



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Bateriové úložiště pro domácnost s využitím  
solárních panelů**

**Battery storage for household using solar panels**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

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

**Mikuláš Prouza**

---

Praha 2020



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Prouza** Jméno: **Mikuláš** Osobní číslo: **474434**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Bateriové úložiště pro domácnost s využitím solárních panelů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Battery storage for household using solar panels**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Solární panely.
- 2) Bateriové úložiště elektrické energie.
- 3) Využití bateriového úložiště v domácnosti.
- 4) Ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

1. MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
2. MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
3. RAHN, Christopher D. Battery systems engineering. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., Publication, 2013. ISBN 978-1-119-97950-0.
4. GATZEN, Christoph. The economics of power storage: theory and empirical analysis for Central Europe. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2008. ISBN 978-3-8356-3138-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské 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 děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

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



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržení etických principů pro vypracování závěrečných prací a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne .....

.....

Podpis



## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Mgr. Vítu Kleinovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady v průběhu vypracování této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své přítelkyni a své rodině, bez kterých by to nebylo možné.





## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tematikou použití solárních panelů s bateriovým úložištěm v domácnosti. Teoretická část se věnuje obnovitelným zdrojům energie, bateriovým úložištím a využití úložiště se solárními panely. Praktická část je zaměřena na stanovení velikosti FV pole a velikosti baterie v závislosti na denní spotřebě elektrické energie. Ekonomická část je věnována posouzení efektivnosti investice pro malou a střední domácnost. Výsledkem práce je určení míry efektivnosti investice do solárních panelů s akumulací do baterií pro domácnost.

## Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, solární energie, solární panely, bateriové úložiště energie, zhodnocení investice

## Abstract

This bachelor thesis deals with the use of solar panels with battery storage in the household. The theoretical part is dedicated to renewable energy sources, battery storage and the use of storage with solar panels. The practical part is focused on determining the size of the PV field and the size of battery depending on the daily electricity consumption. The economic part is devoted to the assessment of investment efficiency for small and medium sized households. The result of this thesis is to determine the degree of efficiency of investment in solar panels with accumulation in household batteries.

## Key words

Renewable energy sources, solar energy, solar panels, battery energy storage, investment evaluation



# Obsah

Obsah .....	XI
Seznam použitých zkratk.....	XIII
Seznam obrázků .....	XV
Seznam tabulek .....	XVII
Seznam grafů.....	XIX
Úvod .....	1
1. Obnovitelné zdroje energie.....	3
1.1. Solární energie.....	4
1.2. Solární článek .....	6
1.2.1. Monokrystalické články.....	8
1.2.2. Polykrystalické články.....	9
1.2.3. Tenkovrstvé články.....	9
1.3. Solární panel (modul).....	12
1.4. Instalace panelů .....	14
1.4.1. Citlivost solárních panelů .....	14
1.4.2. Orientace panelů.....	14
1.4.3. Typy montáží.....	16
2. Bateriová úložiště elektrické energie .....	19
2.1. Druhy baterií .....	20
2.1.1. Olověné baterie (Lead Acid).....	20
2.1.2. Lithiové baterie .....	21
2.1.3. Nové druhy baterií .....	22
2.2. Princip bateriového úložiště .....	23
2.3. Bateriová úložiště v ČR.....	25

2.4.	Bateriové úložiště pro domácí použití .....	26
3.	Využití úložiště se solárními panely .....	29
3.1.	Využití solární energie .....	29
3.2.	Distribuce elektřiny v domě .....	30
4.	Velikost FV systému a baterie.....	33
4.1.	Elektrická energie FV systému.....	33
4.2.	Výpočet FV pole a kapacity baterie.....	34
4.3.	Spotřeba malé domácnosti .....	37
4.4.	Spotřeba střední domácnosti .....	38
5.	Ekonomické zhodnocení .....	41
5.1.	Finanční metody pro určení efektivnosti.....	41
5.1.1.	Čistá současná hodnota NPV .....	41
5.1.2.	Vnitřní výnosové procento IRR .....	42
5.1.3.	Výnosnost investice ROI .....	42
5.1.4.	Doba návratnosti PP .....	42
5.2.	Nová zelená úsporám .....	43
5.3.	Distribuční sazby elektrické energie.....	44
5.4.	Produkce elektrické energie FV systému .....	44
5.5.	Zhodnocení malé domácnosti .....	45
5.6.	Zhodnocení střední domácnosti.....	49
5.7.	Citlivostní analýza.....	52
	Závěr .....	57
	Seznam použité literatury a pramenů.....	59
	Přílohy .....	65

# Seznam použitých zkratek

BSUE	Bateriový systém uložení energie
B-SŘT	Baterie-systém řízení teploty
BŘS	Bateriový řídicí systém
CIS	Copper-indium-diselenid
ČR	Česká republika
DoD	Depth of discharge; hloubka vybití
DPH	Daň z přidané hodnoty
EU	Evropská unie
EVA	Ethylene-vinyl acetate
FV	Fotovoltaický, -á, -é
FVE	Fotovoltaická elektrárna
IRR	Internal rate of return; vnitřní výnosové procento
kWh	Kilowatthodina
kWp	Kilowatt-peak
Li-ion	Lithium-iontové
Li-pol	Lithium-polymerové
NN	Nízké napětí
NPV	Net present value; čistá současná hodnota
NZÚ	Nová zelená úsporám
MPPT	Maximum power point tracking; sledovač maxima
MWh	Megawatthodina
MW	Megawatt
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PP	Payback period; doba návratnosti
PR	Performance ratio
PVF	Polyvinylfluorid
ROI	Return of investment; výnosnost investice
SIESTORAGE	Siemens energy storage
SN	Střední napětí
SŘE	Systém řízení energie
SŘT	Systém řízení teploty
TCO	Transparent conductive oxide; transp. vodivý oxid
UV	Ultraviolet; ultrafialové
VN	Vysoké napětí
Wp	Watt-peak



# Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení zdrojů energie [1] .....	3
Obrázek 2: Sluneční spektrum nad hranicí atmosféry a na povrchu Země [5] .....	5
Obrázek 3: Solární záření v České republice [8].....	6
Obrázek 4: Přeměna energie v krystalickém křemíkovém článku [6] .....	7
Obrázek 5: Voltampérová charakteristika jednoho křemíkového článku (upraveno) [5] .....	7
Obrázek 6: Tok energie v solárním článku [6].....	8
Obrázek 7: Monokrystalické křemíkové články [6] .....	9
Obrázek 8: Polykrystalické křemíkové články [6] .....	9
Obrázek 9: Princip výroby tenkovrstvých článků [6].....	10
Obrázek 10: Struktura amorfního třívrstvého článku [6].....	10
Obrázek 11: Struktura mikromorfního vícevrstvého článku [6].....	11
Obrázek 12: Postup od křemíkové destičky až k FV elektrárně [6] .....	12
Obrázek 13: Struktura panelu s krystalickými křemíkovými články [9] .....	12
Obrázek 14: Potřebná FV plocha v závislosti na účinnosti a materiálu panelu [6].....	13
Obrázek 15: Charakteristiky krystalických modulů v závislosti na intenzitě ozáření vlevo; na teplotě vpravo [6].....	14
Obrázek 16: Výnos energie panelu v závislosti sklonu a orientace (upraveno) [11].....	15
Obrázek 17: Příklad upevnění panelů na šikmou střechu [13] .....	16
Obrázek 18: Příklad montáže na kolmou střechu [14] .....	17
Obrázek 19: Rozdělení akumulčních soustav [15].....	19
Obrázek 20: Příklad schématického zapojení bateriového úložiště (upraveno) [24].....	23

Obrázek 21: Funkční bloky bateriového systému akumulace energie (upraveno) [24] ....	24
Obrázek 22: Síťové aplikace bateriových systémů (upraveno) [24] .....	25
Obrázek 23: Funkce regulátoru MPPT (upraveno) [32] .....	27
Obrázek 24: Battery box firmy OIG Power s.r.o. [34] .....	28
Obrázek 25: Názorný obrázek výroby a spotřeby elektrické energie [34] .....	29
Obrázek 26: Schéma DC-coupling a AC-coupling [35] .....	30
Obrázek 27: Battery box schéma distribuce elektřiny po domě [34] .....	31



# Seznam tabulek

Tabulka 1: Dopadající sluneční energie ve městě Nechanice úhel 30° – hodnoty z roku 2016 [41].....	33
Tabulka 2: Činitel výkonnosti fotovoltaických systémů (upraveno) [3, 40].....	34
Tabulka 3: Elektrická energie vyrobena FV systémem za rok.....	34
Tabulka 4: Spotřeba elektřiny vybraných domácích spotřebičů (upraveno) [42] .....	35
Tabulka 5: Denní spotřeba elektřiny pro malou domácnost .....	37
Tabulka 6: Velikost FV pole pro malou domácnost.....	37
Tabulka 7: Kapacita baterie pro malou domácnost.....	38
Tabulka 8: Denní spotřeba elektřiny pro střední domácnost .....	38
Tabulka 9: Velikost FV pole pro střední domácnost.....	39
Tabulka 10: Velikost FV pole pro střední domácnost s bojlerem .....	39
Tabulka 11: Kapacita baterie pro střední domácnost.....	39
Tabulka 12: Nová zelená úsporám výše dotace (upraveno) [45] .....	43
Tabulka 13: Ceny elektřiny v jednotlivých distribučních sazbách (upraveno) [47–49] .....	44
Tabulka 14: Položky investice pro malou domácnost .....	46
Tabulka 15: Položky investice pro střední domácnost .....	50
Tabulka 16: Vliv cen lithiových baterií na čistou současnou hodnotu NPV.....	53
Tabulka 17: Ceny elektřiny upravené pro citlivostní analýzu.....	55



# Seznam grafů

Graf 1: Očekávaná měsíční produkce elektrické energie.....	45
Graf 2: Vývoj kumulovaného Cash flow s využitím dotace pro malou domácnost.....	48
Graf 3: Závislost NPV na diskontu $r$ pro malou domácnost (s dotací) .....	48
Graf 4: Očekávaná měsíční produkce elektrické energie.....	49
Graf 5: Vývoj kumulovaného Cash flow s využitím dotace pro střední domácnost.....	51
Graf 6: Závislost NPV na diskontu $r$ pro střední domácnost (s dotací).....	52
Graf 7: Závislost NPV na velikosti investičních výdajů do baterií pro malou domácnost ..	54
Graf 8: Závislost NPV na velikosti investičních výdajů do baterií pro střední domácnost .	54
Graf 9: Závislost čisté současné hodnoty NPV na ceně elektřiny .....	55



# Úvod

Téma obnovitelných zdrojů energie (OZE) se v současné době hojně probírá v celé společnosti, ale ještě víc se řeší v moderní energetické společnosti. Lidstvo hledá možnosti, jak snížit spotřebu neobnovitelných zdrojů, protože ty docházejí a zároveň znečišťují ovzduší. Proto se apeluje na to, aby se podíl OZE při výrobě elektrické energie zvyšoval. Tento fakt dokazuje cíl EU zvýšit podíl OZE na hrubé konečné spotřebě na 32 %, což v České republice odpovídá vnitrostátnímu příspěvku ve výši 20,8 %.

Další velmi probírané téma je efektivní uložení vyrobené elektrické energie a její využití v potřebný moment. Ať už se jedná o korekci špiček v distribuční soustavě nebo použití pro start rozběhových elektráren při blackoutu a následné znovu spuštění sítě, které je také označováno jako start ze tmy. V současnosti celosvětově roste stavba velkých bateriových úložišť. V České republice se zatím tolik nestaví, ale pár jich existuje a je jim věnována jedna podkapitola v této práci. Mezi hlavní výhody velkých bateriových úložišť energie patří šetrnost k životnímu prostředí, neboť po konci jejich životnosti je lze celé

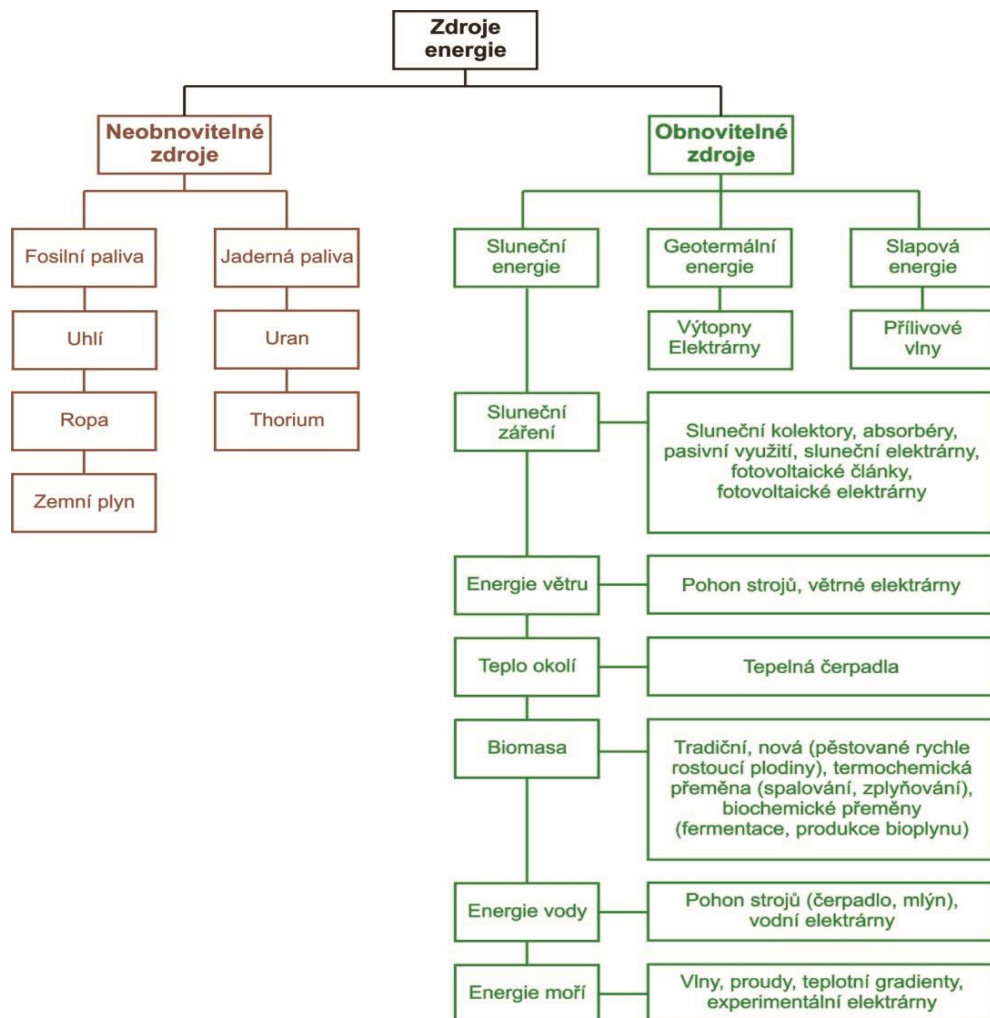
V této práci se budu věnovat uložení elektrické energie z obnovitelných zdrojů (OZE), konkrétně solárních panelů, a její následné využití v domácnosti. Aplikace bateriového úložiště v domácnosti zatím není tak časté, ale předpokládám, že se to změní. Protože rozvoj využití baterií pomůže v budoucnu se zvýšením podílu OZE na spotřebě elektrické energie, a tedy i již zmiňovanému závazku ČR. Dalším důvodem růstu využití baterií v domácnostech by mohla být zvyšující se cena elektřiny. Domácnost s pomoci vhodně navrženého a dimenzovaného bateriového úložiště může efektivně využívat energii ze slunce, zároveň ušetřit peníze za elektřinu a přispět k plnění cíle ČR. Proto česká vláda zavedla tzv. novou zelenou úsporám, která má za úkol finančně podpořit tyto aplikace.

V průběhu práce se věnuji obnovitelným zdrojům, solárním panelů a bateriovému úložišti pro použití v domácnosti se solárním systémem. Část práce se zabývá ekonomickým zhodnocením, které hodnotí finanční náročnost investice a její efektivitu.



# 1. Obnovitelné zdroje energie

V posledních letech se věnuje velká pozornost emisím a vypouštění škodlivin do ovzduší. Normy nařízené EU zasahují tvrdě na elektrárny, které spotřebovávají primární neobnovitelné zdroje energie, a také značně zatěžují atmosféru emisemi. Jelikož se Evropa pokládá za vyspělý kontinent, tak se snaží jít příkladem. Avšak v porovnání se světem je to jako kapka v moři, protože Asie a Amerika produkuje mnohonásobně větší znečištění. Proto se začínají více uplatňovat obnovitelné zdroje. Obrázek 1 popisuje základní dělení zdrojů energie, ze zástupců OZE se nejvíce využívá energie slunce, větru, vody a biomasy, jejíž uplatnění v poslední době roste. Jenže zařazení OZE do výroby elektřiny s sebou přináší různá úskalí, například drahá výrobní elektřina a určitá nepředvídatelnost výroby. Tím je myšleno, že jejich výroba nelze zcela ovládat jako například u tradičních uhelných elektráren. Také regulace elektrické soustavy se stává více složitou a náročnou.



