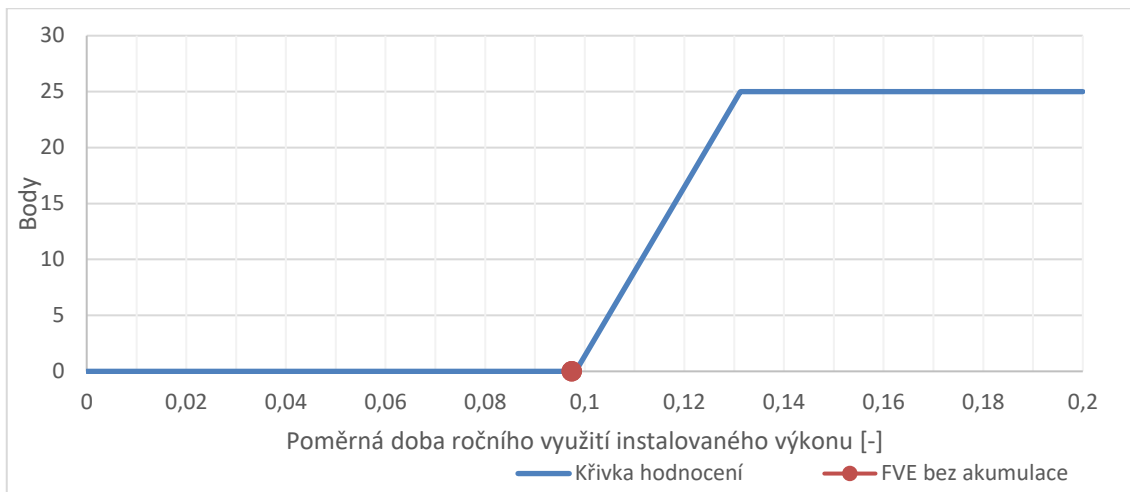
Další hodnotícím kritériem je poměrná doba využití instalovaného výkonu. Hodnocení se počítá dle vzorce 4. 2, kde  $W_e$  je roční využitý energetický zisk fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu. Tento zisk byl určen z prvního roku *Tab. 7.8* jako rozdíl aktuálního ročního odběru elektrické energie a předpokládaného ročního odběru elektrické energie s fotovoltaickým systémem.

$$\begin{aligned} W_e &= \text{Aktuální roční odběr el. energie ze sítě} \\ &\quad - \text{Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě} \\ &= 1100,71 \text{ MWh} - 895,51 \text{ MWh} = 205,2 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Následně lze již určit poměrnou dobu využití instalovaného výkonu dle vzorce 4. 2, kde  $P_i$  značí celkový instalovaný výkon, který činí 240,5 kWp.

$$t_{skut} = \frac{W_e}{P_i * 8760} = \frac{205\,200 \text{ kWh}}{240,5 \text{ kWp} * 8760 \text{ h}} = 0,0974 \quad (6.2)$$

Pokud je výsledná hodnota 0,0974 zaznamenána do *Obr. 5.2*, lze vidět, bodové hodnocení projektu. V tomto případě se jedná o bodový zisk 0 bodů.

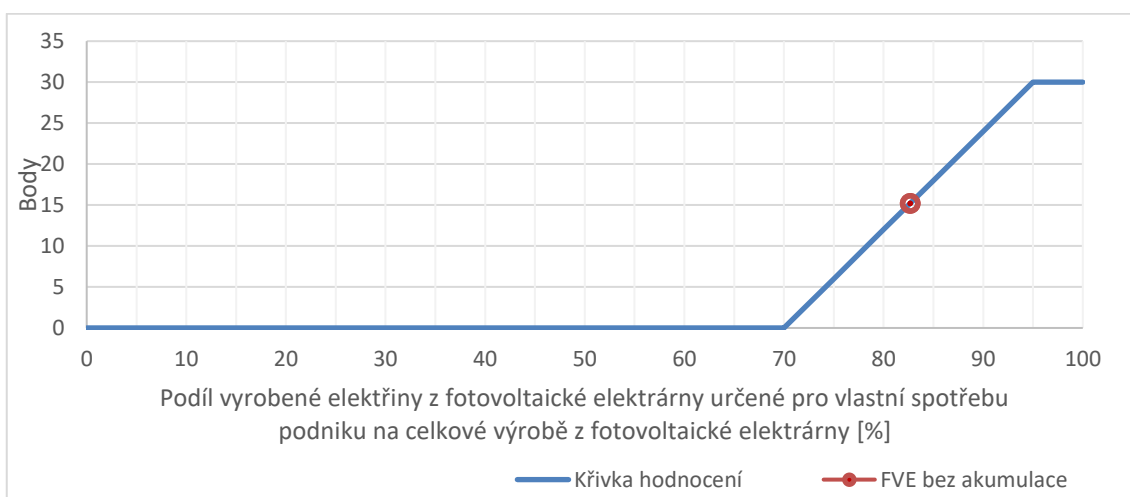


Obr. 7.14: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.

Ve třetím kritériu se hodnotí podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu. Zde se opět vychází z Tab. 7.8, kde se vypočte vlastní spotřeba elektrické  $W_e$  a následně se z této tabulky odečte celková předpokládaná vyrobená elektrická energie, která činí 248,36 MWh. Poměrem těchto dvou hodnot lze vypočíst podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu.

$$t_{\text{poměr}(bezAKU)} = \frac{W_e}{W_{e(\text{celkem})}} * 100 = \frac{205\,200 \text{ kWh}}{248\,360 \text{ kWh}} * 100 = 82,67 \% \quad (6.3)$$

Pokud je tato hodnota zaznamenána do Obr. 5.3, lze vyčíst získané bodové hodnocení. V tomto kritériu bylo získáno 15,2 bodů.



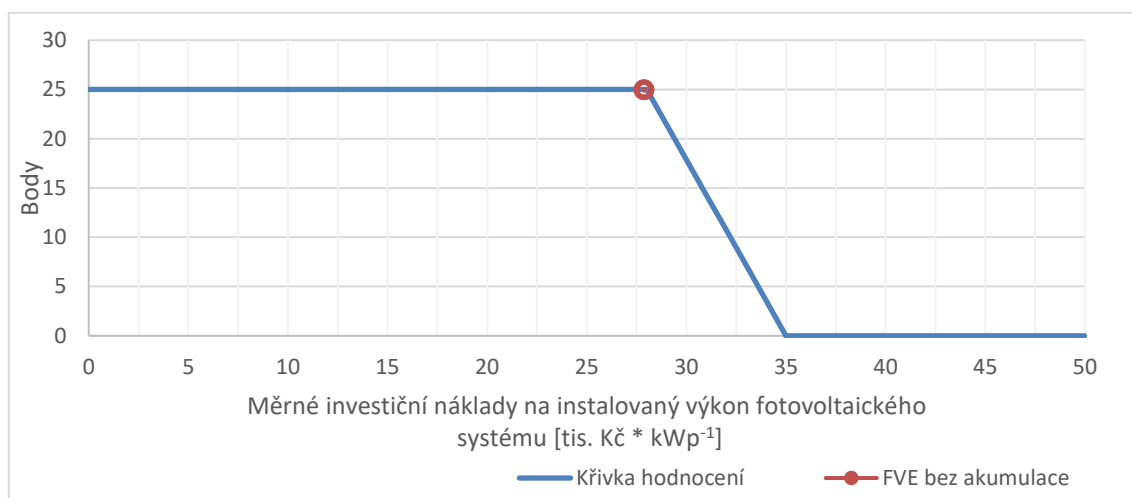
Obr. 7.15: Bodové hodnocení podílu vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny určené pro vlastní spotřebu podniku.



Posledním hodnotícím kritériem je nákladová efektivita projektu. Zde se berou v potaz pouze investiční náklady na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny bez systému akumulace. Výpočet lze vyjádřit jako:

$$\begin{aligned} \text{Náklady na instalovaný výkon} &= \frac{\text{Investiční náklady FV bez akumulace}}{P_i} \\ &= \frac{6\,701\,414,2 \text{ Kč}}{240,5 \text{ kWp}} = 27\,864,51 \text{ Kč} \cdot \text{kWp}^{-1} \end{aligned} \quad (6.4)$$

Pokud je tato hodnota zaznamenána do Obr. 5.4, lze vyčíst, bodové hodnocení získané v tomto kritériu. Bodový zisk je 25 bodů.



Obr. 7.16: Bodové hodnocení měrných nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.

Souhrn jednotlivých bodových zisků z jednotlivých kritérií lze vidět v Tab. 7.11. Jelikož jedna z podmínek pro získání podpory od státu je nezískat žádný nulový počet bodů z některého kritéria a zároveň splnění minimální hranice 60 bodů, nemá tento projekt nárok na dotaci.

Věcné hodnocení	BEZ AKUMULACE
Přípravenost žadatele k realizaci projektu.	20
Poměrná doba ročního využití instalovaného výkonu.	0
Podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu.	15,2
Nákladová efektivita projektu.	25
<b>Celkem bodů:</b>	<b>60,2</b>

Tab. 7.11: Bodové zisky projektu bez akumulace z jednotlivých kritériích.

### 7.4.3 CASH FLOW

V předešlé kapitole bylo zmíněno, že navržený fotovoltaický systém s investicí 6 701 414,2 Kč nebude podpořen dotací od státu za nesplnění podmínek dotace. Jak velký vliv bude mít tato skutečnost na ekonomické vyhodnocení projektu bude popsáno níže.

Pro stanovení ušetřené částky z výroby fotovoltaického systému a částky, která popisuje vykoupenou elektrickou energii od distributora, je zapotřebí zjistit nákupní a výkupní cenu elektrické energie. Tyto ceny již byly zmíněny v kapitole 7.2 a činí 2625 Kč \* MWh<sup>-1</sup> a 200 Kč \* MWh<sup>-1</sup>. Následně pomocí *Tab. 7.8* lze jednoduše vypočíst peněžní hodnotu úspory elektrické energie.

V dalším kroku je nutné započíst do peněžních toků výměnu starých střídačů za nové. Tato součástka se ve většině fotovoltaických systémů mění okolo osmého roku používání. I zde bude v tento rok započtena výměna. Z důvodu, že nikdo neví, jaká cena na trhu těchto elektrických součástek bude, střídače budou započteny do peněžních toků v současné nákupní hodnotě (702 666 Kč).

Další nezbytná částka, která musí být každý rok započtena, jsou drobné opravy a údržba fotovoltaického systému. Hodnota této částky byla stanovena po konzultaci s odborníkem na 0,5 % z investičních nákladů.

Odpisy se v tomto ekonomickém modelu objevovat nebudou, a to z důvodu, že je celá situace modelována z pohledu projektu.

Při vyhodnocení projektu, je dále velmi důležité, co možná nejpřesněji odhadnout velikost vstupních ekonomických parametrů, které budou v budoucnu projekt velmi ovlivňovat. Jako první vstup je životnost fotovoltaického systému. Samotný výrobce fotovoltaických modulů zaručuje životnost této elektrické součástky 30 roků, avšak u většiny ostatních komponentů je životnost menší. Z tohoto důvodu bude ekonomické vyhodnocení provedenou pouze za 25 roků.