Obrázek 1: Rozdělení zdrojů energie [1]

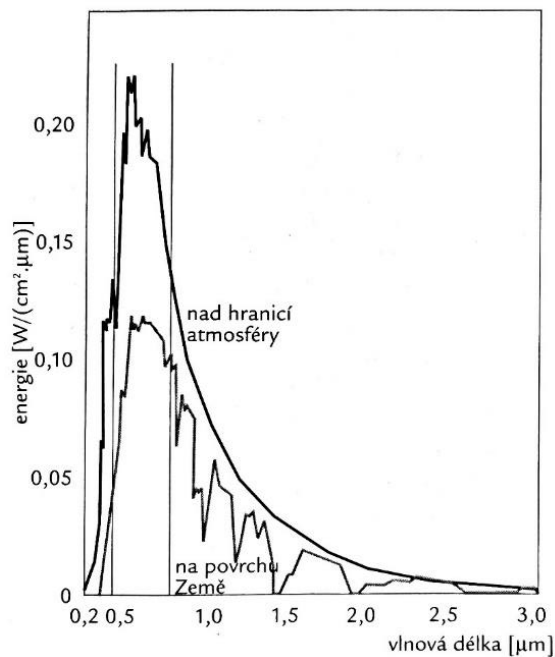
Pro hledání jiných zdrojů elektrické energie existuje několik důvodů. Za hlavní se považuje globální oteplování, vzrůstající emise CO<sub>2</sub>, růst světové populace a docházející fosilní paliva. K tomu všemu spotřeba energie každoročně stoupá a předpokládá se, že bude stoupat dál. Kvůli docházejícím fosilním palivům, která zajišťují celosvětově největší podíl na výrobě elektrické energie, se lidstvo uchyluje k přírodním zdrojům. Proto se zvyšuje podíl obnovitelných zdrojů. Toto označení přináší menší problém, co to jsou obnovitelné zdroje? Aby se předešlo dohadům a spekulacím všechny zdroje, které se považují za obnovitelné, jsou uvedeny v § 2 zákona č. 165/2012 Sb. Ten zní: „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.“[2] Česká republika má velkou část své vyrobené elektrické energie ve fosilních palivech, ale to by se do budoucna mělo změnit.[3, 4]

Nejvíce se z OZE probírá téma solární energie, která nevede k emisím skleníkových plynů, proto se předpokládá její velký význam pro budoucí celosvětovou energetiku. Nejen v ČR zaznamenala solární energie nárůst, důvodem může být podpora v jednotlivých státech a jejich zájem na využívání této energie. Pokud se na věc podíváme z pohledu energetické závislosti domácností, tak by solární energie mohla značnou měrou snížit závislost na dodané elektřině ze sítě. To v dnešní době podporuje stát dotacemi, protože také stojí o energetickou soběstačnost a také dosažení svého cíle v podílu OZE na spotřebě elektrické energie.

## 1.1. Solární energie

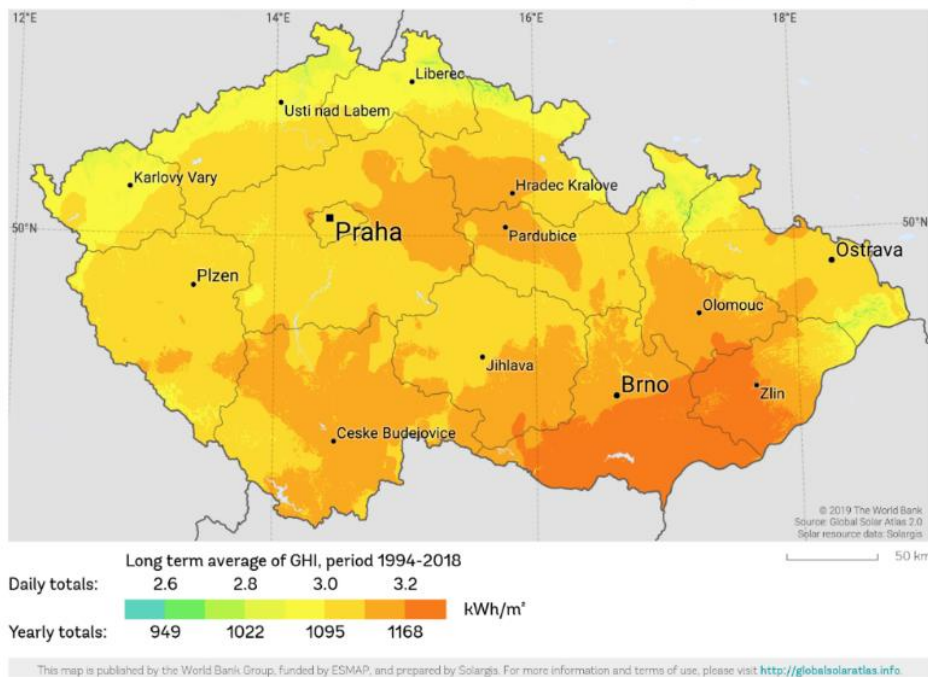
Solární energii nazýváme energii, která ve formě slunečního záření dopadá na Zemi. Energie vychází z termionukleárních reakcí přímo ve Slunci a přenáší se k Zemi formou elektromagnetického záření. Slunce produkuje světlo ve velkém rozsahu vlnových délek (obrázek 2). Pro lidstvo je nejdůležitější záření v rozsahu asi 400 – 650 nm, protože toto spektrum můžeme vidět očima a dopadá v něm největší množství energie. Z energetického hlediska pokládáme ještě za významné blízké infračervené záření z oblasti 650 – 2 000 nm.[5]





Obrázek 2: Sluneční spektrum nad hranicí atmosféry a na povrchu Země [5]

Solární energii považujeme za nejčistší, nejrozšířenější a v blízké budoucnosti nevyčerpatelnou. Problém nastává s její dostupností, protože při cestě na povrch musí projít skrz atmosféru. Takže je všude dostupná, ale energetický výnos se liší v každé zeměpisné lokalitě. Existuje několik faktorů, které mají vliv na množství získané energie. Záleží na zeměpisné šířce, roční době, lokálním klimatu a orientaci plochy, na kterou záření dopadá. V České republice nedisponujeme takovým solárním potenciálem jako například Španělsko nebo některé africké státy. Přesto lze v našich podmínkách získat přes 1 000 kWh za rok na metr čtverečný plochy, což popisuje obrázek 3. Přeměna světla na elektrickou energii probíhá pomocí solárního článku, který využívá fotovoltaického jevu. Tento jev probíhá tiše, bez emisí a spotřeby materiálu. To se ovšem netýká výroby těchto článků, která probíhá s velkou spotřebou materiálu, s použitím chemikálií a neobejde se bez emisí. Tento fakt pořád trochu brzdí velký rozvoj fotovoltaiky.[6, 7]

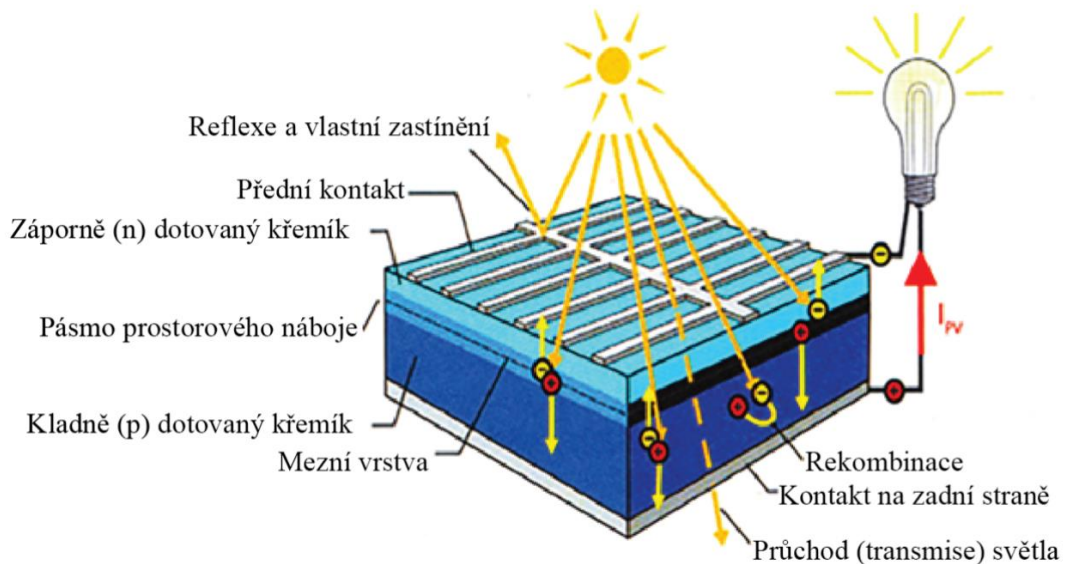


Obrázek 3: Solární záření v České republice [8]

## 1.2. Solární článek

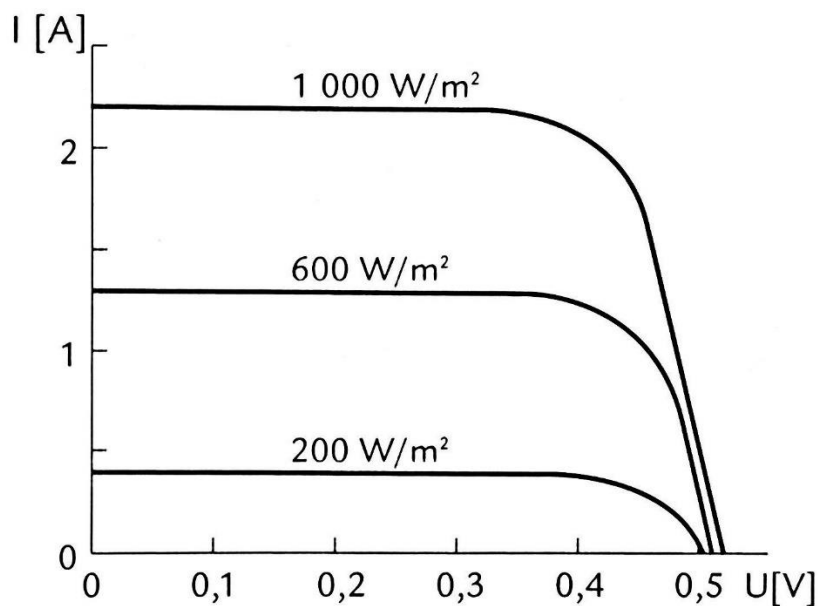
Články se skládají z polovodičů, které při dodání energie mohou vést elektrický proud. Ve většině případů se používá křemík, který je dotován atomy jiného prvku za účelem změny jeho vodivosti. V článku dochází ke střetu dvou různě dotovaných oblastí. Mezi kladně dotovanou (typ P) a záporně dotovanou (typ N) částí vzniká vnitřní elektrické pole, které je vytvořeno difúzí nadbytečných elektronů v prostoru P-N přechodu. V polovodiči typu N zůstávají kladné prostorové náboje a v typu P záporné prostorové náboje. Tím je vytvořeno elektrické pole, které má opačný směr pohybu nosičů náboje.[6]

U typických článků se provádí dotování záporné části fosforem a kladné části bórem. K odebírání proudu musí být článek opatřen elektrodami, které se konstruují v podobě mřížky na přední straně, aby bylo propouštěno největší množství světla, a na zadní straně po celé ploše článku. Při dopadu světla dojde k absorpci fotonu, jejichž působení způsobí uvolňování elektronů z atomové mřížky. Následně uvolněné elektrony na svém místě v mřížce zanechají kladný náboj, tzv. díru. V důsledku vnitřního elektrického pole článku dochází k přitahování elektronů a děr k opačným směrům. To způsobuje vznik opačné polarity na zadní a přední straně článku, mezi kterými je vytvořen rozdíl potenciálů, který můžeme změřit jako elektrické napětí. Při uzavření obvodu teče elektrický proud (obr. 4).[6]



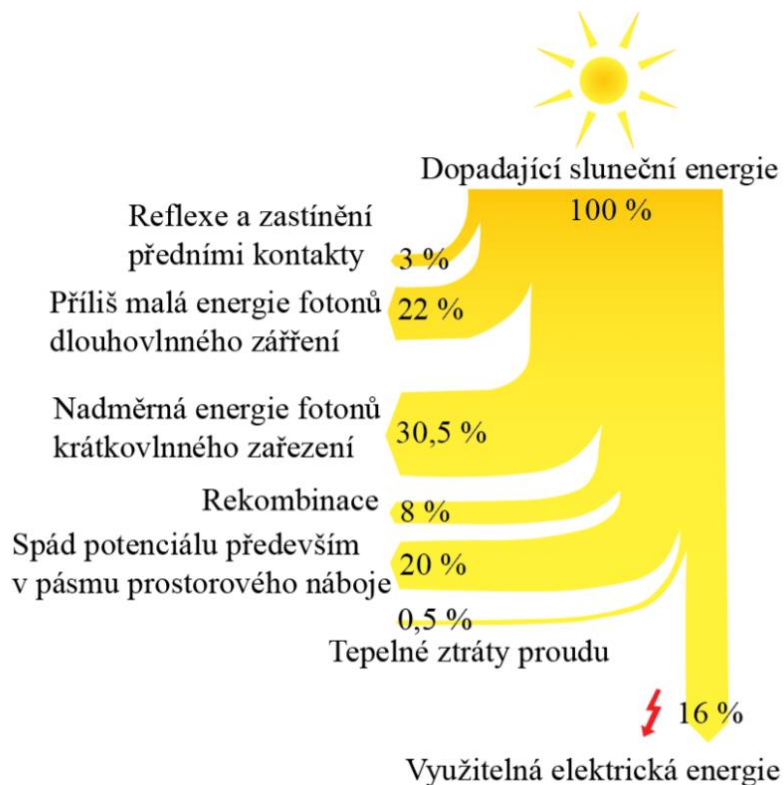
Obrázek 4: Přeměna energie v krystalickém křemíkovém článku [6]

Napětí naprázdno typického křemíkového článku se pohybuje v rozmezí 5 – 6 V stejnosměrných, přičemž výstupní proud se liší v závislosti na intenzitě ozáření, což zobrazuje voltampérová charakteristika článku na obrázku 5.



Obrázek 5: Voltampérová charakteristika jednoho křemíkového článku (upraveno) [5]

Obrázek 6 naznačuje druhy ztrát, které existují v solárním článku. Z nich tvoří podstatnou část krátkovlnného a dlouhovlnného záření, které projde článkem (transmise). Dále se energie ztrácí při rekombinaci a tepelných ztrátách proudu.

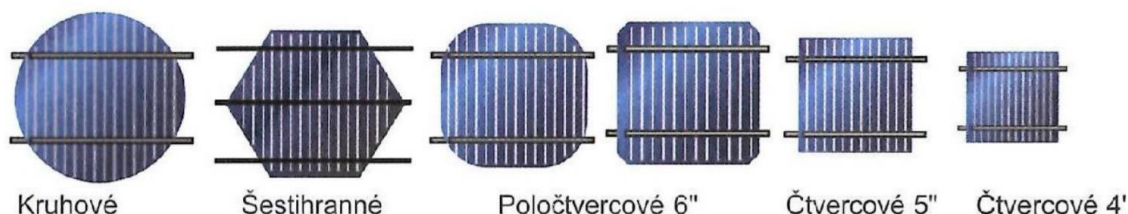


Obrázek 6: Tok energie v solárním článku [6]

### 1.2.1. Monokrystalické články

Z názvu je patrné, že tyto články se skládají z jediného krystalu křemíku. Nejčastěji se setkáme s čtvercovými tvary nebo čtvercovými se zaoblenými rohy. Standardně se používají rozměry 4, 5 a 6 palců (10, 12,5 a 15 centimetrů). Zaoblení rohů se provádí z důvodu maximálního využití plochy, protože destičky se vyřezávají z kulatých tyčí. Spotřeba materiálu na destičky s oblými rohy je značně menší než u klasických čtvercových. Články mají jednotné tmavomodré až černé zbarvení, protože je tvoří jeden krystal. Dosahují účinnosti přes 21 %, ale to bylo naměřeno v laboratoři, obvyklá průměrná účinnost se pohybuje okolo 17 %.

Při jejich výrobě se nejčastěji používá tzv. Czochralskiho metoda. Tento proces spočívá v pomalém tažení zárodku, který je ponořen do vysoce čisté křemíkové taveniny. Tyč dosahuje délky několika metrů a průměru až 30 cm. Po skončení procesu se tyč seřízne na požadovaný čtvercový tvar a poté se z ní řežou destičky o tloušťce 0,3 mm. V celém průběhu řezání dochází k velkému odpadu křemíku, který se odvíjí od konečného tvaru. Destičky, které jsou už dotovány příměsí typu P, se opatří pomocí difuze tenkou vrstvou fosforu, tím vznikne polovodič typu N. Pro kompletaci článku se na destičky umístí zadní kontakt, kontaktní palec a antireflexní vrstva, která zajišťuje minimalizaci odrazu světla.

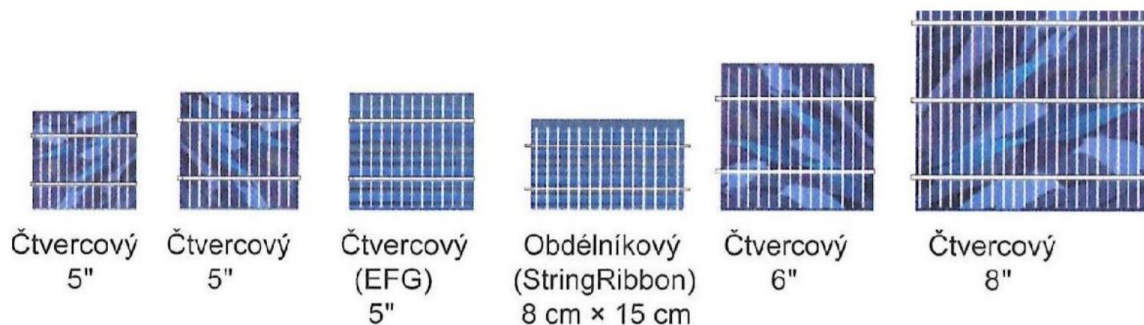


Obrázek 7: Monokrystalické křemíkové články [6]

### 1.2.2. Polykrystalické články

Na první pohled lze polykrystalické články rozeznat od monokrystalických. Polykrystalické mají modře třpytící strukturu. Vyrábí se ve čtvercovém nebo obdélníkovém tvaru s délkou hrany 4, 5, 6 nebo až 8 palců. Jejich účinnost se pohybuje v rozmezí 14 – 16 %.

Výhodou těchto článků je jednodušší a levnější výroba než u monokrystalických. Používá se metoda blokového lití, při které se křemík ve vakuu zahřeje na 1 500 °C a následně se ochlazuje v grafitovém kelímku až k bodu tání. Tím vzniknou čtvercové bloky o délce strany 40 cm a výšce 30 cm, které se nejprve nařežou na tyče a následně na samotné destičky. Další kroky výroby jsou shodné jako u monokrystalických.



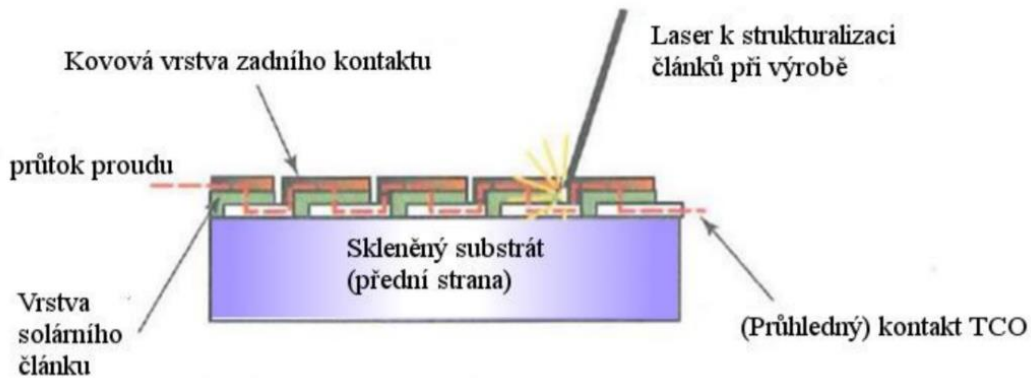
Obrázek 8: Polykrystalické křemíkové články [6]

### 1.2.3. Tenkovrstvé články

Tento typ poskytuje při aplikaci značné výhody, mezi které patří flexibilita, menší citlivost na teplotu a zastínění, geometrická volnost, lepší využití spektrální nabídky Slunce, možná průhlednost materiálu, možnost integrace a použití umělého světla. Největší nevýhodou je jejich nízká účinnost, která dosahuje poloviny hodnoty polykrystalických článků. Výroba se provádí nanášením tenké vrstvy několika mikrometrů na sklo nebo jiné levnější nosné materiály. Oproti krystalickým metodám výrobu potřebují menší teplotu



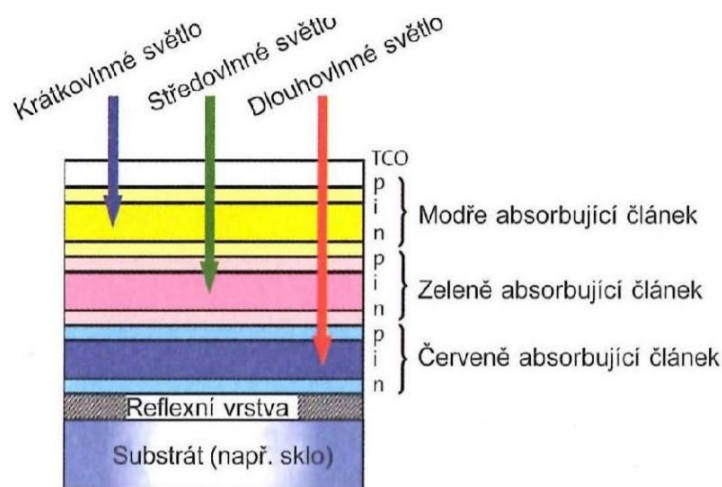
přibližně asi 200 – 500 °C. Také propojení článků se realizuje jinak již v procesu výroby. Přední kontakt tvoří vysoce vodivá pasta a průhledný oxid kovu tzv. TCO, například oxid zinečnatý, oxid cínčitý nebo oxid indium-cínčitý. Jeden článek představuje dlouhý a 1 cm široký pásek. Pro ochranu se opatří skleněnou tabulí a celý se zapouzdří kompozitem. Princip výroby je znázorněn na obrázku 9.[6]



Obrázek 9: Princip výroby tenkovrstvých článků [6]

### 1) Amorfni křemík

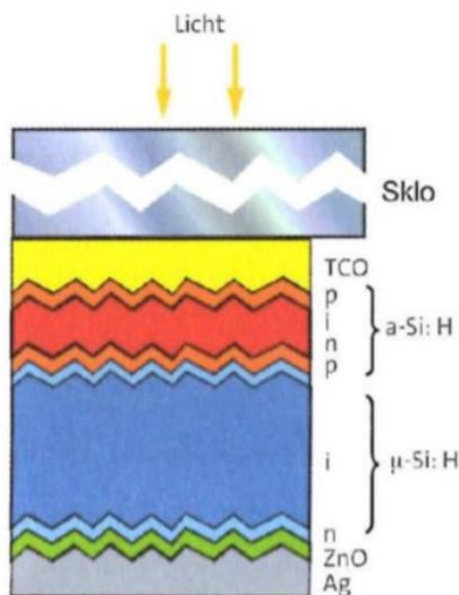
Amorfni křemík je klasickým materiálem pro výrobu tenkovrstvých článků. Tento křemík netvoří pravidelnou krystalickou mřížku, ale neuspořádanou síť. Výroba probíhá při teplotě 200 °C odlučováním z plynného silanu. Protože křemík má krátkou difuzní vzdálenost, tak se do stavby přidávají intrinsické (nedotované) vrstvy mezi P a N vrstvy. Za hlavní nevýhodu se pokládá nízká účinnost, která během v prvních 6 až 12 měsících ještě klesá, takže obvyklá účinnost se pohybuje v rozmezí 5 – 7 %. Obrázek 10 znázorňuje jejich strukturu.[6]



Obrázek 10: Struktura amorfniho třívrstvého článku [6]

## 2) Mikromorfnní solární články

Jedná se o kombinaci mikrokrystalického a amorfnního křemíku. Výroba probíhá podobně jako u amorfnních článků. Při teplotě 200 °C se na sklo nanese vrstva amorfnního křemíku o tloušťce přibližně 0,3 μm. Při změně odlučovacích parametrů plazmy dochází ke vzniku 0,25 μm tlusté krystalické křemíkové vrstvy μ-Si. Články dosahují dvojnásobné účinnosti než amorfnní a dosahují lepšího využití slunečního spektra.



Obrázek 11: Struktura mikromorfnního vícevrstvého článku [6]

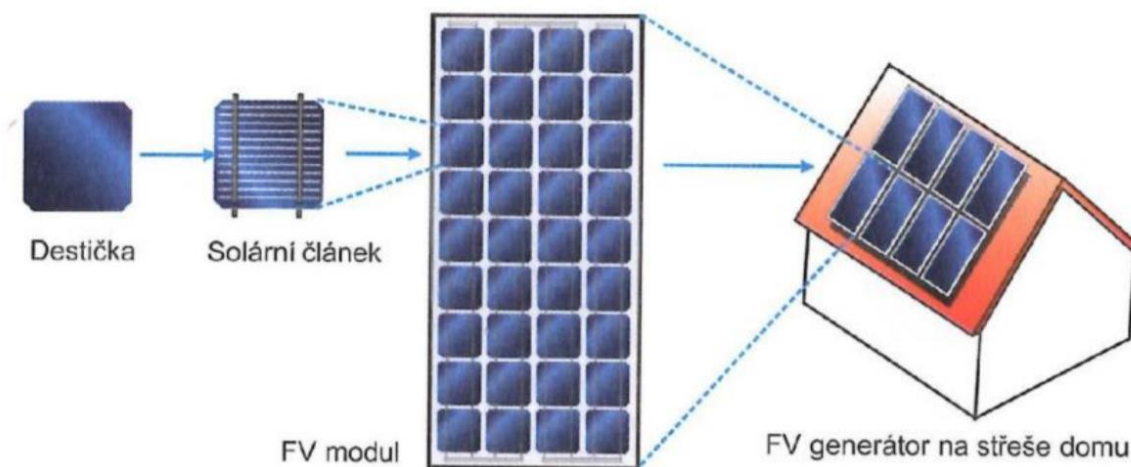
## 3) Články CIS (Copper-Indium-diSelenid)

Při výrobním procesu se ve vakuu při teplotě 500 °C nanáší tenká kontaktní vrstva, na kterou se nanese absorpční vrstva CIS s vodivostí typu P. Následuje vrstva sulfidu kadmia s vodivostí typu N, která snižuje ztráty způsobené chybami v krystalické mřížce. Oproti amorfnním článkům nepodléhají procesu stárnutí, které vyvolává světlo, ale objevují se problémy s jejich stabilitou v horkých a vlhkých prostředích. Proto potřebují kvalitní zapouzdření. Dosahují účinnosti přes 10 %.[6]

## 4) Články na bázi teluridu kademnatého

Jedná se o články s vyšší účinností než klasické amorfnní články s hodnotou přes 10 %. Výroba probíhá vakuovou metodou při 700 °C. K jejich vyššímu využití přispívá nejen vyšší účinnost, ale také levnější a jednodušší výroba. Problém nastává při použití kadmia, které je toxické.[6]

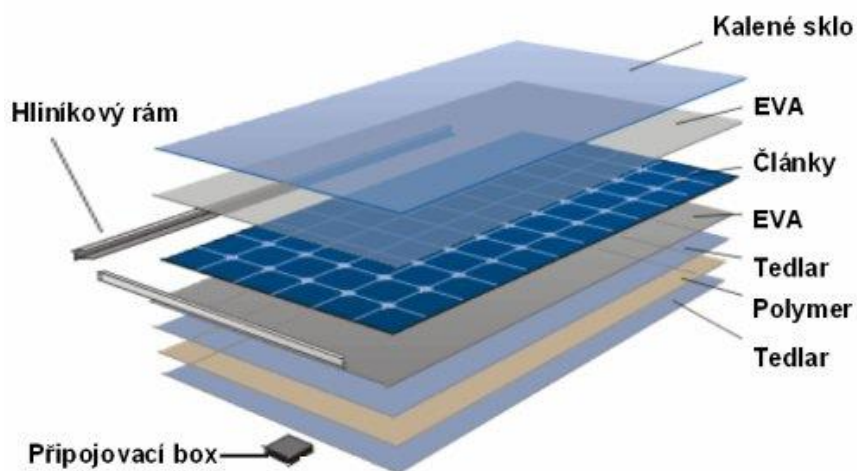
Z výše popsaných článků, které se vzájemně propojí, se vytvoří solární modul nebo také solární panel. Tyto moduly (panely) se pokládají za finální výrobek, který lze používat.



Obrázek 12: Postup od křemíkové destičky až k FV elektrárně [6]

### 1.3. Solární panel (modul)

Solárním panelem nazýváme soubor solárních článků a ochranné konstrukce. Panel obsahuje obvykle 36, 48, 54, 60 nebo 72 článků, které se mohou propojit přes sběrnice třemi různými způsoby. Sériové propojení zvyšuje výstupní napětí a zachovává výstupní proud panelu, paralelní propojení zvyšuje maximální odebíraný proud a zachovává výstupní napětí panelu a sériově-paralelní propojení kombinuje obě předchozí možnosti pro získání potřebného výstupního napětí a proudu. Ovšem to nestačí, pro používání je nutné články zapouzdřit a ochránit před nepříznivými vlivy prostředí. Obrázek 13 ukazuje struktura solárního panelu.[6]










Obrázek 13: Struktura panelu s krystalickými křemíkovými články [9]



Na přední straně se nachází tvrzené solární sklo, které chrání články před prachem, kroupami, dešti a ostatním mechanickým poškozením. Toto sklo má vysokou propustnost a nízkou odrazivost světla. Články se oboustranně opatří vrstvou EVA (ethylene-vinyl acetate), což je speciální vysoce propustný materiál, který chrání křehké křemíkové články před poškozením od skla. Zadní strana panelu se skládá z několika vrstev, které jsou spojeny polyesterovým pojídlem. Nižší vrstvu tvoří polyester, který má izolační schopnost. Nejspodnější vrstva se skládá z PVF (polyvinylfluorid), který se nazývá Tedlar. Hliníkový rám tvoří kostru celého panelu, který nepodléhá korozi. V rámu jsou umístěny otvory určené pro uchycení na místo. Propojovací box, který propojuje panely mezi sebou, se nachází na zadní straně. Vyrábí se z umělé hmoty odolné proti UV záření.[6]

Nominální výkon panelů se pohybuje nejčastěji v rozmezí 100 Wp až 350 Wp. Jednotka Wp (watt-peak) označuje špičkovou hodnotu výkonu dodaného panelem při ideálních podmínkách. Hodnota se stanoví ve zkušebnách při standardizovaném ozáření  $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , teplotě P-N přechodu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a spektru při  $\text{AM} = 1,5$ . Účinnost panelů je vždy o něco nižší než samotného článku, protože přední sklo není absolutně propustné. Pro stejný požadovaný výkon při použití různých typů článků se potřebná plocha liší.

Materiál solárních článků	Účinnost modulu	Potřebná plocha pro 1 kW špičkového výkonu
Vysokovýkonové křemíkové solární články (kontaktované na zadní straně, HIT)	16–18%	5–6 m <sup>2</sup> 
Monokrystalický křemík	11–16%	6–9 m <sup>2</sup> 
Polykrystalický křemík	10–15%	7–10 m <sup>2</sup> 
Tenká vrstva dvojselenidu mědi-india (CIS)	6–11%	9–17 m <sup>2</sup> 
Tellurid kadmia (CdTe)	6–11%	9–17 m <sup>2</sup> 
Mikrokrystalický křemík	7–12%	8,5–15 m <sup>2</sup> 
Amorfní křemík	4–7%	15–26 m <sup>2</sup> 

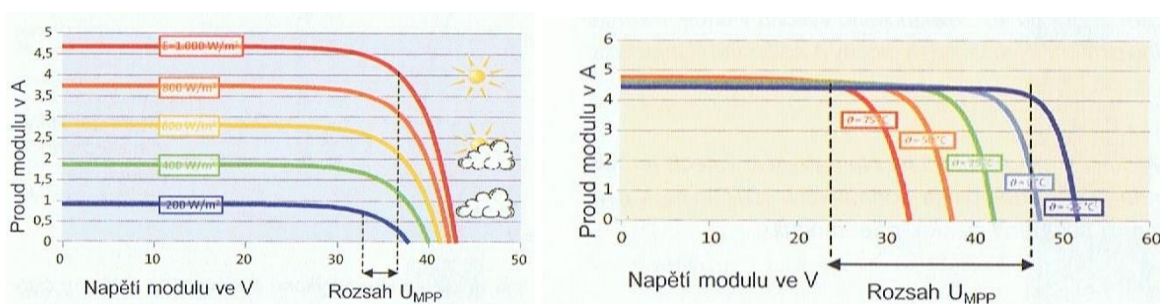
Obrázek 14: Potřebná FV plocha v závislosti na účinnosti a materiálu panelu [6]

## 1.4. Instalace panelů

Upevnění solárních panelů na střechu nebo jiný objekt nepovažujeme za velký problém. Ovšem před instalací se musí myslet na to, že výkon panelů ovlivňují vnější faktory. Výnosnost energie z panelů závisí na jejich orientaci, počasí, podnebí, okolní teplotě a dalších parametrech. Se všemi těmito problémy se musí počítat.

### 1.4.1. Citlivost solárních panelů

Parametry solárních panelů se uvádějí v produktových listech. Tyto hodnoty se měří většinou v laboratořích v ideálních podmínkách. Ve skutečnosti se ovšem těchto laboratorních podmínek těžko dosahuje, protože během dne se okolí neustále mění. Uvedu příklad na proudu a napětí krystalických solárních modulů. Obě tyto veličiny se při provozu mění. Z grafu závislosti proudu modulu na intenzitě ozáření je možné vyčíst, že intenzita ozáření se přímo projevuje na velikosti proudu. Tedy pokud se během dne zvýší oblačnost, sníží se intenzita záření, resp. proud modulu. Vedlejší graf zobrazuje závislost napětí modulu na jeho teplotě. Z toho můžeme vyvodit, že napětí se snižuje s rostoucí teplotou modulu naopak s klesající teplotou klesá. V důsledku toho se během roku mění jejich účinnost. V zimě může napětí stoupnout až na 20 % jmenovité hodnoty, naopak při letním slunečném dni může napětí výrazně klesnout. Zpravidla na každý zvýšený stupeň teploty krystalické moduly ztrácí 0,4 – 0,5 % jmenovitého výkonu.[6]



Obrázek 15: Charakteristiky krystalických modulů v závislosti na intenzitě ozáření vlevo; na teplotě vpravo [6]

### 1.4.2. Orientace panelů

Výroba elektřiny ze solárních panelů záleží i na jejich orientaci a sklonu. Jelikož se Slunce celý den pohybuje po obloze, tak se také mění účinnost fotovoltaických panelů. To je dáno jejich pevnou instalací a změnou úhlu dopadajících paprsků. Jak je vidět na obrázku 16, výnos energie se nemění při použité orientaci 10° na východ nebo na západ, přičemž azimut 0° označuje směr jih. V případě sklonu se za optimální považuje sklon přibližně 25° – 45°. V České republice za ideální úhel sklonu pokládáme 35°. Při instalaci

na rodinný dům se zachová úhel střechy domu nebo se v malém rozmezí dokáže upravit pomocí nosné konstrukce.[10]



Obrázek 16: Výnos energie panelu v závislosti sklonu a orientace (upraveno) [11]

Monokrystalické panely jsou dobré pro použití na šikmé střechy s orientací na jih  $\pm 5^\circ - 10^\circ$ , takže pro malou dostupnou plochu a dobrou orientaci. Výkon takového panelu se pohybuje v rozmezí 170 – 400 W. Panely nabízí životnost 30 let s garancí 90 % výkonu po 10 letech a s garancí 80 % po 25 letech.[12]

Polykrystalické panely se hodí pro aplikace na střeše, ale také na pozemní realizaci. Potřebují větší plochu než monokrystalické, ale hlavní výhoda spočívá v tom, že mohou být orientovány nejen na jih, ale i na JV, V a Z, protože díky své struktuře zachytí neideálně dopadající světlo. Při dobrém nastavení může jeden panel dosáhnout výkonu až 290 W. Disponují životností 30 let s garancí 90 % výkonu po 12 let a s garancí 80 % výkonu po 25 let.[12]

Tenkvrstvé a amorfní panely jsou ideální pro aplikace, kdy nejste omezeni plochou pozemku, protože potřebují přibližně 2,5krát větší plochu než krystalické panely. Také ovšem nabízí nejvyšší výkon a je vhodný pro použití při špatné orientaci a v oblastech s větší oblačností. Životnost je 20 let s garancí 90 % výkonu po dobu 10 let a s garancí 80 % po dobu 15 let.[12]

### 1.4.3. Typy montáží

Druh montáže se vybere podle typu střechy. Pro správné fungování je důležité ukotvení nosné konstrukce, aby nedošlo k poškození panelů. Při montáži na šikmou střechu se využívá její sklon. Při montáži na kolmou střechu se panely umístí do ideálního úhlu pro danou oblast pomocí hliníkové konstrukce. Nezáleží ovšem jen na samotné instalaci panelů, ale také na připojení kabelů a celkovým propojením s domácností. V dnešní době není problém upevnění na každý druh střechy, ať se jedná o jakýkoli typ krytin.