Druhým vstupním parametrem, je odhadnutí vývoje ceny elektrické energie na trhu. Tento vstup je velmi těžké predikovat pro 5 roků, na což pro 25 roků. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce budu uvažovat cenu elektrické energie za celých 25 roků stálou, abych se vyhnul jakýmkoliv mým odhadům.

Posledním a nejdůležitějším ekonomickým vstupem je diskont projektu. Tento parametr zahrnuje rizika investice, tak i míru inflace. V tomto projektu byl diskont po konzultaci s vedoucím diplomové práce stanoven na hodnotu 4 %. Všechny tyto ekonomické vstupní parametry jsou vidět v *Tab. 7.12*.

<b>Životnost fotovoltaického systému</b>	25 roků
<b>Eskalace cen elektrické energie</b>	0 %
<b>Diskont</b>	4 %

*Tab. 7.12: Vstupní ekonomické parametry.*

Aby bylo možné posoudit ekonomickou výhodnost projektu, je zapotřebí vytvořit ekonomický model se všemi výše popsanými vstupy. Tento model je vidět v *Tab. 7.13*. Lze si všimnout, že v nultém roce (rok, kdy je elektrárna postavena),

jsou započteny pouze investiční náklady. V prvním roce provozu jsou již započteny všechny ostatní vstupy. Dále je vidět, že úspora elektrické energie vlivem vlastní spotřeby je 538 650 Kč. Do distribuční sítě byla poslána elektrická energie o výkupní ceně 8 608 Kč. V dalších řádcích už jsou pouze nutné provozní náklady. V řádku cash flow jsou následně všechny tyto výnosy a výdaje posčítány. Předposlední řádek tabulky (diskontovaný cash flow) již vyobrazuje skutečnou hodnotu peněz díky čtyř procentní diskontní míře. Diskontovaný cash flow se vypočte pomocí vzorce:

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1 + r)^t} \quad (6.5)$$

kde:

$CF_t$  je peněžní tok v roce  $t$  [Kč]

$r$  je diskont projektu [-]

$t$  je rok, ke kterému se se počítá DCF [rok]

V posledním řádku tabulky je navíc vyjádřen kumulovaný diskontovaný cash flow, z kterého už lze vyčíst jak reálnou dobu návratnosti projektu, tak i čistou současnou hodnotu projektu (podrobněji bude vysvětleno níže).

Rok provozu fotovoltaického systému [rok]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investiční výdaje na fotovoltaický systém [Kč]	-6 701 414															
Velikost poskytnuté podpory [Kč]		0														
Výše úspory z vyrobené elektrické energie fotovoltaickým systémem [Kč]		538 650	536 288	533 925	531 300	528 675	526 313	523 688	521 325	518 700	516 338	513 713	511 350	508 725	506 363	503 738
Tržba z elektrické energie dodané do distribuční soustavy [Kč]		8 608	8 543	8 478	8 413	8 349	8 284	8 219	8 154	8 090	8 025	7 961	7 896	7 832	7 768	7 704
Výdaje na údržbu fotovoltaického systému [Kč]		-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507
Výdaje na nové střídače [Kč]		0	0	0	0	0	0	0	-702 666	0	0	0	0	0	0	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow [Kč]	-6 701 414	513 751	511 324	508 896	506 206	503 517	501 089	498 399	-206 694	493 282	490 855	488 166	485 739	483 050	480 623	477 934
Diskontovaný cash flow [Kč]	-6 701 414	493 991	472 747	452 407	432 707	413 854	396 018	378 743	-151 029	346 574	331 604	317 103	303 391	290 107	277 548	265 380
Kumulovaný diskontovaný cash flow [Kč]	-6 701 414	-6 207 423	-5 734 675	-5 282 269	-4 849 561	-4 435 707	-4 039 689	-3 660 947	-3 811 976	-3 465 402	-3 133 798	-2 816 695	-2 513 304	-2 223 196	-1 945 648	-1 680 268

Rok provozu fotovoltaického systému [rok]	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investiční výdaje na fotovoltaický systém [Kč]										
Velikost poskytnuté podpory [Kč]										
Výše úspory z vyrobené elektrické energie fotovoltaickým systémem [Kč]	501 113	498 750	496 125	493 763	491 138	488 775	486 150	483 788	481 163	478 538
Tržba z elektrické energie dodané do distribuční soustavy [Kč]	7 640	7 577	7 513	7 450	7 386	7 323	7 260	7 196	7 133	7 070
Výdaje na údržbu fotovoltaického systému [Kč]	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507	-33 507
Výdaje na nové střídače [Kč]	-702 666	0	0	0	0	0	0	0	-702 666	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow [Kč]	-227 421	472 819	470 131	467 705	465 017	462 591	459 903	457 477	-247 878	452 101
Diskontovaný cash flow [Kč]	-121 422	242 733	232 070	221 993	212 228	203 000	194 058	185 610	-96 702	169 591
Kumulovaný diskontovaný cash flow [Kč]	-1 801 690	-1 558 957	-1 326 887	-1 104 895	-892 667	-689 667	-495 608	-309 998	-406 700	-237 110

Tab. 7.13: Peněžní toky fotovoltaického systému bez akumulace

Po vytvoření ekonomického modelu je možné posuzovat ekonomickou výhodnost projektu pomocí čtyř základních kritérií. Jako první kritérium je výpočet prosté doby návratnosti, které je nejméně vhodné, ale naopak velmi často užívané. Toto kritérium zanedbává efekty po době návratnosti a zanedbává fakt, že peníze lze vložit do jiných investičních příležitostí. Obvykle se prostá doba návratnosti počítá dle vzorce:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (6.6)$$

kde:

$T_s$  je prostá doba návratnosti [rok];  
 $IN$  jsou investiční výdaje [Kč];  
 $CF$  jsou roční peněžní toky [Kč];

Pokud do vzorce 6. 6 vložíme reálná vypočtená data z *Tab. 7.13*, vyjde prostá doba návratnosti okolo 15 roků.

Další kritériem, kterým se posuzují projekty, je reálná doba návratnosti. Jedná se o podobné kritérium jako u prosté doby návratnosti, avšak zde se již počítá s diskontovaným peněžním tokem. Reálná doba návratnosti lze vypočíst dle vzorce:

$$\sum_{t=0}^{T_{ds}} CF_t * (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (6.7)$$

kde:

$T_{ds}$  je reálná doba návratnosti [rok];  
 $IN$  jsou investiční výdaje [Kč];  
 $CF_t$  jsou roční peněžní toky v roce  $t$  [Kč];  
 $r$  je diskontní míra projektu [-];  
 $t$  je doba životnosti projektu [rok];

Zdali do tohoto vzorce opět dosadíme hodnoty z *Tab. 7.13*, diskontovaná doba návratnosti vyjde větší než předpokládaná doba životnost fotovoltaického systému a projekt se pomocí tohoto kritéria nedoporučuje zrealizovat.

Třetím kritériem je výpočet čisté současné hodnoty (NPV). Toto kritérium je jedním z nejvýhodnějších a je v něm zahrnuta celá doba životnosti projektu i možnost investování do jiného rizikového projektu. NPV se vypočte dle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^T DCF_t = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (6.8)$$

kde:

NPV je čistá současná hodnota [Kč];  
 DCF<sub>t</sub> jsou roční diskontované peněžní toky [Kč];  
 t je doba životnosti projektu [rok];

Výpočet je postaven na tom, že v nultém roce, počítá tento vzorec pouze s počátečními investicemi a až v následujícím roce (rok 1) je zařízení uvedeno do provozu. Z toho vyplývá, že se až v roce 1 objeví první výnosy a náklady. Pokud vyjde NPV větší než nula, říká nám tato hodnota, že projekt lze doporučit k realizaci. Po dosazení hodnot z *Tab. 7.13* do vzorce 6. 8 lze říci, že hodnota NPV vyjde - 237 110 Kč a projekt nelze znovu doporučit k realizaci.

Posledním kritériem je výpočet vnitřního výnosového procenta (IRR), které nám říká kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme, pokud zvažíme časovou hodnotu peněz (diskont). IRR se vypočte dle vzorce:

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad (6.9)$$

kde:

IRR je vnitřní výnosové procento [%];  
 IN jsou investiční výdaje [Kč];  
 CF<sub>t</sub> jsou roční peněžní toky [Kč];  
 t je doba životnosti projektu [rok];

Pokud dosadíme skutečné hodnoty z *Tab. 7.13* do vzorce 6.9 lze říci, že vnitřní výnosové procento vyjde -0,4 % a projekt k realizaci nelze opět doporučit. Výsledky ze všech kritérií lze vidět v *Tab. 7.14*.

Prostá doba návratnosti (Ts)	15 roků
Reálná doba návratnosti (Tds)	>25 roků
Čistá současná hodnota (NPV)	-237 110 Kč
Vnitřní výnosové procento (IRR)	-0,4 %

*Tab. 7.14: Souhrn výsledků z ekonomických kritérií.*

## 7.5 NÁVRH BATERIOVÉHO ULOŽIŠTĚ

V minulé kapitole jsme se dozvěděli, že vlivem nízké poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu dojde k ohodnocení tohoto kritéria nulovým počtem bodů. Tento fakt má za následek, že projekt nebude podpořen dotací od státu. Tato kapitola se bude nyní zaměřovat na to, jak by případná získaná dotace za splnění všech podmínek ovlivnila výsledná ekonomická kritéria.

Aby byla podpora od státu získána, musí se zvýšit hodnota poměrné doby ročního využití v dotačním programu. Pokud se zaměříme na vzorec 6.2, který popisuje poměrnou dobu ročního využití instalovaného výkonu, lze tento problém poměrně jednoduše odstranit zvýšením hodnoty ročního využitého energetického zisku fotovoltaického systému ( $W_e$ ). Toho docílíme tak, že navrheme optimální velikost bateriového uložení a tím zvýšíme roční využitý energetický zisk. Aby se předešlo opět nulovému počtu bodů, musí použité optimalizované bateriové uložení zvýšit využitelnost vyrobené elektrické energie z původních 205,2 MWh na 206,9 MWh. Poté vzorec 6.2 bude vykazovat nenulové bodové hodnocení.

### 7.5.1 MATEMATICKÝ MODEL FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM

Na konci kapitoly 7.3.4 bylo řečeno, že k přebytkům elektrické energie dochází ve většině případů pouze o víkendových dnech, kdy je snížena spotřeba elektrické energie. Jelikož dochází ve většině případů k větším přetokům elektrické energie do sítě pouze v tyto dny, bude bateriové uložení navrženo primárně tak, aby splnilo podmínky dotace. K jiné úloze uložení nebude využito, protože by se nevyplatilo, z důvodů jeho malého využití a velké pořizovací ceny.

Aby se dal sestavit matematický model bateriového uložení je zapotřebí vycházet *Tab. 7.7*, z které lze určit aktuální spotřebu po zahrnutí vyrobené elektrické energie fotovoltaickými elektrárnami, tak i přebytky elektrické energie, které jsou posílány zpět do distribuční sítě. S těmito hodnotami lze již simulovat a určit množství akumulované elektrické energie.

V tomto projektu bude použito bateriové uložení od výrobce LOMINA A.G. na bázi  $\text{LiFePO}_4$ . Uložení, které zde bude použito má kapacitu 62 kWh a výkon 50 kW. Využitelná kapacita, která byla určena z katalogového listu je 90 % DOD. Pokud by došlo k problému, že by kapacita nebyla dostatečná, lze bateriové uložení různě paralelně kombinovat s dalšími moduly pro případné navýšení nedostatečné kapacity.

V matematickém modelu je uvažována kapacita bateriového uložení právě jednoho modulu a činí 62 kWh. Vlivem snížení kapacity na 90 % lze simulovat maximálně kapacitu 55,8 kWh. Simulace tohoto bateriového uložení v první dva dny v měsíci červen je zobrazena na *Obr. 7.17*.

Datum	Den	Čas [hod]	Aktuální stav elektrické energie [kWh]	Kumulace přebytků elektrické energie [kWh]	Omezení přebytků elektrické energie na velikost zvolené baterie [kWh]	Nabíjení/ Vybíjení baterie [kWh]
1. června	Sobota	0:00-1:00	41,98	0,00	0,00	0,00
		1:00-2:00	41,98	0,00	0,00	0,00
		2:00-3:00	41,98	0,00	0,00	0,00
		3:00-4:00	48,93	0,00	0,00	0,00
		4:00-5:00	63,99	0,00	0,00	0,00
		5:00-6:00	61,44	0,00	0,00	0,00
		6:00-7:00	47,34	0,00	0,00	0,00
		7:00-8:00	9,75	0,00	0,00	0,00
		8:00-9:00	-17,35	-17,35	-17,35	-17,35
		9:00-10:00	-37,48	-54,83	-54,83	-54,83
		10:00-11:00	-64,57	-119,40	-55,80	-55,80
		11:00-12:00	-77,53	-196,93	-55,80	-55,80
		12:00-13:00	-89,49	-286,42	-55,80	-55,80
		13:00-14:00	-82,39	-368,81	-55,80	-55,80
		14:00-15:00	-69,59	-438,39	-55,80	-55,80
		15:00-16:00	-38,72	-477,12	-55,80	-55,80
		16:00-17:00	-10,06	-487,17	-55,80	-55,80
		17:00-18:00	17,89	0,00	0,00	-37,91
		18:00-19:00	28,01	0,00	0,00	-9,88
		19:00-20:00	33,59	0,00	0,00	0,00
		20:00-21:00	38,62	0,00	0,00	0,00
		21:00-22:00	43,66	0,00	0,00	0,00
		22:00-23:00	41,98	0,00	0,00	0,00
		23:00-0:00	35,27	0,00	0,00	0,00
2. června	Neděle	0:00-1:00	35,27	0,00	0,00	0,00
		1:00-2:00	36,94	0,00	0,00	0,00
		2:00-3:00	38,62	0,00	0,00	0,00
		3:00-4:00	35,65	0,00	0,00	0,00
		4:00-5:00	31,37	0,00	0,00	0,00
		5:00-6:00	27,63	0,00	0,00	0,00
		6:00-7:00	2,21	0,00	0,00	0,00
		7:00-8:00	-32,32	-32,32	-32,32	-32,32
		8:00-9:00	-58,33	-90,65	-55,80	-55,80
		9:00-10:00	-69,16	-159,81	-55,80	-55,80
		10:00-11:00	-101,67	-261,48	-55,80	-55,80
		11:00-12:00	-104,72	-366,20	-55,80	-55,80
		12:00-13:00	-99,99	-466,19	-55,80	-55,80
		13:00-14:00	-78,94	-545,04	-55,80	-55,80
		14:00-15:00	-56,10	-601,14	-55,80	-55,80
		15:00-16:00	-31,84	-632,98	-55,80	-55,80
		16:00-17:00	-6,91	-639,89	-55,80	-55,80
		17:00-18:00	14,41	0,00	0,00	-41,38
		18:00-19:00	29,80	0,00	0,00	-11,58
		19:00-20:00	36,94	0,00	0,00	0,00
		20:00-21:00	41,98	0,00	0,00	0,00
		21:00-22:00	52,06	0,00	0,00	0,00
		22:00-23:00	67,17	0,00	0,00	0,00
		23:00-0:00	60,45	0,00	0,00	0,00

Obr. 7.17: Simulace chodu bateriového uložení ve dnech 1. a 2. června v prvním roce používání, kde červená barva v simulaci znamená přebytky elektrické energie a zelená barva označuje odběr elektrické energie ze sítě.

Z tohoto celoročního modelu lze následně zjistit zvýšení spotřeby vyrobené elektrické energie z fotovoltaických elektráren pro vlastní spotřebu a tím zvýšení poměrné doby využití instalovaného výkonu. Po simulaci a vypsání výstupů do Tab. 7.15 lze vidět, že roční přebytek el. energie, který je poslán do distribuční sítě, se snížil v prvním roce provozu ze 43,04 MWh (Tab. 7.8) na hodnotu 37,35 MWh. Dle vzorce 6.2 lze následně zjistit aktuální předpokládanou vlastní spotřebu vyrobené elektrické energie z fotovoltaického systému. Tato vlastní spotřeba vzrostla z 205,2 MWh na hodnotu 210,9 MWh, což je větší hodnota elektrické energie než minimální požadovaná hranice (206,9 MWh).



		1. ROK	2. ROK	3. ROK	4. ROK	5. ROK	6. ROK
<b>Spotřeba/Výroba elektrické energie</b>	Aktuální roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	....
	Předpokládaná roční výroba el. energie z FVE [MWh]	248,36	246,97	245,70	244,43	243,15	....
<b>FVE s akumulací</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	889,82	890,71	891,66	892,67	893,62	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	37,35	37,03	36,70	36,38	36,06	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	84,92	85,03	85,08	85,11	85,17	....

Tab. 7.15: Využití elektrické energie pro vlastní spotřebu vyrobené z fotovoltaických elektráren bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010 s bateriovým uložištěm 62 kWh.

Aby bylo možné snadno oba fotovoltaické systémy porovnat, níže jsou znázorněny tabulky s výslednými simulovanými ročními hodnotami.

		1. ROK	2. ROK	3. ROK	4. ROK	5. ROK	6. ROK
<b>Spotřeba/Výroba elektrické energie</b>	Aktuální roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	....
	Předpokládaná roční výroba el. energie z FVE [MWh]	248,36	246,97	245,70	244,43	243,15	....
<b>FVE bez akumulace</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	895,51	896,40	897,35	898,35	899,30	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	43,04	42,72	42,39	42,07	41,74	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	82,67	82,70	82,75	82,79	82,83	....
<b>FVE s akumulací</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	889,82	890,71	891,66	892,67	893,62	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	37,35	37,03	36,70	36,38	36,06	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	84,92	85,03	85,08	85,11	85,17	....

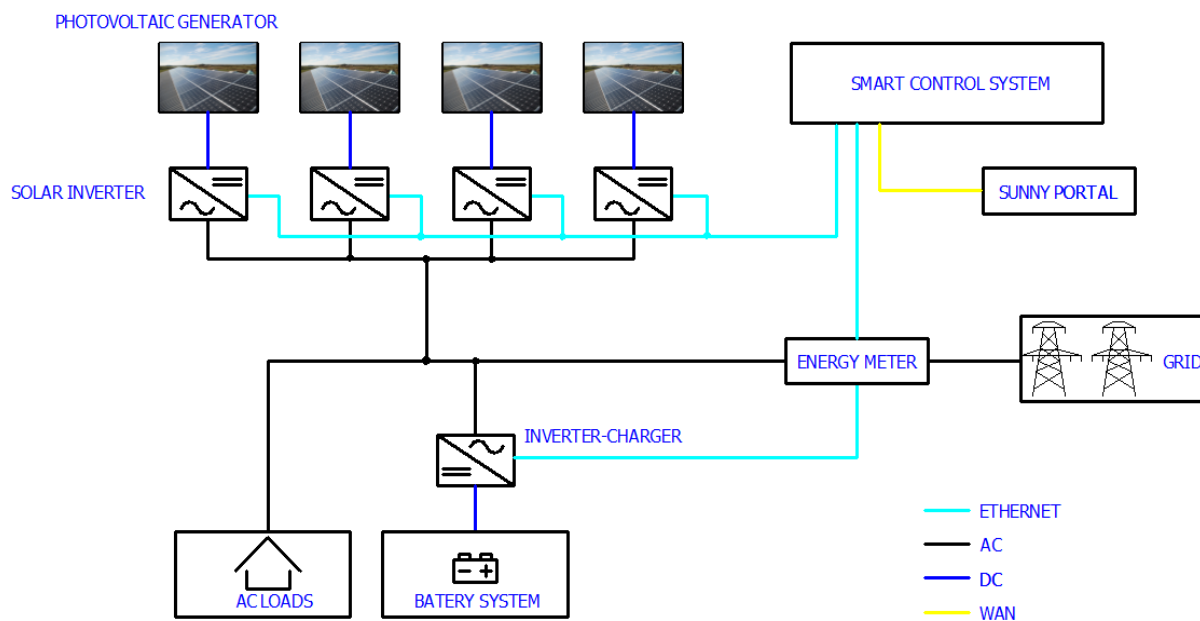
Tab. 7.16: Porovnání výstupních hodnot fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací bez staré fotovoltaické elektrárny z roku 2010.

		1. ROK	2. ROK	3. ROK	4. ROK	5. ROK	6. ROK
<b>Spotřeba/Výroba elektrické energie</b>	Aktuální roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	1100,71	....
	Předpokládaná roční výroba el. energie z FVE [MWh]	274,30	272,78	271,38	269,97	268,57	....
<b>FVE bez akumulace</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	875,88	876,87	877,91	879,01	880,05	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	49,36	49,00	48,64	48,27	47,91	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	82,00	82,04	82,08	82,12	82,16	....
<b>FVE s akumulací</b>	Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě [MWh]	870,16	871,15	872,20	873,30	874,34	....
	Předpokládaný roční přebytek el. energie [MWh]	43,64	43,28	42,92	42,56	42,20	....
	Využito vyrobené el. energie [%]	84,05	84,15	84,21	84,24	84,29	....

Tab. 7.17: Porovnání výstupních hodnot fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací se starou fotovoltaickou elektrárnou z roku 2010.

## 7.6 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ PROJEKTU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM

V minulém ekonomickém vyhodnocení došlo k tomu, že projekt bez bateriového uložště nebyl podpořen dotací od státu. Zde již jsou podmínky dotace splněny a dotace bude započtena do peněžních toků. Orientační schéma zapojení projektu s bateriovým uložštěm lze vidět na Obr. 7.18.



Obr. 7.18: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny s bateriovým uložštěm.

### 7.6.1 ROZPOČET PROJEKTU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM

V minulém rozpočtu, byly zmíněny pouze položky pro projekt bez bateriového uložště, nyní se musí započítat do rozpočtu i LOMINA battery system, který zahrnuje veškeré potřebné komponenty pro správný chod a jištění baterie, tzn. v ceně je uveden vypínač, střídač, bateriové uložště, rozvaděč, atd. Další položka, která je přidaná, je montáž a nastavení bateriových uložšť. Celý tento rozpočet lze vidět v Tab. 7.18. Po součtu všech položek jsou investiční výdaje na projekt s bateriovým uložštěm odhadnuty na cenu 8 026 007,07 Kč bez DPH.