V geografických podmínkách, ve kterých se ČR nachází, se pohybuje ideální orientace na jižní stranu a odklonem  $10^\circ - 15^\circ$  na západ nebo východ. Sklon je ideální v rozmezí  $30^\circ - 40^\circ$ . S těmito parametry využívají panely největší potenciál dostupné energie. Toto potvrzuje obrázek 16.[13] K upevnění na šikmé střechy se použijí háky, které se zakotví na krovy střechy. Složitost této operace záleží na typu materiálu krovů. Při použití standardní krytiny není nutné sundávat veškeré střešní tašky, stačí pouze několik z nich. Na tyto háky se umístí hliníková nosná konstrukce (rošt), na kterou se následně upevňují jednotlivé panely. Hliníkové profily se používají, protože nekorodují a jsou lehké, aby zbytečně nezvyšovaly zátěž na střechu. Panely se připevní alespoň na čtyřech místech k roštu. Tento případ montáže je uveden na obrázku 17.[13, 14]

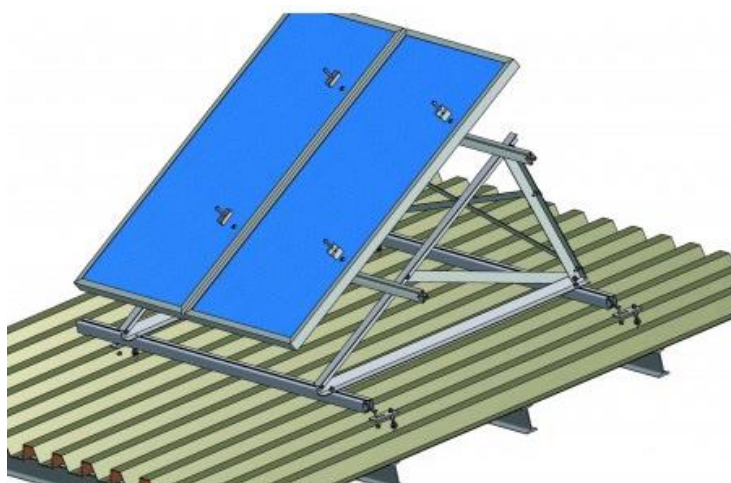


Obrázek 17: Příklad upevnění panelů na šikmou střechu [13]

Při montáži na plochou střechu bude spotřeba materiálu vyšší, protože se pomocí hliníkových profilů vytvoří celá konstrukce. Naopak výhodou zůstává to, že si můžeme určit orientaci a sklon panelů. To nám umožní využít sluneční energii nejefektivněji. Tato



konstrukce potřebuje pevnější upevnění, než tomu bylo u šikmých střech, protože dochází k většímu namáhání větrem. Obrázek 18 uvádí možný příklad.[14]



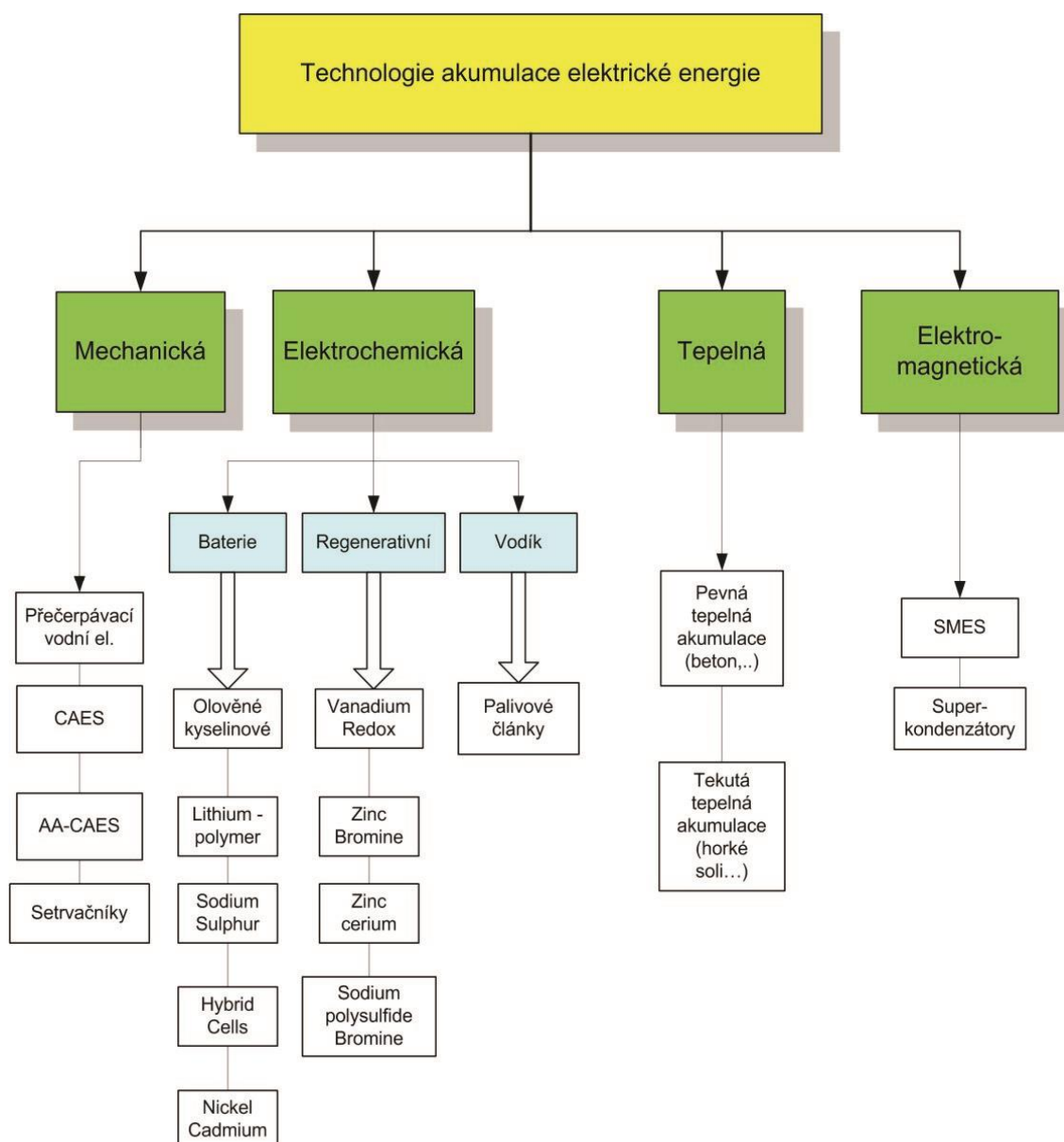
*Obrázek 18: Příklad montáže na kolmou střechu [14]*

V současnosti se provádí instalace na všechny možné objekty. Můžeme vidět různé aplikace solárních panelů v našem okolí. Montují se do fasád budov, na protihlukové stěny, střechy zastávek, do skel kancelářských budov nebo na střechy parkovišť u obchodních domů. S rostoucím využíváním solární energie, které se očekává v budoucnosti, se předpokládá větší počet výjimečných montáží. Protože pro dosažení stanoveného podílu OZE na spotřebě elektrické energie bude nutné využít všechny dostupné plochy.



## 2. Bateriová úložiště elektrické energie

Elektřinu už umíme vyrobit několika dostupnými metodami, ale problém je s jejím uložením v takové míře, abychom velké přebytky mohli uložit na později. Existuje mnoho způsobů, jak uložit elektrickou energii. Dnešní technologie nám umožňují uložení například do přečerpávacích elektráren, velkokapacitních úložišť, pomocí setrvačníků, vodíku a dalších. Ovšem v posledních letech byl zaznamenán celosvětově velký nárůst ukládání do baterií. Dokonce se očekává, že v budoucnu budou mít bateriová úložiště velký význam pro průmysl a energetiku.



Obrázek 19: Rozdělení akumulčních soustav [15]

## 2.1. Druhy baterií

V aplikacích bateriového úložiště se používají baterie, které lze opakovaně nabíjet a vybití elektrickou energií, takže se jedná o akumulátory. Nabíjení a vybití lze provádět několikrát, každý tento proces představuje jeden cyklus. Životnost používaných baterií se pohybuje v řádu stovek až tisíců cyklů.[16] Ovšem s touto životností by se měla uvádět hloubka vybití DoD (depth of discharge), při které se dosáhlo takové životnosti. Zde si uvedeme dva případy baterií. Jedná se o olověné, které patří mezi starší zástupce, a lithiové, které prezentují skupinu nových a které se v dnešní době používají nejvíce.

### 2.1.1. Olověné baterie (Lead Acid)

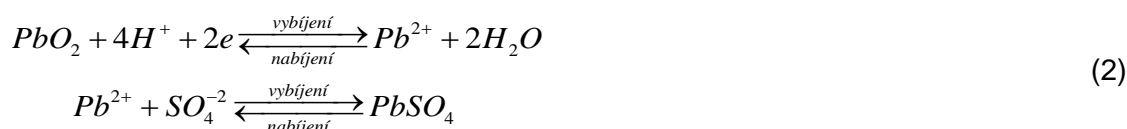
Olověné baterie představují velkou část baterií na trhu. Tento typ obsahuje dvě elektrody z čistého olova, elektrolytem je kyselina sírová  $H_2SO_4$ . Hlavní jejich výhodou je schopnost poskytnout rázově velké proudy. Toto lze například využít při startu automobilu. Za zmínku stojí i jejich spolehlivost a životnost, oproti ostatním typům mohou sloužit několik let.[4, 17]

Na elektrodách probíhají tyto reakce:[18]

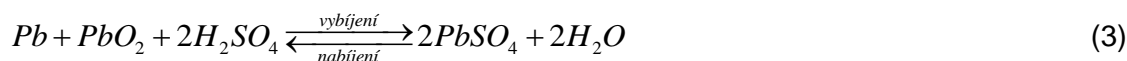
Na negativní elektrodě:



Na pozitivní elektrodě:



Celková reakce:



Olověná baterie snese mírné přebíjení, ale pokud by se jednalo o dlouhodobý proces, dochází k odpařování elektrolytu a vzniku jedovatého plynu  $H_2S$  (sirovodík). Pokud necháme baterii delší dobu vybitou, dochází na jejích elektrodách k tzv. sulfataci, která snižuje její kapacitu. Mezi nevýhody dále patří nízká hustota energie, dlouhá doba nabíjení



a velká hmotnost baterie, neboť až 60 % hmotnosti je obsaženo v použitém olovu. Nejčastěji jsou dostupné olovené baterie s napětím 6 V, 12 V či 24 V.

### 2.1.2. Lithiové baterie

K hlavním a v dnešní době nejvyužívanějším patří lithiové baterie, u kterých se jako elektrolyt používá lithiová sůl v organických rozpouštědlech. Lithium je velice reaktivní kov, díky tomu se stává energeticky zajímavým. Hlavním problémem lithiových článků je nedostatek lithia a nebezpečí požáru, které se začíná řešit s rostoucí elektromobilitou. „*Tím ale špatné zprávy zdaleka nekončí. Lithium je také velmi reaktivní, proto se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách. Získává se z nich elektrolýzou, takže výroba akumulátorů pro uskladňování levné a čisté alternativní energie je paradoxně drahá, špinavá a energeticky náročná. Ještě ke všemu dokáže tento kov vzplanout už při styku s vlhkostí, což nejenže výrobu článků dál prodražuje, ale podle mezinárodních předpisů se s lithiovými články musí zacházet jako s nebezpečným materiálem.*“ [19]

Anoda článků je vyrobena z uhlíku, katoda z oxidu kovů a elektrolyt je lithiová sůl v organických rozpouštědlech. Následující rovnice popisuje elektrochemickou reakci:[4]



Díky obsahu lithia, které je lehkým kovem, tyto baterie disponují malou hmotností na instalovanou kWh. Jejich provoz je bezúdržbový a problém samovybití je takřka odstraněn. Lze je rychle nabíjet a vybíjet, takže jdou použít do akumulačního systému, u kterých se vyžaduje dynamická změna. Pro životní prostředí jsou z hlediska výroby i následné recyklace mnohem přívětivější. Dnes jsou zcela běžné dvě varianty lithiových baterií Li-ion a Li-pol.

Baterie Li-ion mají vysokou hustotu energie, nízkou úroveň samovybití a žádný paměťový efekt. Životnost těchto článků je přibližně 500 až tisíce cyklů, ale k jejich nevýhodám patří stárnutí v čase a nezáleží na jejich využívání. Takže životnost Li-ion článků klesá už po několika letech bez ohledu na používání. Hlavní rozdíl baterie Li-pol je, že využívají namísto tekutého elektrolytu, který využívají Li-ion, pevný elektrolyt.[16]

Tyto baterie se podle potřebné konfigurace zapojí sériově nebo paralelně do paketů, které se následně instalují do bateriových úložišť, které se při spolupráci s obnovitelnými zdroji energie dají použít k jejich efektivnějšímu využití.

### 2.1.3. Nové druhy baterií

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, dnes nejpoužívanější a nejrozšířenější druh baterií jsou lithiové. Vyvíjejí se nové baterie, ale většinou se jedná pouze o novou generaci lithiových baterií nebo úpravy současných konceptů jako například  $\text{LiFePO}_4$ . Svět stále čeká na nějakou přelomovou technologii, která by opravdu významně změnila obor baterií. Proto bych v této části rád věnoval prostor novým druhům baterií, i když se většinou jedná pouze o koncepty, ale některé už se chystají na sériovou výrobu v dohledné budoucnosti.

U baterií  $\text{LiFePO}_4$  (lithium-železo-fosfátové) se jedná o novou úpravu lithium-iontových baterií, které využívají materiál  $\text{LiFePO}_4$  pro katodu. Svoje využití tento typ našel právě pro domácí kompaktní úložiště. Pro tato využití se volí, protože disponují dlouhou životností a oproti některým lithium-iontovým typům nevybuchují ani nehoří.[20]

Ideálním prvkem může být například zinek. V přírodě je docela rozšířený, oproti lithiu celkem stabilní a cenově dostupný. Jelikož baterie obsahuje vodný elektrolyt, tak u ní nehrozí vyhoření jako u lithiových baterií, které obsahují hořlavý elektrolyt. Bohužel podle expertů nedisponuje takou silou jako lithium, to souvisí s tím, že je více stabilní. [21, 22]

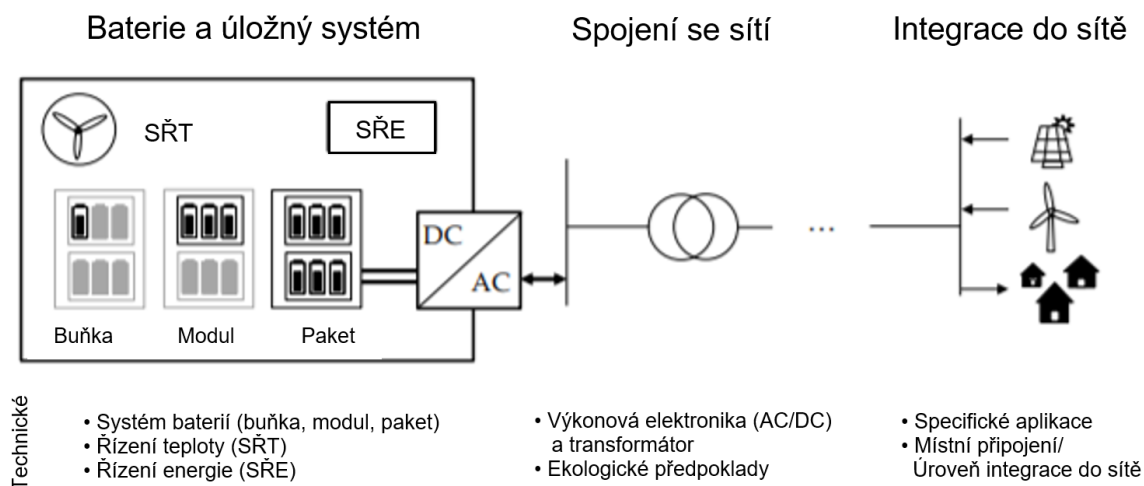
Hliník v sobě skrývá dobrou elektrickou vodivost. Jedná se o velmi výkonné baterie, ale bohužel ani tyto nejsou bez chyby. Elektroda, která je vyrobena z hliníku, v průběhu času často koroduje, takže je nahrazován cínem, který bohužel snižuje celkovou energetickou výkonnost. Nový výzkum odhalil možné řešení tohoto problému. Pokud elektrodu chrání olej, nedochází ke korozi, takže baterie v průběhu času neztrácí velké množství energie. Tento fakt může v budoucnu rozhodnout a zapojení hliníkových baterií.[23]

Ovšem za nejzajímavější koncept považuji baterie z grafenu, které pro mě byly velkým překvapením, a zdá se, že by opravdu mohly znamenat revoluci na trhu s bateriemi. Jedná se o zcela nový materiál, který disponuje úžasnou elektrickou a tepelnou vodivostí. Takže ve srovnání s lithiem je schopen se mnohokrát rychleji nabít, proto nedochází k velkému přehřívání. Tato skutečnost zlepšuje její životnost a spolehlivost, což pokládáme za hlavní výhody grafenu. Avšak nic není dokonalé, takže i grafen má své nedostatky. K těm největším patří drahá a málo ekologická výroba.[22]

## 2.2. Princip bateriového úložiště

Za hlavní myšlenku použití projektu bateriového úložiště považují snížení energetické náročnosti nějakého objektu. V průmyslu to znamená určitou soběstačnost ve spotřebě elektřiny a stabilizaci odběru, který může být velký zejména při spouštění velkých strojů. V domácnosti se jedná zejména o snížení ekonomických nákladů na elektřinu.