Název materiálu	Množství potřebného materiálu			Cena za jednotku	Celková cena
	Parkovací dům	Nová administrativní budova	Relaxační altán		
Návrh projektu		1 ks		382 050,0 Kč	382 050,0 Kč
Fotovoltaický modul PS325M-20/UM	502 ks	168 ks	70 ks	2 641,2 Kč	1 954 516,9 Kč
Střídač Fronius Symo 17.5-3-M 725 x 510 x225	8 ks	3 ks	1 ks	58 555,5 Kč	702 666,4 Kč
Solar monitor 300		1 ks		14 008,5 Kč	14 008,5 Kč
Nosná konstrukce panelů	502 ks	168 ks	70 ks	1 630,1 Kč	1 206 259,2 Kč
Přepěťová ochrana SLP-PV1000 V/Y	24 ks	9 ks	4 ks	2 292,3 Kč	84 815,1 Kč
Pojistkové odpínače 1000V, 12A	24 ks	9 ks	4 ks	305,6 Kč	11 308,7 Kč
DC rozváděč 400x400x200	3 ks	2 ks	1 ks	1 808,4 Kč	10 850,2 Kč
DC kabel, solar, UV odolnost, modrý	1 000 m	480 m	200 m	25,5 Kč	42 789,6 Kč
DC kabel, solar, UV odolnost, červený	1 000 m	480 m	200 m	25,5 Kč	42 789,6 Kč
MC-4 male DC connector	50 ks	50 ks	50 ks	25,5 Kč	3 820,5 Kč
MC-4 female DC connector	50 ks	50 ks	50 ks	25,5 Kč	3 820,5 Kč
Kabelová ochrana	1 000 m	480 m	200 m	50,9 Kč	85 579,2 Kč
Přepěťová ochrana 230 V	1 ks	1 ks	1 ks	2 801,7 Kč	8 405,1 Kč
Jistič 2 A/ C/ 1p		1 ks		216,5 Kč	216,5 Kč
Jistič 2 A/ C/ 3p		2 ks		764,1 Kč	1 528,2 Kč
Jistič 32 A/ C/ 3p	8 ks	3 ks	1 ks	636,8 Kč	7 641,0 Kč
Jistič 80 A/ C/ 3p		1 ks		2 699,8 Kč	2 699,8 Kč
Jistič 100 A/ C/3p	0 ks	1 ks	0 ks	2 929,1 Kč	2 929,1 Kč
Výkonový jistič 250 A	1 ks	0 ks	0 ks	9 933,3 Kč	9 933,3 Kč
Výkonový jistič s vyrážecí cívkou 630 A		1 ks		21 598,6 Kč	21 598,6 Kč
AC rozváděč 2025 x 590 x400		8 ks		14 517,9 Kč	174 214,8 Kč
CY 1X1,5 mm2		30 m		0,5 Kč	15,3 Kč
CYKY- O 3 x 1,5 mm2		30 m		10,2 Kč	305,6 Kč
CYKY- J 4 x 10 mm2	1 800 m	800 m	300 m	79,0 Kč	228 975,3 Kč
CYKY- J 4 x 25 mm2	0 m	100 m	0 m	216,5 Kč	21 649,5 Kč
CYKY- J 4 x 50 mm2	100 m	0 m	0 m	427,9 Kč	42 789,6 Kč
CYKY- J 4x 70 mm2		100 m		585,8 Kč	58 581,0 Kč
CYY 10 mm2		800 m		49,7 Kč	39 733,2 Kč
Ethernet kabel		800 m		17,8 Kč	14 263,2 Kč
Elektroměr SE1-PM3		1 ks		5 348,7 Kč	5 348,7 Kč
Total stop tlačítko		1 ks		1 018,8 Kč	1 018,8 Kč
Montáž konstrukcí	502 ks	168 ks	70 ks	152,8 Kč	113 086,8 Kč
Montáž kabelů		1 ks		331 110,0 Kč	331 110,0 Kč
Transport materiálu		1 ks		127 350,0 Kč	127 350,0 Kč
Instalace fotovoltaických modulů	502 ks	168 ks	70 ks	203,8 Kč	150 782,4 Kč
Montáž a nastavení měničů	8 ks	3 ks	1 ks	8 914,5 Kč	106 974,0 Kč
Funkční zkouška a zkušební provoz		1 ks		127 350,0 Kč	382 050,0 Kč
Revize		1 ks		101 880,0 Kč	305 640,0 Kč
LOMINA Power Systems – 50 kW, 62 kWh		1 ks		1 197 090,0 Kč	1 197 090,0 Kč
Montáž a nastavení bateriových uložišť		1 ks		124 803,0 Kč	124 803,0 Kč
				<b>Celková investice</b>	<b>8 026 007,07 Kč</b>

Tab. 7.18: Rozpočet pro realizaci projektu s bateriovým uložištěm.

## 7.6.2 MÍRA PODPORY FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU S BATERIOVÝM ULOŽIŠTĚM

Stejně jako v kapitole 7.4.2 i zde bude postupováno ve výpočtu velikosti podpory stejnými kroky.

Prvním hodnotícím kritériem je opět připravenost žadatele k realizaci projektu. Toto kritérium je automaticky hodnoceno 20 body jako v předchozím případě.

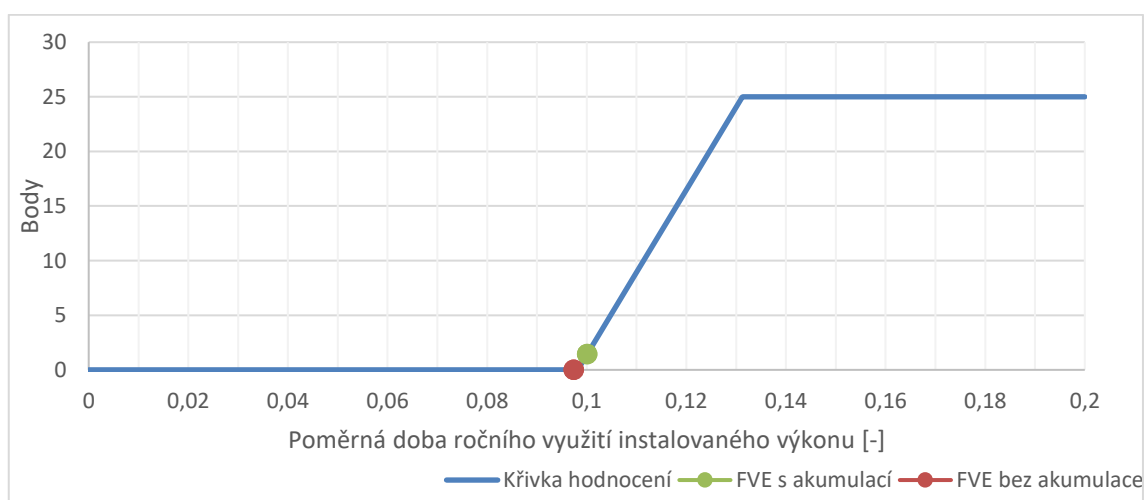
Druhým hodnotícím kritériem je poměrná doba využití instalovaného výkonu. Zde se bude vycházet z *Tab. 7.15*, kde výstupy z této tabulky jsou připraveny pro vyhodnocení dotace. V tomto případě vlastní spotřeba vyrobené elektrické energie je:

$$\begin{aligned} W_e &= \text{Aktuální roční odběr el. energie ze sítě} \\ &\quad - \text{Předpokládaný roční odběr el. energie ze sítě} \\ &= 1100,71 \text{ MWh} - 889,82 \text{ MWh} = 210,90 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (6.9)$$

Následně lze již vypočítat poměrnou dobu ročního využití instalovaného výkonu fotovoltaického systému:

$$t_{skut} = \frac{W_e}{P_i * 8760} = \frac{210\,900 \text{ kWh}}{240,5 \text{ kWp} * 8760 \text{ h}} = 0,1001 \quad (6.10)$$

Pokud je tato hodnota zaznamenána do *Obr. 7.14*, je vidět, že bodové hodnocení v tomto kritériu se změnilo na hodnotu jednoho a půl bodu. Porovnání bodového hodnocení projektu s bateriovým uložištěm a bez bateriového uložiště lze vidět na *Obr. 7.19*.

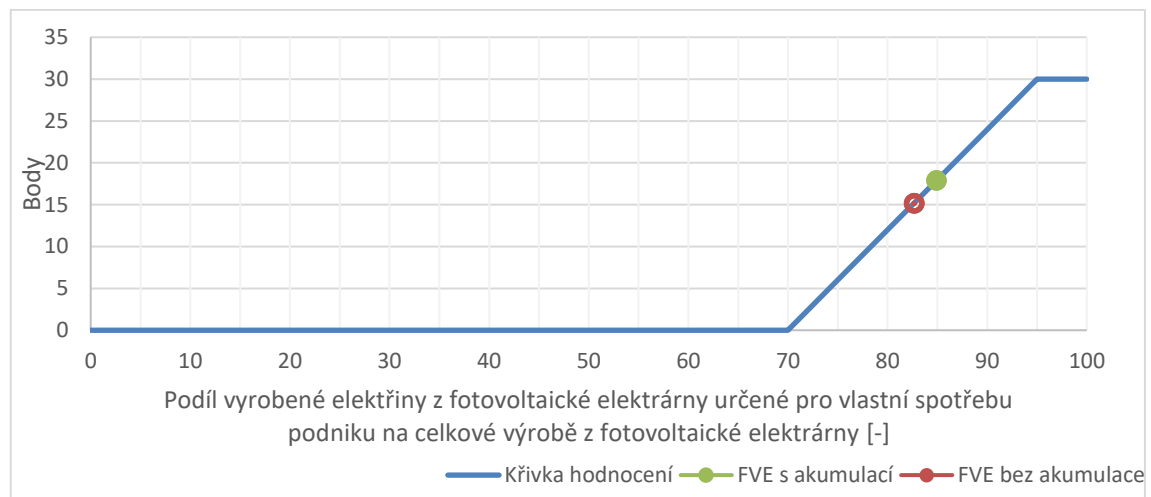


Obr. 7.19: Bodové hodnocení poměrné doby ročního využití instalovaného výkonu.

Ve třetím kritériu, kde se hodnotí podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu, opět se vychází z *Tab. 7.15*. Z této tabulky se odečte celková předpokládaná vyrobená elektrická energie, která činí 248,36 MWh. Následně se vypočte jako v předchozím kritériu vlastní spotřeba vyrobené elektrické energie z fotovoltaického systému, která činí 210,9 MWh. Poměrem těchto dvou hodnot lze již určit podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu.

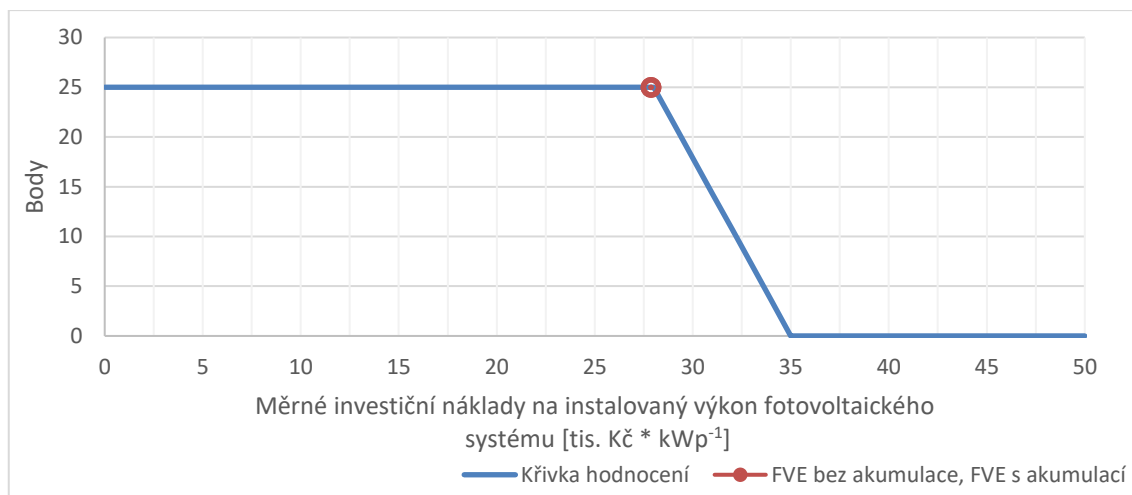
$$t_{\text{poměr}(\text{bezAKU})} = \frac{W_e}{W_{e(\text{celkem})}} * 100 = \frac{210\,900 \text{ kWh}}{248\,360 \text{ kWh}} * 100 = 84,92 \% \quad (6.11)$$

Pokud je tato výsledná hodnota opět zaznamenána do *Obr. 7.15*, lze vidět, že bodové hodnocení se změnilo přibližně o 3 body. Porovnání bodového hodnocení projektu s bateriovým uložištěm a bez bateriového uložiště lze vidět na *Obr. 7.20*.



*Obr. 7.20: Bodové hodnocení podílu vyrobené elektřiny z fotovoltaické elektrárny určené pro vlastní spotřebu podniku.*

Posledním hodnotícím kritériem je nákladová efektivita projektu. Zde se berou v potaz pouze investiční náklady na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny bez systému akumulace. Z toho vyplývá, že nákladová efektivita projektu je stejná jako v předchozím případě a bodové hodnocení je také stejné a činí 25 bodů.



Obr. 7.21: Bodové hodnocení měrných nákladů na instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny.

Souhrn jednotlivých bodových zisků projektu s bateriovým a bez bateriového uložení je zaznamenán v Tab. 7.19. Z této tabulky je vidět, že projekt s bateriovým uložením splnil podmínku zisku nenulového počtu bodů z jednotlivých kritérií a zároveň splnil minimální hranici 60 bodů.

Věcné hodnocení	BEZ AKUMULACE	S AKUMULACÍ
Připravenost žadatele k realizaci projektu.	20	20
Poměrná doba ročního využití instalovaného výkonu.	0	1,5
Podíl vyrobené elektrické energie pro vlastní spotřebu.	15,2	17,9
Nákladová efektivita projektu.	25	25
<b>Celkem bodů</b>	<b>60,2</b>	<b>64,4</b>

Tab. 7.19: Bodové zisky projektu fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací.

Jelikož projekt s bateriovým uložením splnil veškeré podmínky dotace, lze pro něj určit velikost podpory. Zde se vychází z kapitoly 5.1, kde se určují celkové způsobilé náklady a následně velikost dotace.

S AKUMULACÍ	
Instalovaný výkon FVE [kWp]	240,50
Kapacita bateriového systému [kWh]	62
Roční využitý energetický zisk fotovoltaického systému [MWh]	210,90
Investiční náklady na FVE [Kč]	6 701 414,25
Investiční náklady na bateriový systém [Kč]	1 324 592,82
<b>Investiční náklady na systém FVE + baterie [Kč]</b>	<b>8 026 007,07</b>
Náklady na konvenční zdroj (Výroba * 8 862,63 Kč) [Kč]	1 869 128,67
Uznatelné náklady (investice – konvenční zdroj) [Kč]	6 156 878,40
<b>Dotace (60 % uznatelných nákladů pro velký podnik) [Kč]</b>	<b>3 694 127,04</b>
<b>Cena FVE systému s baterií po odečtení dotace [Kč]</b>	<b>4 331 880,03</b>

Tab. 7.20: Výpočet míry dotace poskytované od státu pro fotovoltaický systém s bateriovým uložením.

Příklad výpočtu pro Tab. 7.20:

$$\begin{aligned} \text{Náklady na konvenční zdroj} &= W_e * 8\,862,63 \text{ Kč} * \text{MWh}^{-1} \\ &= 210,9 \text{ MWh} * 8\,862,63 \text{ Kč} * \text{MWh}^{-1} = 1\,869\,128,67 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.12)$$

$$\begin{aligned} \text{Uznané náklady} &= \text{Investiční náklady} - \text{Náklady na konvenční zdroj} \\ &= 8\,026\,007,07 \text{ Kč} - 1\,869\,128,67 \text{ Kč} = 6\,156\,878,4 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Dotace} &= \text{Uznané náklady} * 60 \% = 6\,156\,878,4 \text{ Kč} * 60 \% \\ &= 3\,694\,127,04 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned} \text{Cena fotovoltaického systému} &= \text{Investiční náklady} - \text{Dotace} \\ &= 8\,026\,007,07 \text{ Kč} - 3\,694\,127,04 \text{ Kč} = 4\,331\,880,03 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Protože žadatelem o dotaci je velký podnik, nárok na dotaci má společnost ve výši 60 % z uznatelných nákladů. V tomto případě by se jednalo o podporu ve výši 3 694 127,04 Kč, což je 46,03 % z investičních nákladů. Výsledné investiční náklady na fotovoltaický systém by byly 4 331 880,03 Kč

### 7.6.3 CASH FLOW

Stejně jako v kapitole 7.4.3, kde se pojednává o ekonomickém vyhodnocení fotovoltaického systému bez bateriového uložení, i zde budou použity stejné vstupní ekonomické parametry. Tyto parametry lze vidět v Tab. 7.21.

<b>Životnost fotovoltaického systému</b>	25 roků
<b>Eskalace cen elektrické energie</b>	0 %
<b>Diskont</b>	4 %

Tab. 7.21: Vstupní ekonomické parametry.

Jak již bylo řečeno, fotovoltaický systém s bateriovým uložením má investiční výdaje 8 026 007,07 Kč a bude podpořen dotací od státu ve výši 3 694 127,04 Kč. Tuto dotaci firma dostane po dostavění fotovoltaického systému včetně doložení potřebné dokumentace (tzn. dotace bude započtena do peněžních toků v ekonomickém modelu až v prvním roce provozu). Tento fakt má za následek to, že podpora bude snížena o hodnotu diskontní míry.

Pro stanovení ušetřené částky z výroby fotovoltaického systému a částky, která popisuje vykoupnou elektrickou energii od distributora, je zapotřebí zjistit nákupní a výkupní cenu elektrické energie. Tyto ceny již byly zmíněny v kapitole 7.2 a v kapitole 7.4.3 a činí 2625 Kč \* MWh<sup>-1</sup> a 200 Kč \* MWh<sup>-1</sup>. Následně pomocí Tab. 7.15 lze jednoduše vypočíst peněžní hodnotu úspory elektrické energie v jednotlivých letech.

V dalším kroku je nutné započíst do peněžních toků výměnu starých střídačů za nové. Stejně jako ve variantě bez bateriového uložení i zde budou vyměněny



střídače elektrické energie v osmém roku provozu elektrárny. Cena těchto střídačů je 702 666 Kč. Ve variantě fotovoltaického systému s bateriovým uložištěm navíc bude zapotřebí vyměnit samotné bateriové uložiště s invertorem, který má životnost okolo dvaceti roků. V mém případě bude výměna provedena patnáctý rok provozu fotovoltaického systému s investičními náklady 1 321 893 Kč.

Další nezbytná částka, která musí být každý rok započtena, jsou drobné opravy a údržba fotovoltaického systému. Procentní hodnota této částky byla stanovena stejně jako v předchozím případě na 0,5 % z investičních nákladů.

Celý tento ekonomický model lze vidět v *Tab. 7.23*. V tabulce jsou opět vypočteny peněžní toky jednotlivých roků a následně i diskontovaný cash flow a kumulovaný diskontovaný cash flow. Aby bylo možné celou situaci opět ekonomicky vyhodnotit a porovnat s variantou bez bateriového uložiště budou použita stejná ekonomická kritéria jako v předešlém případě.

Prvním kritériem je stanovení prosté doby návratnosti. Výpočet této veličiny vychází ze vzorce 6. 6 a činí přibližně 10 roků. Druhým ekonomickým kritériem je výpočet reálné doby návratnosti. Výpočet se provádí dle vzorce 6. 7 a vychází přibližně na 17 roků. V tomto případě je reálná doba návratnosti delší než prostá doba návratnosti a to o 7 roků. Je to dáno tím, že toto kritérium uvažuje možnosti investování stejné částky do jiného stejně rizikového projektu. Předposledním kritériem je výpočet prosté současné hodnoty (NPV). Tato veličina se vypočte dle vzorce 6. 8 a její hodnota činí 1 366 678 Kč. Poslední kritérium je výpočet hodnoty vnitřního výnosového procenta (IRR). Tato veličina se vypočte dle vzorce 6.9 a její hodnota činí 2,8 %.

Pokud jsou tyto výsledky z ekonomických kritérií porovnány s ekonomickými kritérii z fotovoltaického systému bez akumulace (*Tab. 7.22*), lze vidět, že i přes vysoké investiční a reinvestiční náklady na bateriový systém je tento systém výhodnější kvůli obdržené podpoře od státu a lze ho doporučit k realizaci.