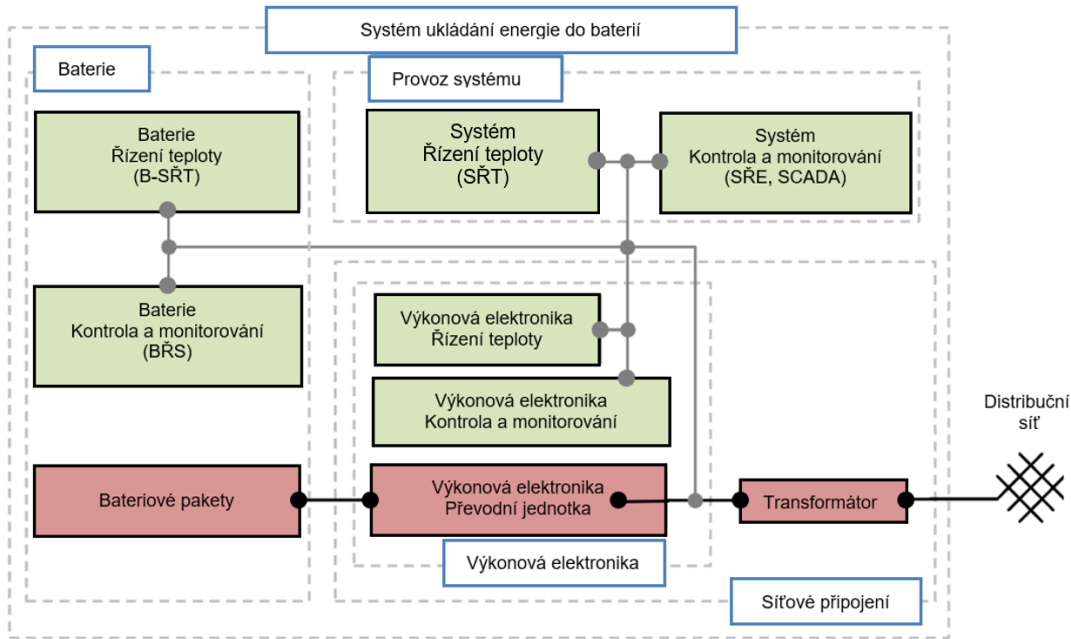
Bateriové úložiště se skládá z mnoha bateriových paketů. Pakety obsahují několik spojených baterií zapojených do série nebo paralelně, aby se zvýšilo jejich napětí a kapacita. Tato úložiště mohou být napájena z obnovitelných zdrojů energie nebo přímo z distribuční sítě. To se dá využít například u fotovoltaických elektráren, které produkují napětí pouze tehdy, když na ně svítí Slunce. Takže pomocí těchto úložišť bychom mohli tuto energii uložit a využít, kdy bude potřeba, tedy bude nedostatek výkonu v síti. Výhodou je, že solární panely vyrábí stejnosměrný proud, který se dá uložit rovnou do baterií, takže není potřeba usměrňovač, což snižuje technickou a ekonomickou náročnost aplikace. Úložiště samozřejmě nemusí být závislé pouze na výrobě panelů, pokud jej připojíme k síti, může se při nedostatku vlastní výroby dobít. V distribuční soustavě by velkokapacitní úložiště výrazně mohla pomoci k její stabilizaci a v případě výpadku nebo poruchy rychleji obnovit normální stav. Možnou realizaci bateriového úložiště ukazuje obrázek 20.



Obrázek 20: Příklad schématického zapojení bateriového úložiště (upraveno) [24]

Jak můžeme vidět na obrázku 20, tak samotné baterie nestačí. Ostatní komponenty se liší v závislosti na konfiguraci aplikace. Pro typické aplikace se ještě používá systém řízení teploty (SŘT), systém řízení energie (SŘE) a výkonová elektronika, která obnáší

usměrňovač pro přeměnu stejnosměrného napětí baterií na střídavé napětí sítě. Pro spojení s distribuční sítí se použije transformátor, aby se střídavé napětí transformovalo na správnou napěťovou hladinu.

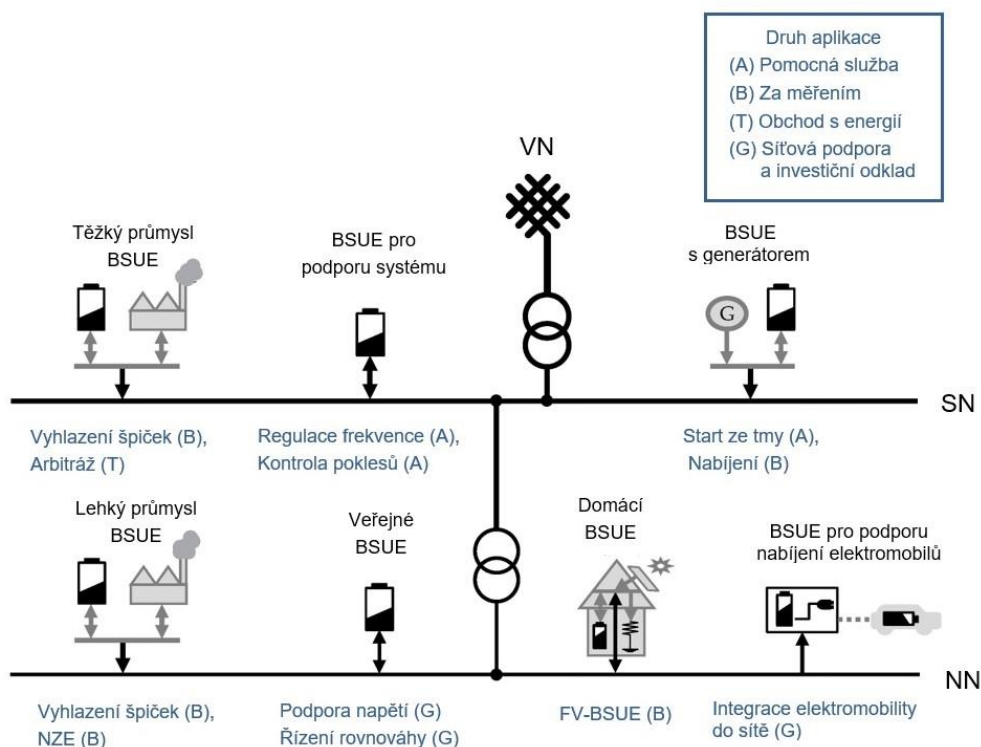


Obrázek 21: Funkční bloky bateriového systému akumulace energie (upraveno) [24]

Obrázek 21 upřesňuje uspořádání systému ukládání energie. Černé čáry označují hlavní tok energie a šedivé označují pomocné napájení. Systém obsahuje čtyři základní bloky, které jsou naznačeny čárkovanou čarou. První blok nazýváme síťové připojení, které obsahuje transformátor a blok výkonové elektroniky. Transformátor umožňuje připojení na různé hladiny napětí. Výkonovou elektronikou se myslí nějaký druh měniče a podřadné systémy potřebné ke správnému fungování. Provoz systému dohlíží a kontroluje všechny procesy probíhající v jednotlivých blocích, aby vyhodnotil a zasáhl, pokud dojde k chybě. Poslední blok jsou samotné baterie, které mají také své kontrolní a monitorovací podsystémy (BŘS, B-SŘT). Každý z bloků má svou vlastní správu teploty (SŘT). Zde se jedná většinou o lithium-iontové baterie, u kterých při nadměrném překročení teploty může dojít k poškození nebo dokonce k prohoření. Teplotně náchylné jsou také výkonové součástky, takže pro správný chod je zapotřebí dostatečné chlazení. U většiny BSUE (Bateriový systém uložení energie) se využívá pasivní chlazení vzduchem.[24]

V současnosti existuje spousta aplikací, kde se používají lithium-iontové bateriové systémy. Obrázek 22 ukazuje výběr síťových aplikací, kde lze využít bateriová úložiště. Zatím největší uplatnění registrujeme pro hladinu nízkého napětí (NN), kde se používá v rodinných domech, lehkém průmyslu a síťové úložiště (Veřejné BSUE), které podporuje

stabilitu soustavy nebo umožní restart jednotek na výrobu elektrické energie při rozsáhlém výpadku. S rostoucím vlivem elektromobility na spotřeby elektřiny se počítá s jejich pomocí při stabilizaci lokálních odběrů. Menší zastoupení mají na hladině středního napětí, kde se hlavně využívají v těžkém průmyslu a k akumulaci energie při přebytku.[24]



Obrázek 22: Síťové aplikace bateriových systémů (upraveno) [24]

## 2.3. Bateriová úložiště v ČR

Bateriová úložiště mají velký potenciál do budoucna, ale zatím jsou pořád hodně finančně nákladná. Proto se v současné době nachází v ČR asi pět velkých bateriových úložišť, která se převážně používají pro průmysl nebo pro samotnou distribuční soustavu. Jedno postavila energetická společnost E.ON Česká republika, s.r.o., v Mydlovarech na Českobudějovicku, druhé otevřel Siemens pro firmu C-Energy Planá s.r.o. v Plané nad Lužnicí, třetí vybudovala česká firma Energon Advanced Energetics, s.r.o., kousek od Dobříše, čtvrté pořídila firma Solar Global a.s. v Prakšicích a páté je společným projektem společností ČEZ, a.s., a ČEPS, a.s., v Tušimicích.

Bateriové úložiště firmy E.ON Česká republika, s.r.o., (příloha 1) disponuje kapacitou 1,75 MW, což by v potřebné situaci mohlo pokrýt denní spotřebu přibližně 130 rodinných domků nebo 650 bytů. Zařízení může rychle reagovat na krátkodobé výpadky

napětí nebo například kompenzovat jalový výkon. Využívá technologii SIESTORAGE, která v sobě obsahuje Li-Ion baterie.[25]

Společnost Solar Global a.s. si nechala postavit úložiště od nizozemské firmy Alfen BV. Zařízení disponuje kapacitou o hodnotě 1 MWh a výkonem 1 MW. Elektrická energie se využívá při výkyvech distribuční sítě nebo když dojde ke zvýšení poptávky.[26]

Česká společnost Energon Advanced Energetics, s.r.o., vyrobila úložiště o kapacitě 1,3 MWh. Kontejner obsahuje baterie, transformátor i rozvaděč. Toto úložiště je na prodej, společnost spatřuje potenciál v jeho velkém využití. Úložiště může sloužit k lepšímu využití obnovitelných zdrojů v průmyslových podnicích, stabilizaci sítě, zvyšovat účinnost nebo snižovat náklady výrobních závodů.[27]

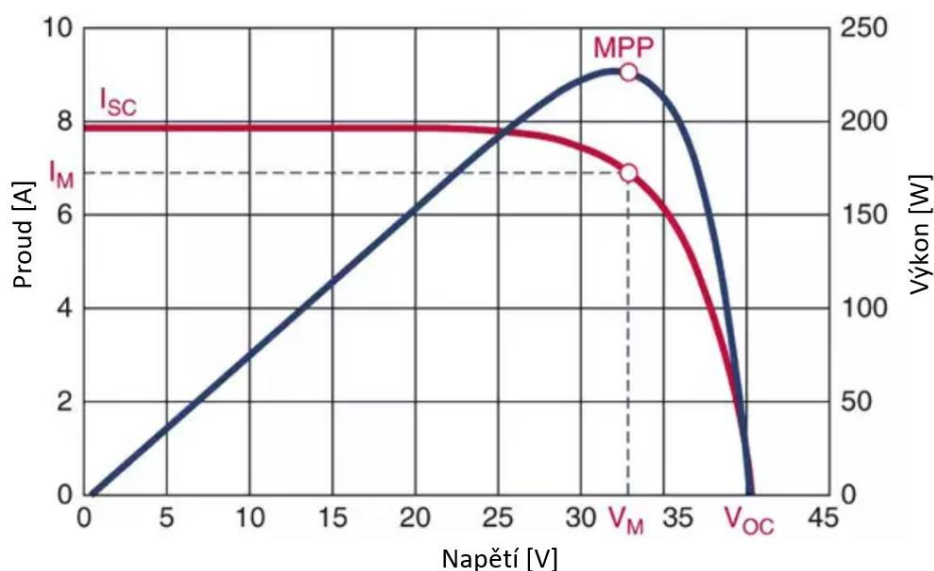
Jedno z největších bateriových úložišť v ČR vybuďoval energetický zdroj C-Energy Planá s.r.o. Tato baterie bude sloužit primárně k optimalizaci špiček a udržovat rovnováhu výkonu. Zařízení je uloženo ve třech kontejnerech ve venkovním prostředí. Baterie má kapacitu 2,5 MWh a výkon 4 MW. Systém se dobíjí z generátorů elektřiny nebo z fotovoltaické elektrárny o výkonu 520 kWp. Úložiště postavila firma Siemens na tzv. technologii SIESTORAGE (Siemens Energy Storage). Systém zahrnuje řízení, Li-ion bateriové články, rozvaděče, transformátory a střídače/měniče. Další výhodou je, že zařízení bude schopno poskytnout první napětí pro start ze tmy. Fotky úložiště jsou uvedeny v příloze 2 a příloze 3.[28]

Další z největších bateriových úložišť v ČR postavily ve spolupráci společnosti ČEPS, a.s., a ČEZ, a.s. Provoz probíhá v areálu elektrárny Tušimice. Zařízení disponuje výkonem 4 MW a kapacitou 2,8 MWh. Toto úložiště nebude sloužit pouze k ukládání elektrické energie, ale také k testování různých provozních režimů v odlišných podmínkách a nastavení pravidel pro baterii v oblasti tzv. nové energetice.[29, 30]

## **2.4. Bateriové úložiště pro domácí použití**

S rozvojem nových technologií a technologických procesů už nejsou baterie tak nedostupné, jako tomu bylo dřív. V dnešní době využití baterií pro uložení energie není součástí jen energetiky a průmyslu, ale také domácností. Na trhu můžeme nalézt odvětví, které se věnuje prodeji bateriových úložišť přímo určených pro domácí použití, tzv. battery boxy. Jedná se o all-in-one systémy, které neobsahují pouze Li-ion baterie. Battery box se dodává jako plnohodnotný systém, který se skládá z baterií, výkonových součástek (např. střídač nebo usměrňovač) a regulátorů MPPT (Maximum Power Point Tracking),

český ekvivalent sledovač maximálního výkonu. Tento regulátor je stěžejní pro efektivní využití solární energie, efektivnost vytěžené energie zvyšuje až o 30 %. Jedná se DC-DC měnič, který sleduje a reguluje napětí a proud z panelů. Regulace se provádí tak, aby byl generován největší výkon (bod MPP) a bylo dosaženo kompatibility s baterií. Princip fungování MPPT naznačuje obrázek 23, kde červená křivka označuje voltampérovou charakteristiku FV panelu a modrá závislost výkonu na napětí.[31, 32]



Obrázek 23: Funkce regulátoru MPPT (upraveno) [32]

Ovládací systém, který dokáže chytře a efektivně rozdělovat elektrickou energii v domě. Systém dokáže vyhodnotit, který spotřebič je potřeba neodkladně napájet a který může počkat. Některé boxy lze dokonce připojit k internetu. Ty jsou poté schopny vyhledat informace o počasí a přizpůsobit tomu hospodaření s elektřinou. Pokud systém vyhodnotí, že vyrobená elektřina z fotovoltaiky nebude stačit na nabití baterií, tak je schopen ještě baterie dobít pomocí distribuční sítě. U některých úložišť, které mají chytrý software, může všechny provedené zásahy uživatel sledovat ve svém chytrém telefonu pomocí aplikace.[33]



Obrázek 24: Battery box firmy OIG Power s.r.o. [34]

Boxy se vyrábí s různou kapacitou baterií od 3 kWh až do 12 kWh, které se dají ještě rozšířit o bateriové packety, ale to spíše pro bytové domy nebo průmyslové objekty. Domácí úložiště se dodává sestavené a stačí ho nechat odborně zapojit k rozvodům v domě a fotovoltaického systému. Box je naprosto bezúdržbový a stačí ho umístit někde v domácnosti nejlépe tam, kde je konstantní teplota a sucho. S použitím bateriového úložiště v domácnosti se může stát tato domácnost částečně soběstačná, co se týče spotřeby elektrické energie.

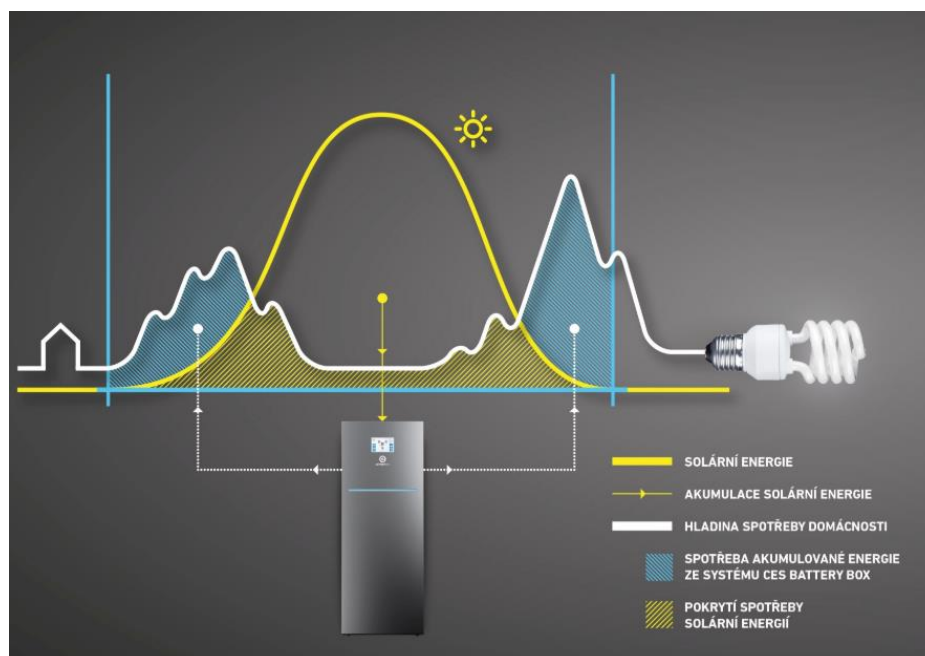


### 3. Využití úložiště se solárními panely

Domácí fotovoltaická elektrárna na střeše ve spolupráci s bateriovým úložištěm může přinést mnoho výhod. Samotná fotovoltaika při dnešních výkupních cenách není tak výhodná jako dříve. Výhoda spolupráce spočívá také v tom, že hlavní spotřeba elektřiny typické domácnosti dosahuje nejvyšších hodnot ráno a večer. Takže v době, kdy Slunce nesvítí. Pomocí úložiště můžeme hned nespotřebovanou elektřinu uložit na později.