<b>Ekonomické kritérium</b>	<b>Fotovoltaický systém bez akumulace</b>	<b>Fotovoltaický systém s akumulací</b>
Prostá doba návratnosti (Ts)	15 roků	10 roků
Reálná doba návratnosti (Tds)	>25 roků	17 roků
Čistá současná hodnota (NPV)	-237 110 Kč	1 366 678 Kč
Vnitřní výnosové procento (IRR)	-0,4 %	2,8 %

*Tab. 7.22: Souhrn výsledků z ekonomických kritérií pro fotovoltaický systém bez akumulace a s akumulací.*

Rok provozu fotovoltaického systému [Rok]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investiční výdaje na fotovoltaický systém [Kč]	-8 026 007															
Velikost poskytnuté podpory [Kč]		3 694 127														
Výše úspory z vyrobené elektrické energie fotovoltaickým systémem [Kč]		553 613	551 250	548 888	546 000	543 638	541 013	538 650	536 025	533 663	531 038	528 675	526 050	523 688	521 063	518 438
Tržba z elektrické energie dodané do distribuční soustavy [Kč]		7 470	7 405	7 341	7 276	7 212	7 148	7 084	7 020	6 956	6 893	6 829	6 766	6 703	6 640	6 577
Výdaje na údržbu fotovoltaického systému [Kč]		-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130
Výdaje na nové střídače [Kč]		0	0	0	0	0	0	0	-702 666	0	0	0	0	0	0	0
Výdaje na nový bateriový systém [Kč]		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1 321 893
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cash flow [Kč]	-8 026 007	4 215 079	518 525	516 098	513 146	510 720	508 030	505 604	-199 752	500 489	497 800	495 374	492 686	490 260	487 572	-837 008
Diskontovaný cash flow [Kč]	-8 026 007	4 052 961	479 406	458 810	438 640	419 774	401 504	384 217	-145 956	351 637	336 296	321 786	307 730	294 438	281 561	-464 761
Kumulovaný diskontovaný cash flow [Kč]	-8 026 007	-3 973 046	-3 493 640	-3 034 831	-2 596 191	-2 176 417	-1 774 913	-1 390 696	-1 536 652	-1 185 016	-848 720	-526 934	-219 204	75 234	356 794	-107 967

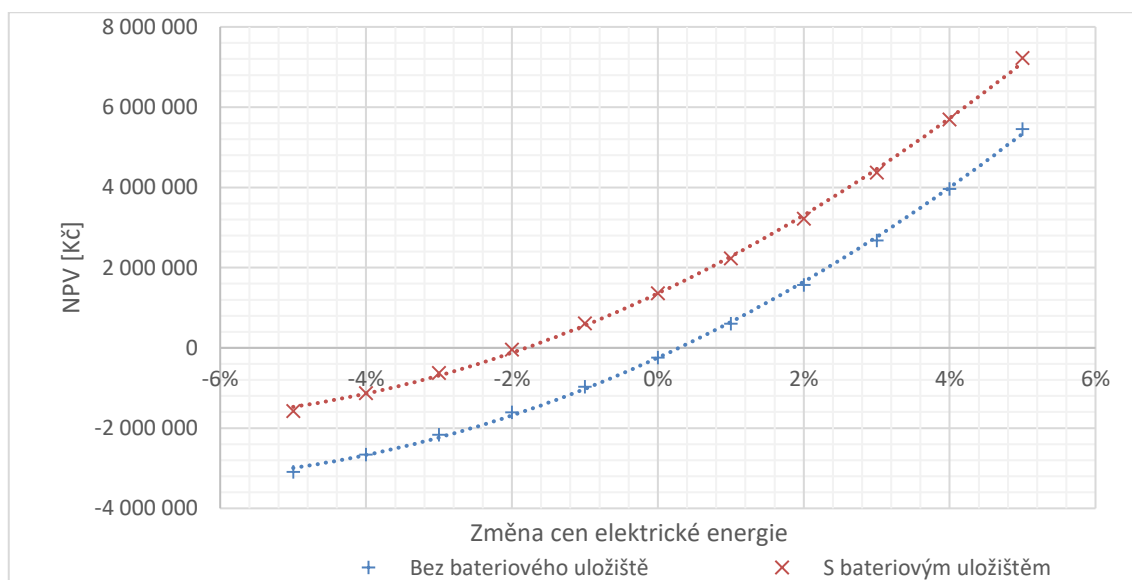
Rok provozu fotovoltaického systému [Rok]	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investiční výdaje na fotovoltaický systém [Kč]										
Velikost poskytnuté podpory [Kč]										
Výše úspory z vyrobené elektrické energie fotovoltaickým systémem [Kč]	516 075	513 450	511 088	508 463	505 838	503 475	500 850	498 225	495 863	493 238
Tržba z elektrické energie dodané do distribuční soustavy [Kč]	6 515	6 452	6 390	6 327	6 265	6 185	6 142	6 080	6 018	5 957
Výdaje na údržbu fotovoltaického systému [Kč]	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130	-40 130
Výdaje na nové střídače [Kč]	-702 666	0	0	0	0	0	0	0	-702 666	0
Výdaje na nový bateriový systém [Kč]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-										
Cash flow [Kč]	-220 207	479 772	477 347	474 660	471 973	469 530	466 862	464 175	-240 916	459 064
Diskontovaný cash flow [Kč]	-117 570	246 302	235 632	225 294	215 402	206 046	196 995	188 328	-93 986	172 203
Kumulovaný diskontovaný cash flow [Kč]	-225 537	20 765	256 397	481 691	697 093	903 139	1 100 134	1 288 462	1 194 475	1 366 678

Tab. 7.23: Peněžní toky fotovoltaického systému s bateriovým systémem

## 7.7 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

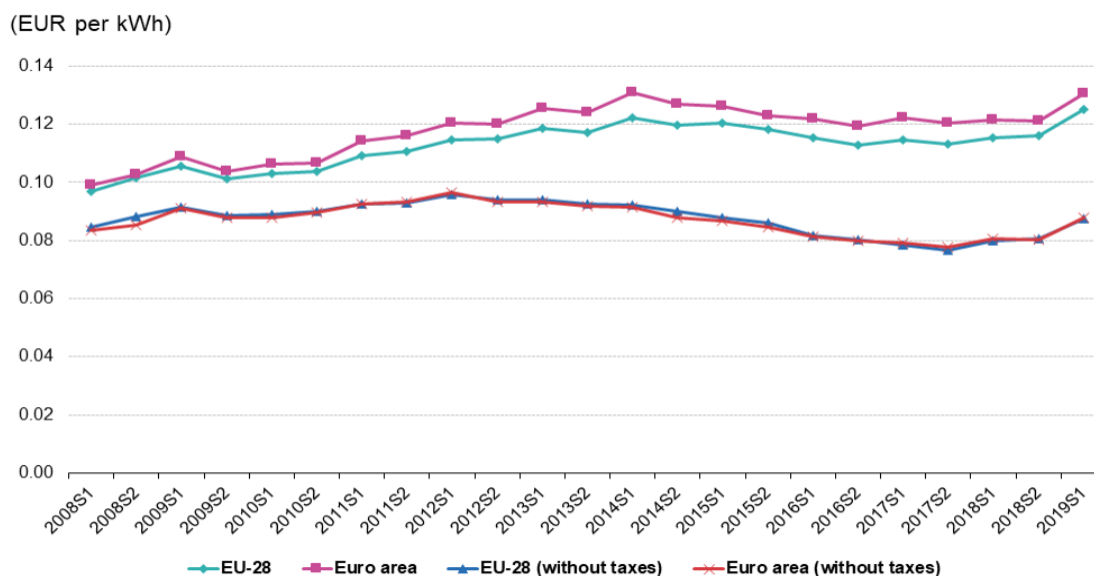
Jelikož veškeré výše zmíněné výsledky nepopisovaly situace, jako jsou meziroční růsty/ poklesy cen elektrické energie nebo změny velikosti diskontní míry, je zapotřebí prověřit citlivost výstupu na změnu vstupu citlivostní analýzou. Tato citlivostní analýza graficky popisuje jednotlivé situace a jejich vliv na čistou současnou hodnotu projektu (NPV).

Pokud se zaměříme na první zmíněnou situaci, která simuluje meziroční růst/ pokles cen elektrické energie za 25 let, lze z Obr. 7.22 vidět, že při meziročním růstu cen elektrické energie o 0,3 % bude NPV u projektu bez bateriového uložení vyšší než 0 a projekt už lze doporučit k realizaci bez získané dotace od státu. Z druhé křivky, která popisuje projekt s bateriovým uložením, lze vyčíst, že pokud cena elektrické energie neklesne o více než 2 %, projekt bude vždy doporučen k realizaci.



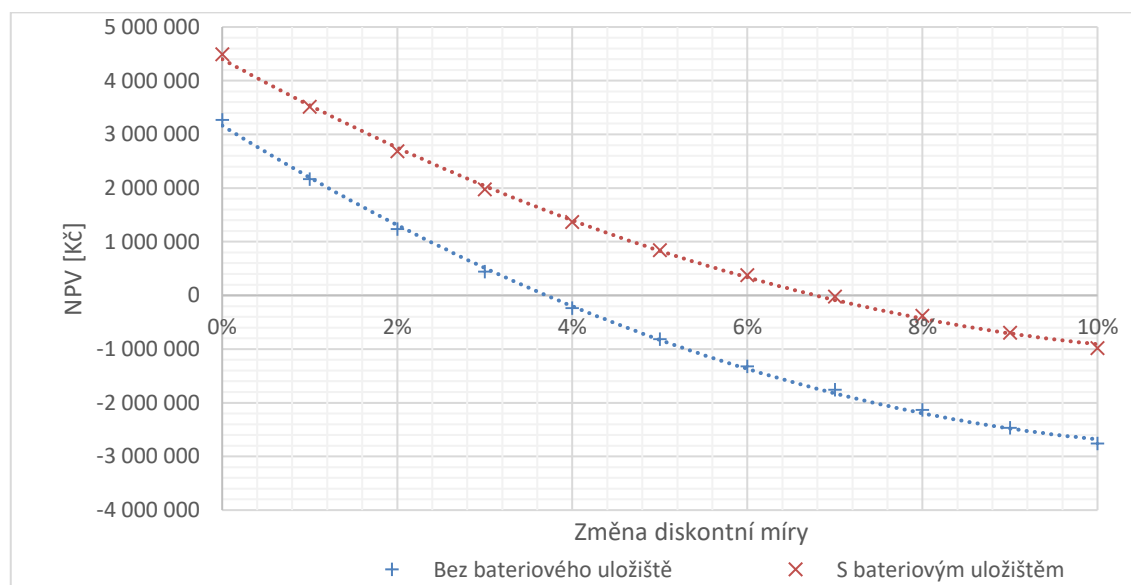
Obr. 7.22: Citlivostní analýza meziročního růstu/ poklesu cen elektrické energie na hodnotu NPV.

Pokud bychom chtěli, co možná nejpřesněji odhadnout průměrný meziroční vývoj cen elektrické energie pro spotřebitele mimo domácnosti, je nejjednodušší vycházet z průměrných cen elektrické energie z minulých let v Evropské unii. Tato data poskytuje Evropská unie na svých oficiálních stránkách od roku 2008. Data s cenami vychází z roční spotřeby elektrické energie v rozmezí 500 MWh až 2000 MWh (v našem případě firma předpokládá roční spotřebu elektrické energie okolo 1100 MWh). Pokud z těchto hodnot budeme vycházet (Obr. 7.23), tak lze vidět, že průměrný meziroční růst cen za 11 let činí okolo 2,2 % a lze tedy předpokládat, že tento trend bude pokračovat i v následujících letech. V tomto případě by tedy byly oba projekty doporučené k realizaci (viz. Obr 7.22).



Obr. 7.23: Vývoj cen elektřiny pro spotřebitele mimo domácnosti, EU-28 a eurozóna, 2008–2019.<sup>70</sup>

Další citlivostní analýza, která je důležitá pro vyhodnocení projektu je závislost čisté současné hodnoty na diskontní míře projektu (Obr. 7.24). Z této závislosti je patrné, že se zvyšující se diskontní mírou, bude klesat hodnota NPV.

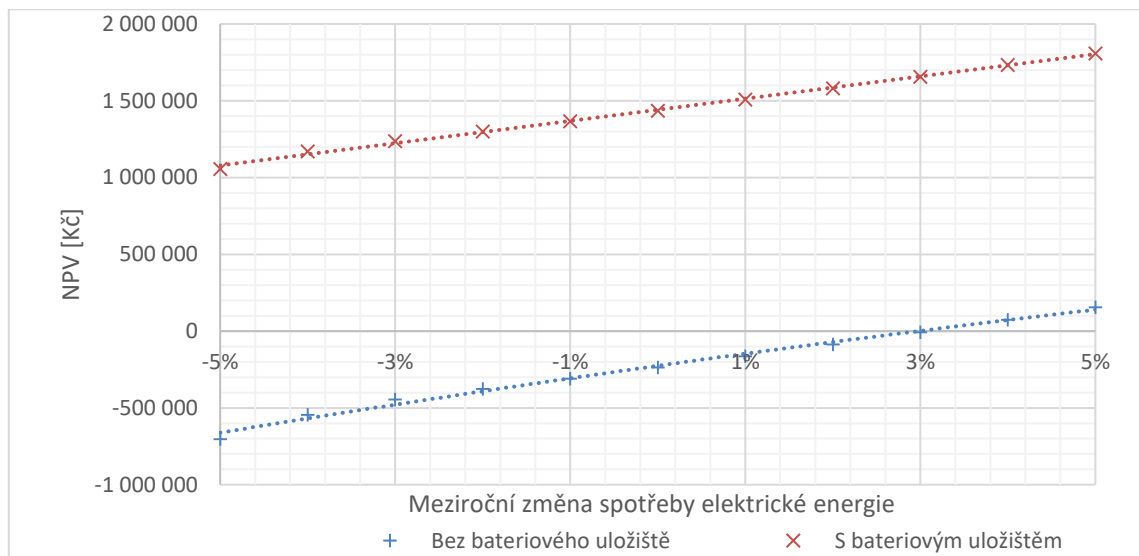


Obr. 7.24: Citlivostní analýza velikosti diskontní míry na hodnotu NPV.

Předposlední citlivostní analýza simuluje závislost čisté současné hodnoty na velikosti meziroční změně odběru elektrické energie ze sítě (Obr. 7.25). Na tomto obrázku je vidět, že projekt bez bateriového uložení by byl doporučen k realizaci, kdyby se každoroční spotřeba elektrické energie firmy navýšila přibližně o 3 %.

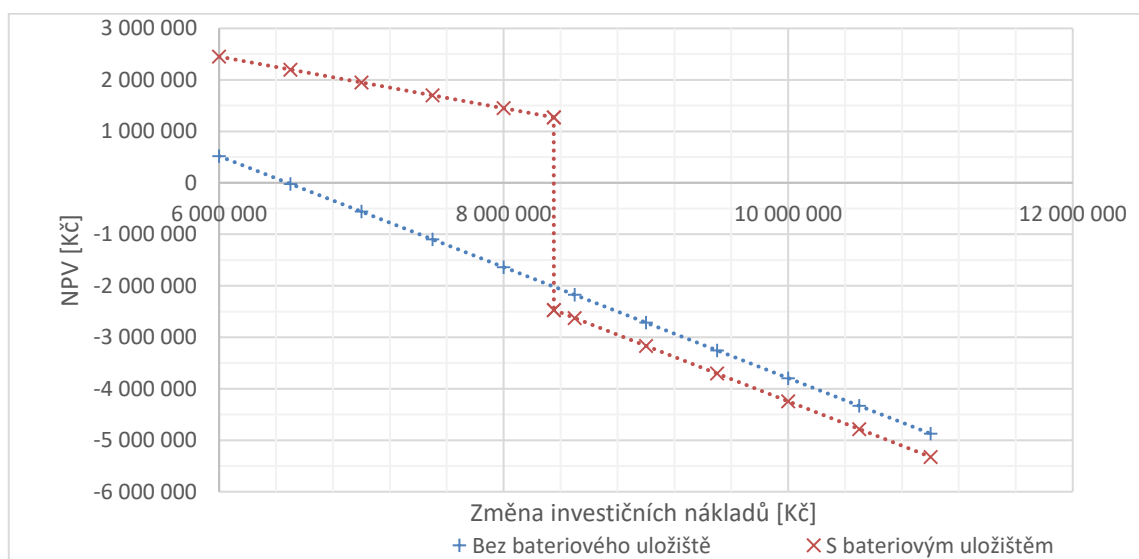
<sup>70</sup> Eurostat. *Electricity price statistics. Statistics Explained*. [cit. 04.08.2020]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/64901.pdf>

Z obrázku si lze také všimnout, že projekt s bateriovým uložištěm má křivku více posunutou směrem nahoru, a to z důvodu poskytnuté podpory od státu.



Obr. 7.25: Citlivostní analýza meziroční změny odběru elektrické energie ze sítě na hodnotu NPV.

Poslední citlivostní analýza, v této diplomové práci, simuluje vliv investičních nákladů fotovoltaického systému na hodnotu NPV. Z první křivky (projekt bez bateriového uložště) si lze všimnout, že projekt by byl realizovatelný, kdyby investiční náklady byly menší než 6 500 000 Kč. U projektu s bateriovým uložštěm si lze všimnout, že při překročení hranice investičních nákladů 8 353 000 Kč, klesne NPV do záporných hodnot. To je způsobeno tím, že projektu stoupnou investiční náklady na 1 kWp tak moc, že bodový zisk v této kategorii klesne a celkové hodnocení projektu nepřekročí hranici 60 bodů, což má za následek nesplnění podmínky pro zisk podpory od státu.



Obr. 7.26: Citlivostní analýza vlivu změny investičních nákladů na hodnotu NPV.

## 8 ZÁVĚR

V dnešní době lze již poměrně jednoduše pomocí různých softwarů navrhnout fotovoltaickou elektrárnu jakékoliv velikosti. Na trhu již existují jak jednodušší, tak i složitější softwary. Mezi jednodušší aplikace lze zařadit bezplatný PVGIS, který dokáže po zadání základních parametrů vypočítat roční, měsíční, denní, nebo také hodinovou energetickou výnosnost systému. Mezi složitější softwary patří například PV\*Sol, který je již zpoplatněn, ale nabízí daleko více funkcí jako je 3D modelování, zapojení měničů atd. Tyto programy však mají stále jednu nedokonalost, protože neobsahují algoritmus pro simulaci a návrh bateriového uložení, které je čím dál více poptávané kvůli zvýšení energetického zisku z fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu. Z tohoto důvodu je v této práci navržen výpočetní program, který dokáže za pomoci obou výše zmíněných programů simulovat přibližný stav bateriového uložení.

Výpočetní program v této diplomové práci je vytvořen pro firmu DEL a.s. sídlící ve Žďáru nad Sázavou, která nyní expanduje a plánuje postavit nové budovy. Na střechy těchto budov se společnost rozhoduje, zdali má realizovat fotovoltaické elektrárny, které by napájely vlastní spotřebu firmy. Tato práce tedy slouží jako pilotní projekt, kde jsou představeny dvě možné varianty fotovoltaického systému, a to bez bateriového uložení a s bateriovým uložением.

První varianta fotovoltaického systému bez bateriového uložení je představena v kapitole 7.3 a 7.4. V kapitole 7.3 je podrobně popsán postup návrhu fotovoltaického systému včetně matematického modelu vytvořeného v programu MS Excel. V kapitole 7.4 je již pouze zaznamenáno ekonomické vyhodnocení projektu. V této kapitole je vypočteno, že tato varianta nedosáhne na možnou podporu od státu za stanovených podmínek, z důvodu nesplnění nulového počtu bodů v jednom z ekonomických kritérií v dotačním programu. Tento fakt má za následek, že výsledná ekonomická kritéria se pohybují v záporných hodnotách a projekt tohoto výkonu nelze doporučit k realizaci.

Druhá varianta fotovoltaického systému s bateriovým uložением tento problém s neobdrženou podporou od státu odstranila. Bateriové uložení zvýšilo energetický zisk z fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu z 205,2 MWh na hodnotu 210,9 MWh, a tím došlo k nárůstu bodového hodnocení v kritériu poměrné doby využití instalovaného výkonu nad hodnotu nula. Projekt tedy již obdrží výše zmíněnou podporu a výsledná ekonomická kritéria se pohybují v kladných hodnotách a projekt už lze doporučit k realizaci.

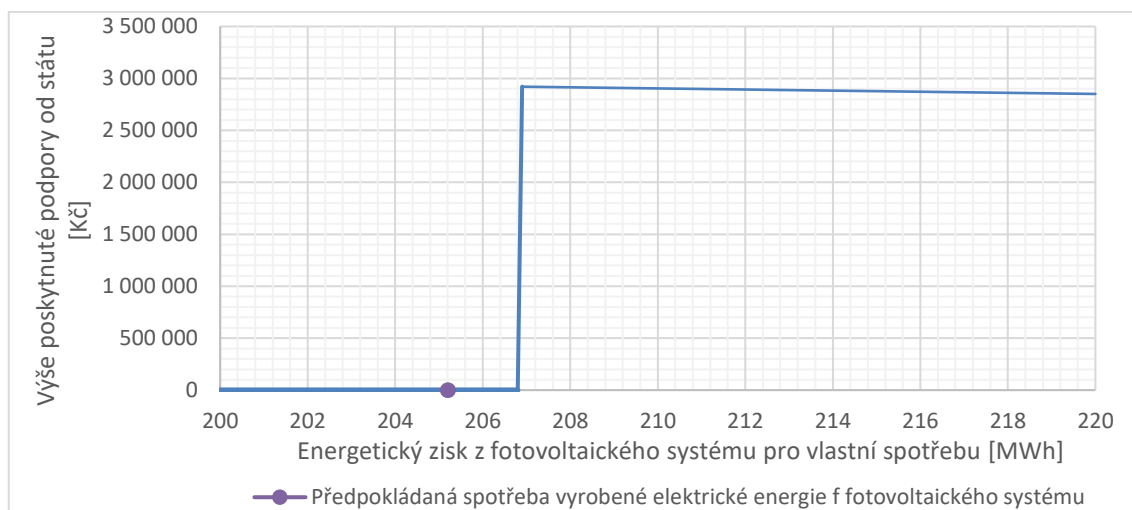
<b>Ekonomické kritérium</b>	<b>Fotovoltaický systém bez akumulace - bez získané podpory od státu</b>	<b>Fotovoltaický systém s akumulací - se získanou podporou od státu</b>
Prostá doba návratnosti (Ts)	15 roků	10 roků
Reálná doba návratnosti (Tds)	>25 roků	17 roků
Čistá současná hodnota (NPV)	-237 110 Kč	1 366 678 Kč
Vnitřní výnosové procento (IRR)	-0,4 %	2,8 %

*Tab 8.1: Souhrn výsledků z ekonomických kritérií pro fotovoltaický systém bez akumulace a s akumulací.*

V závěru této diplomové práce jsou představeny citlivostní analýzy, které počítají s možnými změnami vstupních parametrů, jako je eskalace cen elektrické energie, změna odběru elektrické energie, nebo také vliv velikosti diskontní míry na projekt. V této kapitole lze vidět, že pokud by došlo například k meziročnímu zvýšení cen elektrické energie o 1,5 % lze projekt bez bateriového uložení již doporučit k realizaci, protože hodnota NPV by činila přibližně 600 000 Kč.