#### 3.1. Využití solární energie

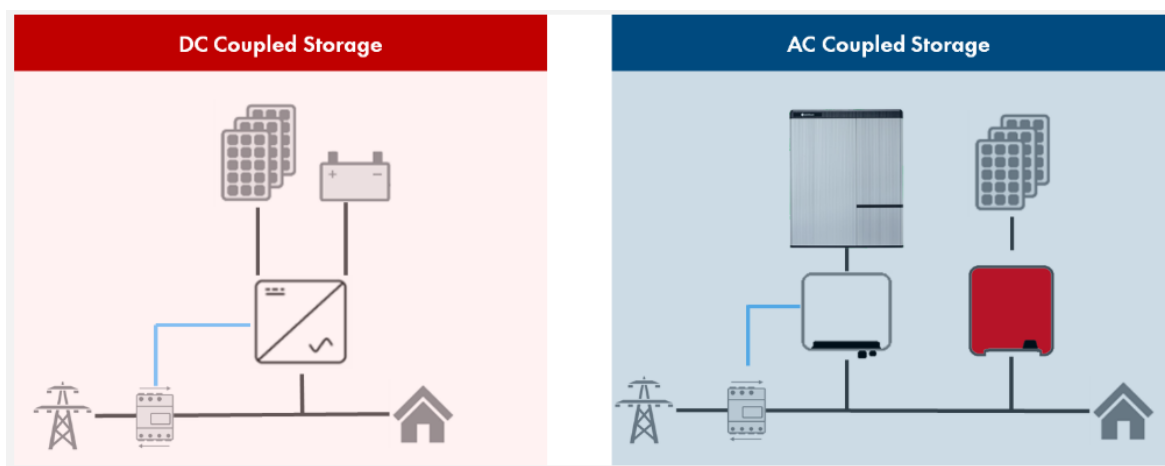
Přímé využití levné solární energie v domě není většinou možné, protože výroba přes den značně převyšuje spotřebu prázdného domu. Obrázek 25 naznačuje princip spotřeby a výroby elektřiny ze solárního systému v domácnosti.



Obrázek 25: Názorný obrázek výroby a spotřeby elektrické energie [34]

Tyto systémy se mohou zapojit dvěma různými způsoby: AC a DC coupling. AC-coupling obnáší zapojení bateriového měniče, a tedy i baterie na AC rozvod v domě. DC energie ze solárních panelů se pomocí svého měniče přemění na AC a zapojí se do stejné sítě v domě jako bateriový systém. Princip fungování spočívá v tom, že při přebytku AC energie dochází k nabíjení baterie, a naopak při jejím nedostatku se baterie vybíjí. DC-coupling využívá tzv. hybridní měnič, na který se připojí současně fotovoltaické panely a baterie. Tento měnič je také připojen na AC rozvod v domě a pomocí

integrovaného střídače umí dodávat energii z baterie. Obrázek 26 ukazuje možné blokové zapojení.[35]



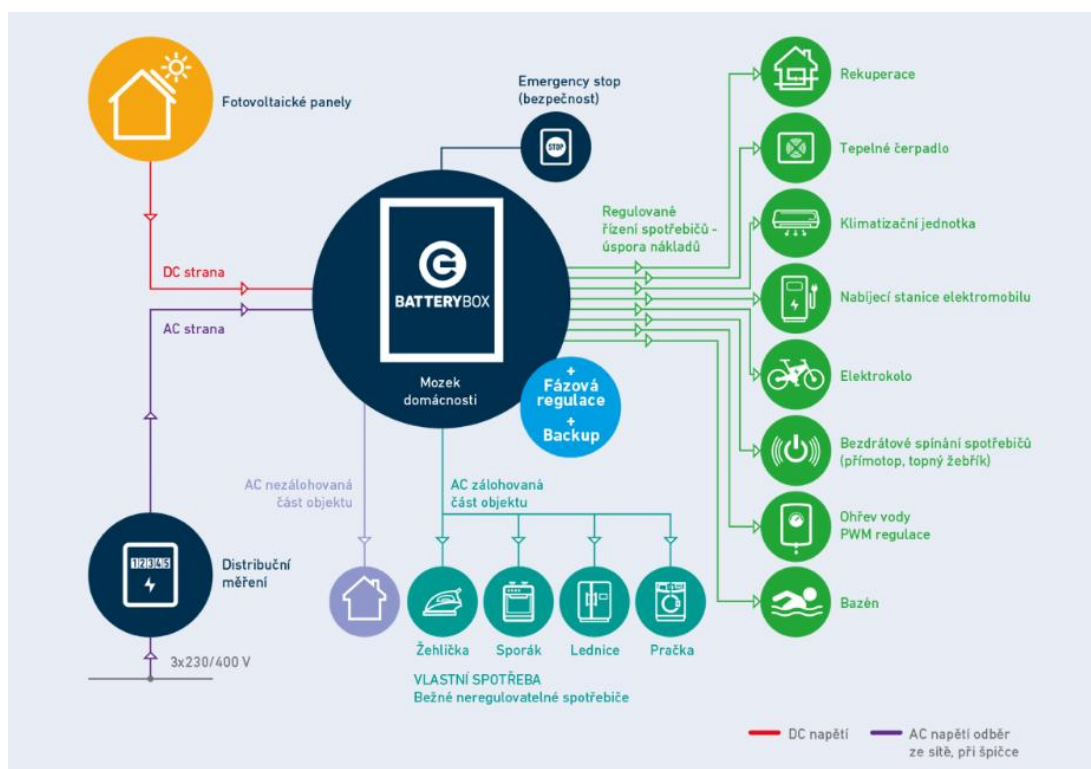
Obrázek 26: Schéma DC-coupling a AC-coupling [35]

Další pojmy, spojované v souvislosti se solárním systémem s baterií, jsou on-grid, off-grid a hybridní systém. On-grid konfigurace obnáší připojení na síť a veškerá vyrobená elektřina se dodává právě do ní. Naopak tomu off-grid konfigurace, tzv. ostrovní systém, není připojen na síť a nespoteřovaná elektřina se uloží do baterií. V domácnostech se používá hybridní systém, který spojuje výhody obou konfigurací. Takže primárně ukládá elektřinu do baterií a při přebytku elektřiny ji dodává do sítě. Při výpadku může přejít elektrárna na ostrovní režim, což znamená pokrytí spotřeby z uložené elektrické energie v bateriích, během několika milisekund.[36]

### 3.2. Distribuce elektřiny v domě

V současných českých domácnostech téměř 22 % uživatelů již využívají chytré spotřebiče, které umí hospodařit s elektřinou podle toho, jak ji potřebují. Nové technologie přinesly větší možnosti pro bateriová úložiště, které s pomocí softwaru jsou schopna distribuovat elektřinu po domě efektivně dle spotřeby. Například nejdříve napájet přístroje, které nemohou počkat, jako jsou lednice nebo sporák. Jako další napájet spotřebiče, u kterých není napájení nutné ihned a mohou počkat na dostatek elektrické energie. Zde řadíme tepelná čerpadla, ohřev vody, nebo klimatizace. Software počítá s rozmachem elektromobility, takže elektromobil může být připojen, ale nabíjet se začne až při malé spotřebě ostatních přístrojů. Možné rozdělení distribuce elektřiny v domácnosti znázorňuje obrázek 27. Pokud má systém přístup k internetovému připojení, zjistí si informace o počasí a na jejich základě se rozhodne, jestli fotovoltaika dodá dostatečné množství energie do bateriového systému. Při nedostatku slunečního svitu se úložiště dobije z distribuční

sítě. Pokud uživatel během dne má nízký tarif, tak může tuto levnější elektřinu využít k dobití baterií, a tím snížit náklady domácnosti.[37, 38]



Obrázek 27: Battery box schéma distribuce elektřiny po domě [34]

Všechny tyto skutečnosti dělají z rodinného bateriového úložiště ve spolupráci se solárními panely zajímavou investicí. Myslím si, že baterie v domácnosti mají velkou perspektivu pro budoucnost. Snaha o větší uplatnění obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektřiny má energetické i ekonomické dopady na trh s elektřinou. Energetické dopady spočívají v těžší regulaci elektrizační soustavy. Ekonomické dopady jsou spojeny s podporou OZE a dekarbonizací energetiky, což má za následek zvyšování cen elektrické energie. Proto bude výhodná určitá energetická soběstačnost pro domácnost a s tím spojená akumulace elektřiny při využití OZE. Navíc při současných výkupních cenách elektřiny je akumulace elektřiny do baterií nezbytná. Proto lze očekávat nárůst domácích bateriových úložišť v blízké budoucnosti.[34, 39]



## 4. Velikost FV systému a baterie

### 4.1. Elektrická energie FV systému

V první řadě nás bude zajímat, kolik energie za rok můžeme pomocí FV systému vyrobit. To lze stanovit ze vzorce.[40]

$$E_{FV,sys} = \frac{H_{T,rok} \cdot P_{pk} \cdot PR}{G_{ref}} \quad [\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (5)$$

<b>E<sub>FV,sys</sub></b>	Roční vyrobená elektrická energie	[kWh·rok <sup>-1</sup> ]
<b>H<sub>T,rok</sub></b>	Roční dávka ozáření dopadajícího na FV systém	[kWh·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup> ]
<b>P<sub>pk</sub></b>	Špičkový výkon FV systému	[kWp]
<b>PR</b>	Performance Ratio; činitel výkonnosti FV systému	[-]
<b>G<sub>ref</sub></b>	Referenční sluneční ozáření	[kW·m <sup>-2</sup> ]

K použití výše uvedeného vzorce potřebujeme znát roční dávku ozáření v oblasti, kde chceme fotovoltaiku provozovat. Hodnoty podle jednotlivých měsíců jsou uvedeny v následující tabulce pro obec Nechanice ve Východních Čechách.

Měsíc	Měsíční sluneční ozáření [kWh·m <sup>-2</sup> ]
Leden	38,63
Únor	59,40
Březen	81,62
Duben	119,03
Květen	165,97
Červen	152,68
Červenec	151,45
Srpen	155,01
Září	147,33
Říjen	61,24
Listopad	47,67
Prosinec	51,89
<b>Celkem za rok H<sub>T,rok</sub></b>	<b>1 231,92</b>

Tabulka 1: Dopadající sluneční energie ve městě Nechanice úhel 30° – hodnoty z roku 2016 [41]

Při výpočtu jsem vycházel z hodnoty ozáření  $H_{T,rok} = 1\,231,92 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ,  $PR = 0,75$ , které jsem vybral z tabulky 2, a referenční ozáření  $G_{ref} = 1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ , které je stanoveno v normě ČSN EN 15316-4-3 *Výroba tepla, solární tepelné a fotovoltaické soustavy*. Tabulka 3 popisuje hodnoty elektrické energie vyrobené fotovoltaickým systémem za použití rovnice 5 pro různé hodnoty výkonů fotovoltaiky.

Performance Ratio [-]	Popis
0,85	špičkové zařízení, dobře odvětrávané, bez zastínění, malé znečištění
0,80	velmi dobré zařízení, dobré odvětrávání, bez zastínění
0,75	průměrná úroveň ozáření a odvětrávání
0,70	průměrné zařízení, zastínění nebo špatné odvětrávání
0,60	špatné zařízení s většími ztrátami způsobenými zastíněním nebo znečištěním
0,50	špatné zařízení s velkým zastíněním nebo s poruchami

Tabulka 2: Činitel výkonnosti fotovoltaických systémů (upraveno) [3, 40]

Špičkový výkon FV systému [kWp]	Elektrická energie vyrobená FV systémem za rok [kWh·rok <sup>-1</sup> ]
1	923,94
2	1 847,88
3	2 771,82
4	3 695,76
5	4 619,70
6	5 543,64
7	6 467,58
8	7 391,52
9	8 315,46

Tabulka 3: Elektrická energie vyrobena FV systémem za rok

## 4.2. Výpočet FV pole a kapacity baterie

Před samotným pořízením solárního systému s ukládáním energie je nutné si promyslet, co po tomto systému požaduje. Jestli chceme využít místo na střeše, abychom ušetřili peníze za elektřinu, nebo požadujeme plnohodnotný náhradní systém, který umožní výrazně snížit výdaje za elektřinu a závislost na dodávce elektřiny ze sítě. Ideální výkon fotovoltaiky by měl být takový, aby bezpečně pokryl denní spotřebu domu. Při volbě velikosti baterie není určující jen denní spotřeba domácnosti, ale záleží na výkonu FV systému. Správně dimenzovaný systém, který zvládne plně nabít baterii, může značně prodloužit její životnost. Vybíjení baterie většinou probíhá ve večerních a ranních hodinách, proto existuje takové pravidlo, že by baterie měla pokrýt spotřebu v časovém období 16:00 – 8:00 hodin. Pro výpočty je potřeba zjistit spotřebu domácnosti, účinnost systému a denní dávku ozáření.

Domácí spotřebiče	Orientační spotřeba elektřiny u spotřebičů
Pračka A++ (přední plnění)	0,600 – 0,850 kWh-cyklus <sup>-1</sup>
Pračka A++ (horní plnění)	0,800 – 0,900 kWh-cyklus <sup>-1</sup>
Televize LED (úhlopříčka nad 120 cm)	0,107 kWh·hod <sup>-1</sup>
Televize LED (úhlopříčka 70–90 cm)	0,053 kWh·hod <sup>-1</sup>
Televize LCD (101-120 cm)	0,170 kWh·hod <sup>-1</sup>
Televize Plazma (110-131 cm)	0,256 kWh·hod <sup>-1</sup>
Myčka A++ (šířka 60 cm)	0,850 – 0,950 kWh-cyklus <sup>-1</sup>
Myčka A++ (šířka 45 cm)	do 0,75 kWh-cyklus <sup>-1</sup>
Bojler 120 litrů (z 10 °C na 55 °C)	6,400 kWh
Bojler 100 litrů (z 10 °C na 55 °C)	5,340 kWh
Mikrovláknová trouba (z 25 na 180 °C)	7,560 kWh·hod <sup>-1</sup>
Varná deska sklokeramická (1 ploténka)	0,161 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu
Varná deska indukční (1 ploténka)	0,105 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu
Lednice s mrazákem A++	0,460 – 0,650 kWh·den <sup>-1</sup>
Samotná lednice A++ (185 cm)	do 0,450 kWh·den <sup>-1</sup>
Samotný mrazák A++ (125 cm, šuplíkový)	do 0,600 kWh·den <sup>-1</sup>
Varná konvice	0,110 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu
Fén	1,320 kWh·hod <sup>-1</sup>
Osvětlení žárovka 25 W	0,025 kWh·hod <sup>-1</sup>
Osvětlení žárovka 40 W	0,040 kWh·hod <sup>-1</sup>
Sušička s tepelným čerpadlem A++	1,510 – 1,600 kWh-cyklus <sup>-1</sup>
Elektrická trouba	0,830 kWh·hod <sup>-1</sup>
Topinkovač (2 topinky)	0,039 kWh
Vysavač	1,320 kWh·hod <sup>-1</sup>
Žehlička (bavlna)	0,240 kWh·hod <sup>-1</sup>
Set-top-box	0,008 kWh·hod <sup>-1</sup>
Satelitní set	0,022 kWh·hod <sup>-1</sup>
DVD	0,010 kWh·hod <sup>-1</sup>
PC	0,030 kWh·hod <sup>-1</sup>
Monitor LCD 17''	0,030 kWh·hod <sup>-1</sup>
Rádio	0,010 kWh·hod <sup>-1</sup>
Kopírka	0,0006 kWh·stran <sup>-1</sup>
Tiskárna	0,0004 kWh·stran <sup>-1</sup>
Nabíječka chytrého mobilního telefonu	0,0027 kWh·hod <sup>-1</sup>

Tabulka 4: Spotřeba elektřiny vybraných domácích spotřebičů (upraveno) [42]

Tabulka 4 uvádí orientační spotřebu přístrojů v domácnosti, ze které lze stanovit orientační denní spotřebu. Při známé spotřebě domácnosti lze spočítat velikost FV pole, které by pokrylo tuto spotřebu. Pro výpočet FV pole lze využít následující vzorec:

$$A_{FV} = \frac{E_{p,den}}{\eta_{FV} \cdot H_{T,den} \cdot \eta_{sys}} \quad [m^2] \quad (6)$$

<b>A<sub>FV</sub></b>	Plocha FV modulů	[m <sup>2</sup> ]
<b>E<sub>p,den</sub></b>	Celková potřeba el. energie za den	[kWh·den <sup>-1</sup> ]
<b>η<sub>FV</sub></b>	Účinnost FV modulu	[-]
<b>H<sub>T,den</sub></b>	Denní dávka ozáření dopadajícího na FV systém	[kWh·m <sup>-2</sup> ·den <sup>-1</sup> ]
<b>η<sub>sys</sub></b>	Celková účinnost systému	[-]

K tomu budeme potřebovat vypočítat účinnost FV modulu  $\eta_{FV}$ , která je 20 % a uvádí se v produktovém listu, a celkovou účinnost systému  $\eta_{sys}$ . [40]

$$\eta_{sys} = \eta_{MPP} \cdot \eta_{DC} \cdot \eta_{CC} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{INV} \cdot \eta_D \quad [-] \quad (7)$$

$\eta_{MPP}$	Účinnost sledovače výkonového maxima	[-]
$\eta_{DC}$	Účinnost DC kabeláže	[-]
$\eta_{CC}$	Účinnost regulátoru nabíjení	[-]
$\eta_{BAT}$	Účinnost baterií	[-]
$\eta_{INV}$	Účinnost měniče	[-]
$\eta_D$	Účinnost distribuce el. energie v domě	[-]

Pro nejlepší využití elektřiny ze Slunce je důležité vybrat správnou velikost baterie. Výpočet pro kapacitu baterie pomocí vzorce, ve kterém se předpokládá, že se baterie použije k pokrytí 80 % denní spotřeby. Baterie se používá k pokrytí spotřeby, kdy fotovoltaika nedodává výkon, a je potřeba využít elektřinu ze Slunce. [43]

$$Q_{bat} = \frac{E_{p,80\%}}{U \cdot T_{DOD} \cdot \eta_{INV} \cdot \eta_D} \quad [Ah] \quad (8)$$

$Q_{bat}$	Kapacita baterie	[Ah]
$E_{p,80\%}$	80 % denní spotřeby el. energie	[Wh]
$U$	Napětí baterie	[V]
$T_{DOD}$	Hloubka vybíjení baterie	[-]
$\eta_{INV}$	Účinnost AC měniče	[-]
$\eta_D$	Účinnost distribuce el. energie do domu	[-]

Ve výpočtech se počítá se stejnou účinností systému, jejíž výpočet je uveden v rovnici 9. Pro výpočet účinnosti byly použity hodnoty účinností invertoru a baterií  $\eta_{BAT} = \eta_{INV} = 0,95$  [-], které jsou uvedeny v technickém listu úložiště (příloha 6). Ostatní účinnosti byly stanoveny jako standardní hodnoty takovýchto přístrojů. Problém nastává při výpočtu velikosti FV pole, kde se používá hodnota denního ozáření, ale jakou hodnotu použít. Budu používat dvě hodnoty pro denní dávku solárního ozáření, první bude průměrná hodnota denního ozáření. Druhá hodnota by měla být taková, aby při maximálním denním ozáření se spotřebovalo 70 % vyrobené elektřiny, jak je to požadováno pro přiznání dotace z programu nová zelená úsporám.

$$\eta_{sys} = \eta_{MPP} \cdot \eta_{DC} \cdot \eta_{CC} \cdot \eta_{BAT} \cdot \eta_{INV} \cdot \eta_D = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,98 = 0,832 \quad [-] \quad (9)$$



### 4.3. Spotřeba malé domácnosti

V prvním modelovém příkladu bych rád popsal spotřebu menší domácnosti se dvěma členy. Výpočet provedu za předpokladu, že elektřina se používá na napájení spotřebičů a osvětlení, ale vytápění a ohřev teplé vody se provádí za pomoci jiné energie. Například se může použít plyn nebo tuhá paliva (dřevo). Pro stanovení denní spotřeby jsem použil hodnoty z tabulky 4. V následující tabulce jsou uvedeny spotřebiče a jejich spotřeba elektrické energie pro malou domácnost.