## **ZÁVĚREČNÉ SHRUTÍ**

Závěrem této diplomové práce by mělo být doporučení, který z výše uvedených fotovoltaických systémů je výhodnější pro realizaci. Na první pohled se z výpočtů zdá, že je to jednoznačně varianta s bateriovým uložení, která by měla být podpořena dotací od státu. Tato informace je však zavádějící, protože leckdy se teorie liší od skutečnosti. Například software PVGIs exportuje hodinové výkony fotovoltaických systému spíše menší než v reálné situaci, za což výroba těchto zdrojů je delší než ve skutečnosti. Další nepřesnost byla způsobena kvůli poskytnutí odběrů elektrické energie pouze za 4 letní kalendářní měsíce. Z těchto výše zmíněných situací, lze vidět, že se výsledné hodnoty diplomové práce mohou lišit se skutečností v řádech jednotek procent. Pokud se podíváme na *Obr. 7.27*, který znázorňuje vliv změny energetického zisku pro vlastní spotřebu firmy na velikosti poskytnuté podpory od státu pro projekt bez bateriového uložení, lze vidět, že pro obdržení podpory od státu pro fotovoltaický systém bez bateriového uložení chybí teoreticky spotřebovat 1,7 MWh vyrobené elektrické energie ve firmě za jeden rok, což představuje přibližně 0,7 % z celkové vyrobené elektrické energie navrženého fotovoltaického systému. Právě tato hodnota může činit uvažované nepřesnosti.



Obr. 8.1: Vliv změny energetického zisku z fotovoltaického systému pro vlastní spotřebu na velikost poskytnuté podpory od státu.

Kdyby se chtělo docílit teoretického navýšení spotřeby o 1,7 MWh ročně bez akumulace, lze jednoduše zvýšit hodinovou víkendovou spotřebu elektrické energie v časech přebytků elektrické energie přibližně o 2 kWh za hodinu. To znamená, přesunout některou výrobu na víkendové dny. Díky tomuto navýšení spotřeby by došlo k samovolnému navýšení spotřeby elektrické energie z fotovoltaického systému bez akumulace a k zisku podpory od státu. Následkem této skutečnosti by se ekonomická kritéria změnila takto:

	<b>Fotovoltaický systém bez akumulace</b>	<b>Fotovoltaický systém s akumulací</b>
Investiční náklady	6 701 414,2 Kč	8 026 007,07 Kč
Poskytnutá podpora od státu	2 920 641,66 Kč	3 694 127,04 Kč
Cena fotovoltaického systému po odečtení podpory	3 780 772,59 Kč	4 331 880,03 Kč
<b>Prostá doba návratnosti (Ts)</b>	<b>9 roků</b>	<b>10 roků</b>
<b>Reálná doba návratnosti (Tds)</b>	<b>12 roků</b>	<b>17 roků</b>
<b>Čistá současná hodnota (NPV)</b>	<b>2 575 490 Kč</b>	<b>1 366 678 Kč</b>
<b>Vnitřní výnosové procento (IRR)</b>	<b>5,4 %</b>	<b>2,8 %</b>

Tab 8.2: Porovnání fotovoltaického systému bez akumulace a s akumulací při zisku podpory od státu v obou projektech.

Z tohoto důvodu bych společnosti DEL a.s. doporučil realizovat právě fotovoltaický systém bez akumulace, který je investičně levnější a při malém přeorganizování výroby dojde k výrazně vyšším ekonomickým ziskům než u fotovoltaického systému s akumulací. V dnešní době je bateriové uložení příliš drahé a společnosti DEL a.s. se z důvodu využití pouze o víkendových dnech příliš nevyplácí.



Pokud shrnu moje poznatky z této diplomové práce, utvrdil jsem se, že mnohdy je teorie jiná než realita. Hlavní přínosem této diplomové práce je již výše popsáný výpočetní program, který dokáže simulovat stav baterie. V práci je navíc čtenář přehledně seznámen s návrhem dvou různých variant fotovoltaických systémů, které v běžné literatuře nenajde. Zdali porovnám zadání práce a výsledek práce, mohu konstatovat, že jsem veškeré zadané body v zadání splnil a doplnil je navíc i zajímavostmi jako je elektrické schéma, které je přiloženo v příloze. Celá diplomová práce je také velmi pozitivně hodnocena i samotnou firmou, pro kterou je určena.

## Použitá literatura

- [1] *Akumulátory: od principu k praxi*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [2] *Apricus, Solar PV System. Solar Water Heater - Solar Hot Water Solutions* by Apricus [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <http://www.apricus.com/solar-pv-systems-29/#.XcPgi1dKhz0>.
- [3] BENDA, Vítězslav. *Přednášky z předmětu Aplikace solárních předmětů*. (B1M13ASSN). ČVUT FEL v Praze, 2019.
- [4] Brijen capsulants, *Brij Protect Backsheets - Brij Encapsulants (India)*, 2016 [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <http://www.brijencapsulants.com/about-us/products/brij-protect-backsheets/>.
- [5] BUFKA A, Veverková J. *Podíl obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie 2010-2018*.
- [6] BUKÁČKOVÁ, I. *Modifikace katodového materiálu na bázi niklu a manganu pro Li-ion články*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 45 s.
- [7] CZDeposit. *Elektrolýza vody*, 2015 [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/88210744/stock-illustration-fully-labeled-diagram-ofr-the.html>.
- [8] *Elektrina ze slunce - Solární elektrárna na klíč: Typy solárních panelů* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.elekttrinazeslunce.cz/faq-typy-solarnich-panelu>.
- [9] Eurostat. *Electricity price statistics. Statistics Explained*. [cit. 04.08.2020]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/64901.pdf>
- [10] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [11] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: Nakladatelství HEL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [12] HOTOVÝ, J. Kováč, A Bauer, M. Mikolášek. *ResearchGate, Influence of deposition parameters of sputtered ITO/Ag back contacts on the performace OF a-Si:H/  $\mu$ c-Si:H solar cells* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-tandem-pin-pin-a-SiH-c-SiH-solar-cell-produced-by-the-industry-partner-on\\_fig3\\_279853989](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-tandem-pin-pin-a-SiH-c-SiH-solar-cell-produced-by-the-industry-partner-on_fig3_279853989).

- [13] International Journal of Hydrogen Energy: *New ultra thin CIGS structure solar cells using SCAPS simulation program*. 2017, (42). ISSN 0360-3199. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360319917306079?token=369AC4C2AC06398C9C80342CC35C2CF09E95DF426DF81AC8292790E937BB40F438D7F7BBA3A39E56E6306D53EF5FB6D3>.
- [14] KAWULOK, Filip. *Pokročilý power management v energetické jednotce*. Ostrava, 2015. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Robert Frischer.
- [15] KAZDA. Siemens Gamesa, *Thermal energy storage with ETES*, 2019 [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/hybrid-and-storage/thermal-energy-storage-with-etes>.
- [16] KOSTKA, Tomáš. *Fotovoltaická elektrárna*. únor 2015
- [17] MRWATT: *Solar cell Polycrystalline*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.mrwatt.eu/en/shop/solar-cells/polycrystalline-photovoltaic-cells/polycrystalline-solar-cell-6x6-inches-156x156-mm-a-grade-2-bus-bars-3750mw-power.html>.
- [18] National Renewable Energy Laboratory: *Cell-efficiency*, 2018 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- [19] NELL. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1486627/metrics#metrics>.
- [20] O Energetice, *Velký přehled: Využívané perspektivní technologie akumulace energie* [cit. 05.12.2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/velky-prehled-vyuzivane-i-perspektivni-technologie-akumulace-energie>.
- [21] Operační program podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020, *Výzva III. Programu podpory Úspory energie, Fotovoltaické systémy s/bez akumulace pro vlastní spotřebu*.
- [22] Power from sun light, Solar. *Bypass Diode Guide: This Is What You Should Know About Solar Bypass Diodes*, 2016 [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <https://www.powerfromsunlight.com/solar-bypass-diode-guide-this-is-what-you-should-know-about-solar-bypass-diodes/>.
- [23] PV Performance Modeling Collaborative: *CEC Inverter test protocol*, National Technology and Engineering Solutions of Sandia 2018 [cit. 13.11.2019]. Dostupné z: <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/dc-to-ac-conversion/cec-inverter-test-protocol/>.
- [24] SEDLÁK, P. *Možnosti akumulace energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s.

- [25] Semantic Scholar, *High-efficiency multi-junction solar cells* [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/High-efficiency-multi-junction-solar-cells-%3A-status-Yastrebova/2a4dce1dd62aba60fb2fe2a8f3f11241b2f325a0/figure/5>.
- [26] Sinovoltaics, *Monocrystalline Silicon Cells: efficiency and manufacturing*, 2019 [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/monocrystalline-silicon-cells/>.
- [27] Solar energy design: *LCC Solar Powered Vehicle charging station 2019* [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <http://solarenergydesign.com/project/lane-community-college>.
- [28] Solární Experti, *Jak funguje ostrovní solární systém* [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-systém/>.
- [29] Sunwave, *Konstrukce pro fotovoltaické panely*. [cit. 07.11.2019]. Dostupné z: <https://www.sunwave.cz/konstrukce-fotovoltaika0>.
- [30] ŠANCOVÁ, L, Srdečný K, O Energetice, *Software pro návrh solárních systémů*. 2010 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6912-software-pro-navrh-solarnich-systemu>.
- [31] TICHÝ, Jiří. *Lithiové akumulátory: Přehled základních typů a jejich vlastností*. UETE FEKT VUT v Brně, 2015 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>.
- [32] Tzb - info: *Jak funguje olověný akumulátor?* 2017 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>.
- [33] VYTLAČIL, Petr, O Energetice. *Způsobí jeřábová uložení elektrické energie revoluci na trhu s akumulací energie?* 2018 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/zpusobi-jarabova-uloziste-elektricke-energie-revoluci-trhu-akumulaci-energie>.
- [34] ZHANG, T. Van Gerven a J. Degève, ResearchGate, *Photovoltaics: Reviewing the European Feed-in-Tariffs and Changing PV Efficiencies and Costs*. [cit. 22.10.2019]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-operating-principle-of-a-PV-solar-cell-adapted-from-22\\_fig1\\_263354977](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-operating-principle-of-a-PV-solar-cell-adapted-from-22_fig1_263354977).
- [35] ZILVAR, Jiří a Petr BOHUSLÁVEK. *Baterie HE3DA: výroba, zátěž, zkrat a crash test*. 2018 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/16935-baterie-he3da-vyroba-zatez-zkrat-a-crash-test>.

- [36] ZILVAR, Jiří. HE3DA: *Chceme vyrábět akumulátory do automobilů a pro solární pole*. 2016 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/14422-he3da-chceme-vyrabet-akumulatory-do-automobilu-a-pro-solarni-pole>.

# **Seznam příloh**

Příloha 1: Výpočetní program

Příloha 2: Elektrické schéma zapojení fotovoltaického systému