Domácí spotřebiče	Orientační spotřeba spotřebičů	Doba použití za den [h]	Spotřeba [kWh·den <sup>-1</sup> ]
Pračka A++	0,725 kWh·cyklus <sup>-1</sup>	-	0,725
Televize LED	0,107 kWh·hod <sup>-1</sup>	6	0,642
Myčka A++	0,900 kWh·cyklus <sup>-1</sup>	-	0,900
Varná deska sklokeramická	0,161 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu	-	0,483
Lednice s mrazákem A++	0,555 kWh·den <sup>-1</sup>	24	0,555
Osvětlení 3·25 W	0,075 kWh·hod <sup>-1</sup>	4	0,300
Osvětlení 4·40 W	0,160 kWh·hod <sup>-1</sup>	3	0,480
Elektrická trouba	0,830 kWh·hod <sup>-1</sup>	0,5	0,415
Vysavač	1,320 kWh·hod <sup>-1</sup>	1/12	0,110
Žehlička (bavlna)	0,240 kWh·hod <sup>-1</sup>	1/6	0,040
Fén	1,320 kWh·hod <sup>-1</sup>	1/12	0,110
<b>Celková denní spotřeba el. energie E<sub>p,den</sub></b>			<b>4,750</b>

Tabulka 5: Denní spotřeba elektřiny pro malou domácnost

Spotřeba elektřiny ve výši 4,750 kWh za den znamená roční spotřebu elektrické energie 1 739 kWh pro přestupný rok. Po stanovení denní spotřeby lze vypočítat velikost FV pole s použitím rovnice 6, účinnosti z rovnice 9 a účinnost panelů Phono Solar, jejichž produktový list jsem uvedl v příloze 7. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v následující tabulce.

	Hodnota ozáření [kWh·m <sup>-2</sup> ·den <sup>-1</sup> ]	Velikost FV pole [m <sup>2</sup> ]
Průměrná hodnota	3,366	<b>8,48</b>
Maximální hodnota	5,354	<b>7,62</b>

Tabulka 6: Velikost FV pole pro malou domácnost

Při použití solárních panelů Phono Solar, jejichž účinnost byla použita pro výpočet FV pole, by to znamenalo použití 6 panelů pro průměrnou i maximální hodnotu ozáření. Pro tento počet panelů se špičkovým výkonem 325 Wp je instalovaný výkon systému 1,95 kWp. Pro výpočet kapacity se použije rovnice 8 a standardní hodnoty parametrů hloubka vybíjení baterie T<sub>DOD</sub> = 80 %, napětí akumulátorů U = 48 V, účinnost invertoru η<sub>INV</sub> = 95 % a účinnost distribuce elektrické energie η<sub>D</sub> = 98 %. V této domácnosti se počítá s baterií, která by pokryla celou denní spotřebu, protože většina elektřiny se spotřebovává, když Slunce nesvítí.

Pokrytí denní spotřeby	Kapacita baterie [Ah]
100 %	132,87
90 %	119,58
80 %	106,29

Tabulka 7: Kapacita baterie pro malou domácnost

Výsledné kapacitě uvedené v tabulce 7 by vyhovovalo například bateriové úložiště české firmy Olife Energy, a.s., model M nebo bateriové úložiště SMILE 5 od německé společnosti Alpha ESS Co., Ltd.

#### 4.4. Spotřeba střední domácnosti

V druhém modelovém příkladu bych se rád věnoval aplikaci ve střední domácnosti se čtyřmi členy domácnosti. Při použití elektrického bojleru v této domácnosti by znamenalo rapidní zvýšení denní spotřeby elektrické energie, ale mělo by to kladný vliv na kapacitu baterie. Velikost baterie by se nemusela měnit, protože bojler by se nahřál během dne přímo z FV systému. V modelovém příkladu uvažuji, že elektřina se využívá pro spotřebiče uvedené v následující tabulce. Takže pro ohřev vody a vytápění se využívá alternativních metod.

Domácí spotřebiče	Orientační spotřeba spotřebičů	Doba použití za den [h]	Spotřeba [kWh·den <sup>-1</sup> ]
Pračka A++	0,725 kWh·cyklus <sup>-1</sup>	-	1,450
Televize LED	0,107 kWh·hod <sup>-1</sup>	5	0,535
Televize LCD	0,170 kWh·hod <sup>-1</sup>	6	0,680
Myčka A++	0,900 kWh·cyklus <sup>-1</sup>	-	0,900
Mikrovlňná trouba	7,560 kWh·hod <sup>-1</sup>	1/12	0,630
Varná deska sklokeramická	0,161 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu	-	0,805
Lednice s mrazákem A++	0,555 kWh·den <sup>-1</sup>	24	0,555
Varná konvice	0,110 kWh·litr <sup>-1</sup> vody do varu	-	0,220
Fén	1,32 kWh·hod <sup>-1</sup>	0,25	0,330
Osvětlení 5·25 W	0,125 kWh·hod <sup>-1</sup>	8	1,000
Osvětlení 8·40 W	0,320 kWh·hod <sup>-1</sup>	3	0,960
Elektrická trouba	0,830 kWh·hod <sup>-1</sup>	1,5	1,245
Vysavač	1,320 kWh·hod <sup>-1</sup>	0,3	0,440
Žehlička (bavlna)	0,240 kWh·hod <sup>-1</sup>	0,25	0,060
Set-top-box	0,008 kWh·hod <sup>-1</sup>	6	0,048
PC	0,030 kWh·hod <sup>-1</sup>	4	0,120
Monitor LCD 17''	0,030 kWh·hod <sup>-1</sup>	4	0,120
Rádio	0,010 kWh·hod <sup>-1</sup>	2	0,020
<b>Celková denní potřeba el. energie E<sub>p,den</sub></b>			<b>10,118</b>

Tabulka 8: Denní spotřeba elektřiny pro střední domácnost

Spotřeba elektřiny ve výši 10,118 kWh za den ve výsledku znamená roční spotřebu elektřiny 3 703 kWh pro přestupný rok. Takže při známé spotřebě elektrické energie lze spočítat velikost FV pole stejně jako v předchozím příkladu. Výsledky jsou zaznamenány v následující tabulce.

	Hodnota ozáření [kWh·m <sup>-2</sup> ·den <sup>-1</sup> ]	Velikost FV pole [m <sup>2</sup> ]
Průměrná hodnota	3,366	<b>18,07</b>
Maximální hodnota	5,354	<b>16,22</b>

*Tabulka 9: Velikost FV pole pro střední domácnost*

Tato plocha znamená použití 13 panelů Phono Solar pro průměrnou hodnotu ozáření a 12 panelů Phono Solar pro maximální hodnotu ozáření. Instalovaný výkon tohoto systému by byl 4,23 kWp, reps. 3,90 kWp.

	Hodnota ozáření [kWh·m <sup>-2</sup> ·den <sup>-1</sup> ]	Velikost FV pole [m <sup>2</sup> ]
Průměrná hodnota	3,366	<b>29,49</b>
Maximální hodnota	5,354	<b>26,49</b>

*Tabulka 10: Velikost FV pole pro střední domácnost s bojlerem*

Při použití elektřiny k ohřevu vody (při použití bojleru 120 litrů) by denní spotřeba elektřiny vzrostla na 16,518 kWh, což znamená roční spotřebu 6 046 kWh. V tomto případě by to znamenalo použití 20 panelů Phono Solar při průměrném ozáření a 18 panelů při maximálním ozáření. Instalovaný výkon by se poté změnil na 6,50 kWp, resp. 5,85 kWp.

Pokrytí denní spotřeby	Kapacita baterie [Ah]
100 %	<b>283,02</b>
90 %	<b>254,72</b>
80 %	<b>226,41</b>

*Tabulka 11: Kapacita baterie pro střední domácnost*

Na kapacitu baterie by to nemělo vliv, protože bojler nebyl napájen z baterie, ale přímo z fotovoltaické elektrárny. Pro instalovaný výkon a kapacitu baterie této domácnosti je vhodné bateriové úložiště Home Premium 12 kWh od české firmy OIG Power s.r.o., jehož technické parametry jsou uvedeny v příloze 6, nebo úložiště Storion SMILE T10 od firmy Alpha ESS Co., Ltd.



## 5. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení se provádí u každé investice, aby se zjistilo, zda je výhodná nebo ne. Avšak ne vždy musí být investice výhodná, pokud je investice nevyhnutelná, tak se musí provést i za nevýhodné situace. V mé bakalářské práci považuji za předmět ekonomického hodnocení investici do solárního systému s baterií pro domácnost, pro kterou je žádoucí, aby investice byla výhodná. Protože při realizaci této investice se očekává finanční zisk v podobě úspor za elektřinu.

### 5.1. Finanční metody pro určení efektivnosti

K určení efektivnosti investice existují finanční metody, které vyhodnocují parametry investice, aby mohly posoudit její ekonomický efekt. Většina metod používá Cash flow, českým ekvivalentem hotovostní tok, což je účetní výkaz, zachycující tok peněžní hotovosti, tedy příjmy a výdaje, v průběhu určitého období. Rozlišujeme několik druhů metod, za základní hledisko v těchto metodách se považuje faktor času. Metoda se považuje za dynamickou, pokud se v ní uvažuje časová hodnota peněz jako například u metody čisté současné hodnoty, nebo za statickou, když neuvažuje časovou hodnotu peněz jako například u metody prosté doby návratnosti.[44]

#### 5.1.1. Čistá současná hodnota NPV

Čistá současná hodnota neboli NPV (Net Present Value) je jedna z nepoužívanějších a nejhodnějších metod pro hodnocení investic. Metoda zahrnuje celou životnost projektu a respektuje časovou hodnotu peněz. Výsledná hodnota říká, kolik peněz přinese realizace projektu. Čím je NPV vyšší, tím je investice výhodnější.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

<b>NPV</b>	Čistá současná hodnota	[Kč]
<b>CF<sub>t</sub></b>	Hotovostní tok (Cash flow) v roce t	[Kč]
<b>T</b>	Doba životnosti	[roky]
<b>t</b>	Určitý rok v době životnosti	[-]
<b>r</b>	Diskont	[-]

### 5.1.2. Vnitřní výnosové procento IRR

Vnitřní výnosové procento neboli IRR (Internal Rate of Return) je úzce spojené s NPV. Vnitřní výnosové procento je hodnota diskontní sazby, při které je NPV rovno nule. Čím vyšší IRR, tím je investice výhodnější.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (11)$$

<b>NPV</b>	Čistá současná hodnota	[Kč]
<b>IRR</b>	Vnitřní výnosové procento	[-]
<b>CF<sub>t</sub></b>	Hotovostní tok (Cash flow) v roce t	[Kč]
<b>T</b>	Doba životnosti	[roky]
<b>t</b>	Určitý rok v době životnosti	[-]

### 5.1.3. Výnosnost investice ROI

Výnosnost investice ROI, která se také označuje jako produktivita investice nebo rentabilita investice, určuje celkový zisk z provedené investice. ROI ukazuje poměr mezi příjmy investice a investovanými prostředky. Při této metodě požadujeme, aby byl index ROI maximální.

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^T CF_t}{T \cdot |IN|} \cdot 100 \quad (12)$$

<b>ROI</b>	Výnosnost investice	[%]
<b>CF<sub>t</sub></b>	Hotovostní tok (Cash flow) v roce t	[Kč]
<b>IN</b>	Investiční výdaj	[Kč]
<b>T</b>	Doba životnosti	[roky]
<b>t</b>	Určitý rok v době životnosti	[-]

### 5.1.4. Doba návratnosti PP

Doba návratnosti PP je nejjednodušší a nejrozšířenější metodou posouzení investice. Tato doba popisuje období, za které se suma hotovostních toků vyrovná počátečním investičním výdajům. Nejjednodušší variantou je prostá doba návratnosti (rovnice 13), její hlavní nevýhodou je zanedbání časové hodnoty peněz. To napravuje reálná doba návratnosti (rovnice 14), která se počítá pomocí současných hodnot jednotlivých roční hotovostních toků.

Vzorec pro výpočet prosté doby návratnosti:

$$IN = \sum_{t=0}^{PP} CF_t \quad (13)$$

Vzorec pro výpočet reálné doby návratnosti:

$$IN = \sum_{t=0}^{PP} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (14)$$

<b>PP</b>	Doba návratnosti	[roky]
<b>CF<sub>t</sub></b>	Hotovostní tok (Cash flow) v roce t	[Kč]
<b>IN</b>	Investiční výdaj	[Kč]
<b>t</b>	Určitý rok v době životnosti	[-]
<b>r</b>	Diskont	[-]

## 5.2. Nová zelená úsporám

Investici do fotovoltaického systému s baterií podporuje stát prostřednictvím dotujícího programu nová zelená úsporám. Jedná se o program Ministerstva životního prostředí, který podporuje například snižování energetické náročnosti obytných budov a stavbu domů s nízkou energetickou náročností. Jeho hlavním cílem je vylepšit životní prostředí. Dotace mohou čerpat vlastníci nebo stavebníci domů do konce roku 2021. K celkové částce, která je uvedena v následující tabulce, je poskytováno ještě 5 000 Kč na zpracování odborného posudku.

Typ zdroje	Výše dotace [Kč]
FV systém s akumulací energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1700 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	70 000
FV systém s akumulací energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	100 000
FV systém s akumulací energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4000 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$	150 000

Tabulka 12: Nová zelená úsporám výše dotace (upraveno) [45]

Pro získání dotace je nutné splnit určité podmínky. Tyto podmínky například stanovují:[46]

- Maximální instalovaný výkon na 10 kWp (není nutná licence)
- Účinnost komponentů systému například účinnost měniče minimálně 94 %
- Minimální účinnost fotovoltaických modulů
- Míru využití vyrobené elektřiny na 70 % z celkového teoretického zisku
- Minimální měrnou kapacitu baterií na  $1,25 \text{ kWh}\cdot\text{kWp}^{-1}$  pro lithiové baterie

### 5.3. Distribuční sazby elektrické energie

Za faktor, který ovlivní výši uspořené částky, lze považovat ceny v různých distribučních sazbách, které domácnost využívá. Vybral jsem tři nejpoužívanější distribuční sazby D01d, D02d a D25d s cenami od tří dominantních dodavatelů ČEZ Prodej, a.s., E.ON Energie, a.s., a Pražská energetika, a.s. Ceny v následující tabulce jsou uvedeny pro distribuční území ČEZ Distribuce, a.s.

Distribuční sazba	Tarif	Dodavatel elektřiny		
		E.ON Energie, a.s. [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]	ČEZ Prodej, a.s. [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]	Pražská energetika, a.s. [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]
D01d	vysoký (vč. 21 % DPH)	5,85	5,84	5,53
D02d	vysoký (vč. 21 % DPH)	5,25	5,16	4,84
D25d	vysoký (vč. 21 % DPH)	5,88	5,24	5,26
	nízký (vč. 21 % DPH)	2,58	3,03	2,26

Tabulka 13: Ceny elektřiny v jednotlivých distribučních sazbách (upraveno) [47–49]

U některých sazeb jsou určeny podmínky pro její uplatnění. Sazba D01d je jednotarifová sazba pro malou spotřebu. Vůbec nejrozšířenější v České republice je distribuční sazba D02d, kterou používají dvě třetiny domácností. Pro tuto sazbu není nutné splnit určité podmínky, jedná se o jednotarifovou sazbu. Oproti tomu sazba D25d již nabízí dva tarify, nízký a vysoký. Platnost nízkého tarifu se řídí operativně a platí 8 hodin v průběhu dne. Pro její uplatnění je nutné, aby v odběrném místě byl řádně instalován elektrický akumulární spotřebič pro vytápění objektu nebo elektrický akumulární spotřebič pro ohřev užitkové vody a odběratel musí technicky zablokovat těchto akumulárních spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu.

### 5.4. Produkce elektrické energie FV systému

Pro určení roční úspory za elektřinu je nezbytné zjistit produkci elektrické energie vypočítaného FV systému. Pro výpočet vyrobené elektrické energie se použije vzorec:

$$E = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR \quad (15)$$

<b>E</b>	Vyrobená elektrická energie	[kWh]
<b>S</b>	Plocha solárních panelů	[m <sup>2</sup> ]
<b>η</b>	Účinnost solárních panelů	[-]
<b>H</b>	Dopadající sluneční záření na panely	[kWh·m <sup>-2</sup> ]
<b>PR</b>	Performance ratio	[-]

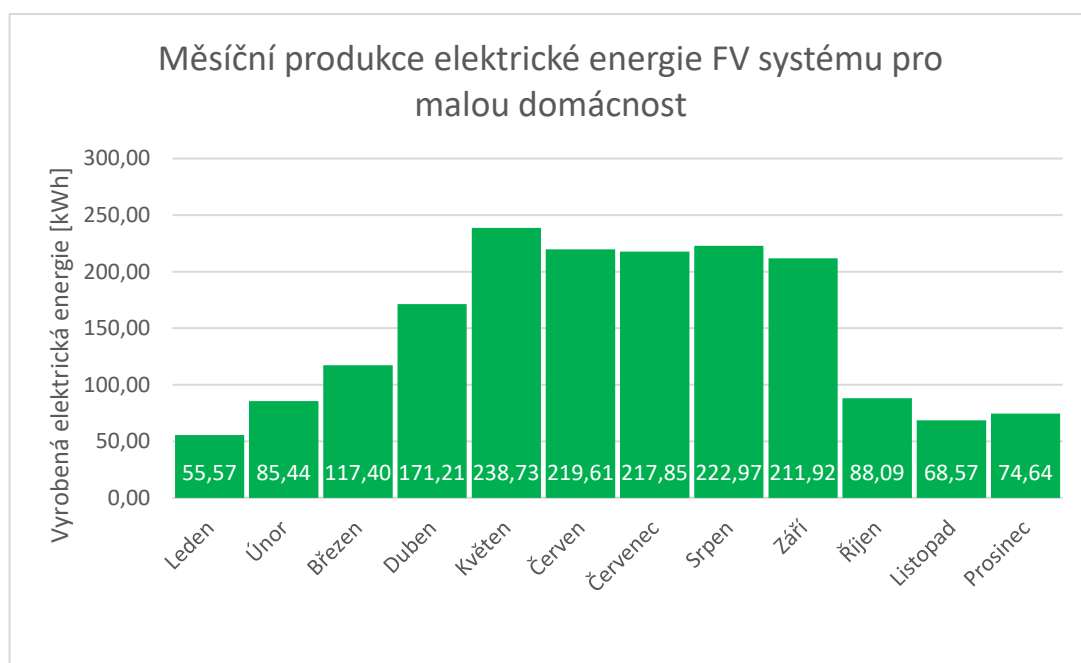


Před výpočtem se určí hodnoty jednotlivých veličin. Stanovení plochy panelů S se určí jednoduše podle jejich počtu a rozměrů z produktového listu, kde je též stanovena jejich účinnost  $\eta$ . Hodnoty dopadajícího slunečního záření byly popsány již dříve v tabulce 1, ve které jsou uvedeny hodnoty z databáze Photovoltaic Geographical Information System.<sup>1</sup> Pro výpočet byla použita hodnota performance ratio  $PR = 0,8$ , která byla stanovena z procentuálních úbytků komponentů ve FV systému a přičtení opomenutých rizik.

## 5.5. Zhodnocení malé domácnosti

Pro tuto domácnost se počítá s použitím 6 panelů o celkové energeticky aktivní ploše FVE 8,99 m<sup>2</sup>. Panely Phono Solar mají účinnost 20 %, která je uvedena v jejich produktovém listu (příloha 7), hodnota dopadajícího záření činí 1231,92 kWh·m<sup>-2</sup>. Po zjištění parametrů se provede výpočet:

$$E = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR = 8,99 \cdot 0,2 \cdot 1231,92 \cdot 0,80 = 1\,771,99 \sim 1\,772 \text{ [kWh]} \quad (16)$$



Graf 1: Očekávaná měsíční produkce elektrické energie

<sup>1</sup> JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

Investiční náklady se vyšplhaly na částku 188 389,78 Kč, která obsahuje všechny komponenty FV systému, jak je uvedeno v následující tabulce. Největší podíl na investičních nákladech má jednoznačně bateriové úložiště, které stojí 140 972 Kč. Další nákladnou položkou je investice do použitých solárních panelů, které vyšly na 29 856,78 Kč. Další finanční položkou je nosná konstrukce, montážní práce a elektroinstalace. Toto jsou náklady, které je nutné učinit na začátku projektu. Pro takový systém s roční výrobou větší než 1 700 kWh se vztahuje dotace z programu NZÚ ve výši 70 000 Kč. Ovšem v průběhu investice se mohou vyskytnout náklady spojené s provozem, které jsou nezbytné pro bezpečné a dlouholeté fungování systému.

Položky investice do FV systému	Množství	Jed.	Cena za j. [Kč·j <sup>-1</sup> ] (vč. DPH)	Celková cena [Kč] (včetně DPH)
Bateriové úložiště Alpha EES SMILE 5	1	ks	140 972,00	140 972,00
Solární panely Phono Solar MWT 325 Wp	6	ks	4 976,13	29 856,78
Nosná konstrukce na šikmou taš. střechu	6	ks	1 228,50	7 371,00
Montáž a instalace	1,95	kWp	4 200,00	8 190,00
Elektroinstalace	1	ks	2 000,00	2 000,00
<b>Celkem</b>				<b>188 389,78</b>

Tabulka 14: Položky investice pro malou domácnost

Pro určení efektivnosti investice se musí stanovit příjmy domácnosti, které přinese investice do FV systému s baterií, což v tomto případě bude úspora za elektrickou energii. Pro výpočet úspory se použije výsledná roční výroba elektrické energie z rovnice 16. Takže při použití ceny elektřiny od dodavatele 5,16 Kč·kWh<sup>-1</sup> včetně DPH bude úspora za elektrickou energii činit zaokrouhleně 9 144 Kč za rok při uvažování spotřeby celé vlastní výroby. Ovšem výkon panelů není v průběhu životnosti konstantní, ale s rostoucím stářím se výkon snižuje. Výrobce použitých panelů Phono Solar garantuje záruku 30 let na lineární výkon s tím, že první rok zaručuje 97,5 % maximálního výkonu, druhý rok 96,8 % maximálního výkonu a každý další rok pokles o 0,6 % maximálního výkonu. Se stárnutím systému souvisí pravidelná revize fotovoltaiky, jejíž lhůty jsou u vedeny v normě ČSN 33 1500 *Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení*. To znamená pro vlastníka fotovoltaiky každé tři roky náklady na revizi, která byla poptána za cenu 2 420 Kč včetně DPH. V ceně revize je zahrnuta celková vizuální kontrola, termovizní měření panelů, dotažení DC/AC spojů, odstranění drobných závad a vyhodnocení případných chybových hlášení. V souvislosti s revizí se vyplatí myslet na neočekávané výdaje při nalezení problému v systému, na které je vyhrazena částka 1 590 Kč včetně DPH za typické druhy oprav. V dnešní době není neobvyklé zahrnout FVE do pojištění nemovitosti, tento příplatek je často stanoven na 500 Kč.

Pro tuto investici se počítá s dobou životnosti 30 let, na kterou jsou navrženy solární panely i bateriové úložiště Storion SMILE 5, které používá technologii lithiových baterií LiFePO<sub>4</sub> a při DoD 80 % mají životnost 12 000 cyklů, což v přepočtu znamená téměř 33 let. Cyklem se rozumí jedno nabití a jedno vybití baterie. Po stanovení nákladů a příjmů lze stanovit roční Cash flow, ze kterého lze následně vypočítat čistou současnou hodnotu a vnitřní výnosové procento. Diskont pro tuto investici byl stanoven na 4 %. Diskont určuje míru zhodnocení investice, dále je také určen mírou rizika investice nebo cenou ušlé příležitosti. Proto by měl být diskont vyšší než to, co mohou přinést více bezpečné investice, jakou jsou například státní dluhopisy. Dále je nutné počítat s inflací. Níže jsou uvedeny výpočty NPV pro variantu s dotací i bez dotace, aby byl zdůrazněn vliv dotace z programu NZÚ na investici.

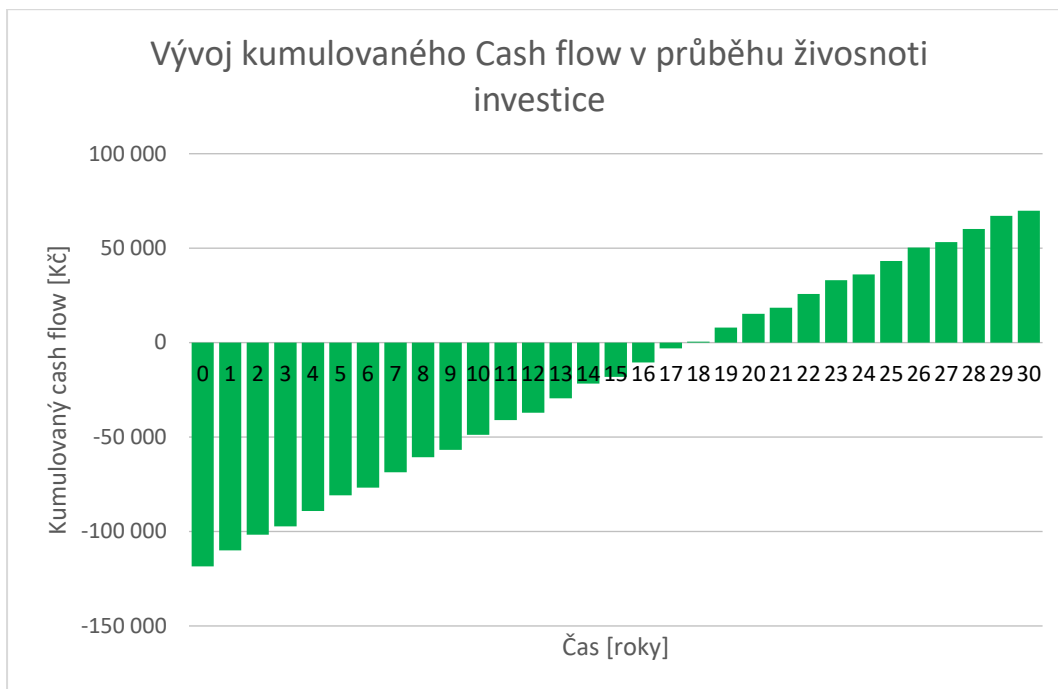
Výpočet čisté současné hodnoty pro variantu s dotací:

$$NPV_{s\ dotací} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{30} \frac{CF_t}{(1+0,04)^t} = -6\ 271,26\ Kč \quad (17)$$

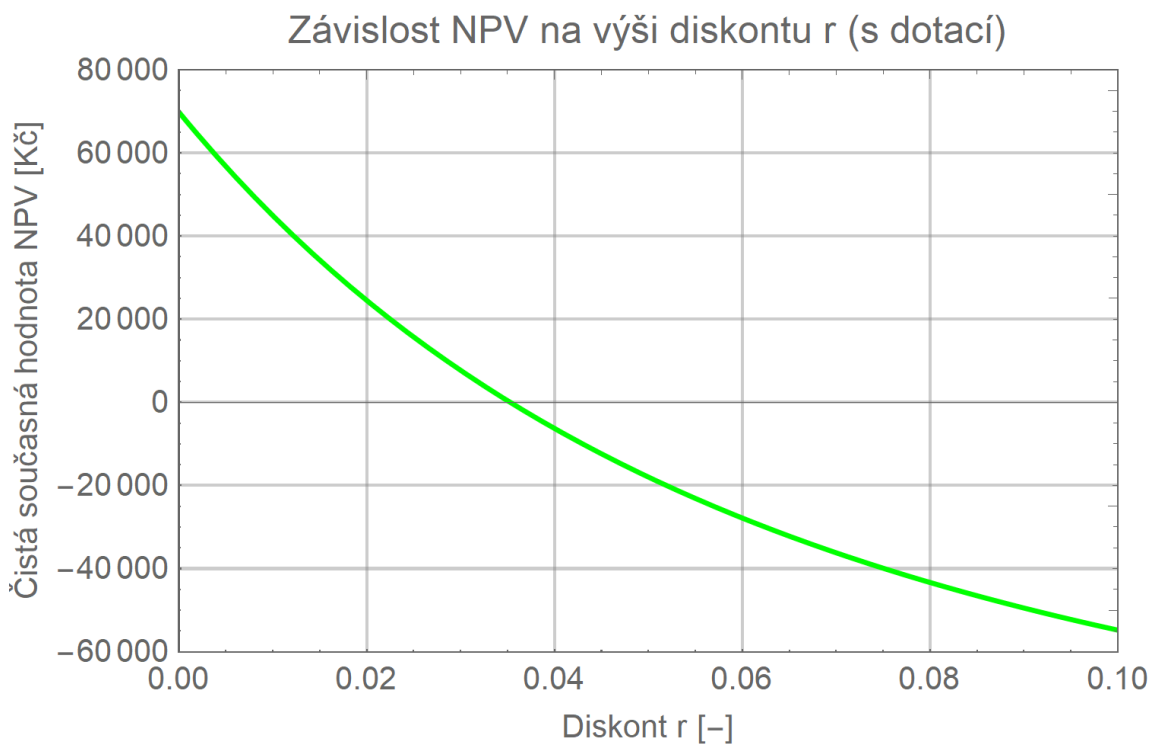
Výpočet čisté současné hodnoty pro variantu bez dotace:

$$NPV_{bez\ dotace} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{30} \frac{CF_t}{(1+0,04)^t} = -76\ 271,26\ Kč \quad (18)$$

Z výše uvedených rovnic je patrná lineární závislost čisté současné hodnoty NPV na velikosti investičních nákladů, protože při počítání s dotací byly investiční náklady poníženy právě o 70 000 Kč. Vnitřní výnosové procento je výše diskontní sazby, pro kterou je NPV nulové. To znamená pro tuto investici s dotací IRR = 3,53 %. Dále byl stanovena výnosnost investice s dotací ROI = 1,97 %, které označuje zisk z investice. Index ROI je v kladných hodnotách, ale je nutné si uvědomit, že tento ukazatel zanedbává časovou hodnotu peněz. Z následujícího grafu, který znázorňuje vývoj kumulovaného Cash flow přes celou životnost investice, lze vyčíst prostá doba návratnosti. Pokud se použije výpočet pomocí rovnice 14 pro reálnou dobu návratnosti, která zohledňuje časovou hodnotu peněz, tak tato doba návratnosti není v časovém období ekonomické životnosti. To platí pro hodnotu diskontu 4 %, která byla stanovena.



Graf 2: Vývoj kumulovaného Cash flow s využitím dotace pro malou domácnost



Graf 3: Závislost NPV na diskontu r pro malou domácnost (s dotací)

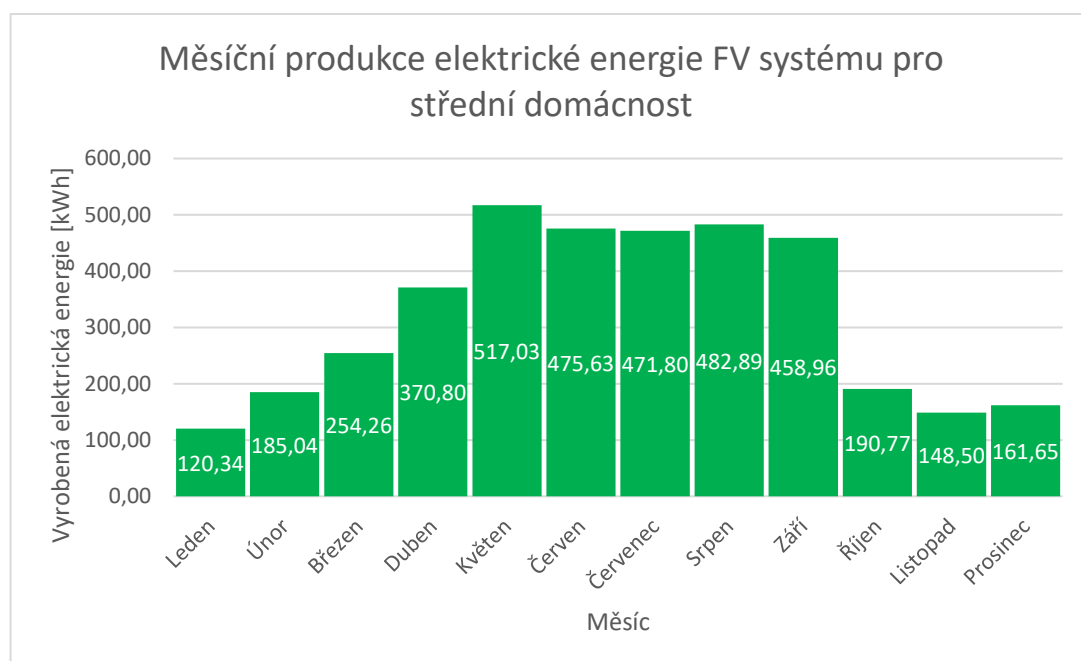
Na závěr k investici do FV systému s akumulací do lithiových baterií lze říci, že se OZE zatím snaží o konkurenceschopnost na trhu s elektřinou. Protože při stávajících cenách elektřiny a lithiových baterií nejsou tyto investice dost nebo vůbec výhodné.

To vyplývá také z vypočtených ukazatelů, protože čistá současná hodnota pro stanovený diskont 4 % vychází -6 271,26 Kč pro variantu s dotací. Z tohoto pohledu nelze akceptovat tuto investici jako výhodnou. Z pohledu vnitřního výnosového procenta, které popisuje diskontní sazbu, pro kterou je NPV rovno 0. Hodnota IRR vychází nižší než hodnota stanoveného diskontu, která byla stanovena na začátku projektu. S ohledem na tyto skutečnosti nelze doporučit tuto investici.

## 5.6. Zhodnocení střední domácnosti

Pro tuto domácnost se počítá s použitím 13 panelů o celkové energeticky aktivní ploše FVE 19,47 m<sup>2</sup>. Panely Phono Solar mají účinnost 20 %, která je uvedena v jejich produktovém listu (příloha 7), hodnota dopadajícího záření činí 1231,92 kWh·m<sup>-2</sup>. Po zjištění parametrů se provede výpočet:

$$E = S \cdot \eta \cdot H \cdot PR = 19,47 \cdot 0,2 \cdot 1231,92 \cdot 0,80 = 3\,837,68 \sim 3\,838 \text{ [kWh]} \quad (19)$$



Graf 4: Očekávaná měsíční produkce elektrické energie

Pro tento projekt se investiční náklady vyšplhaly na 417 958,19 Kč. Toto způsobily hlavně náklady na velké bateriové úložiště, které představuje téměř 77 % nákladů celé investice. Další položky investice jsou solární panely s pořizovací částkou 64 689,69 Kč, nosná konstrukce pro panely za 15 502,50 Kč a montáž s instalací za 17 766 Kč. V tomto případě není uvedena cena elektroinstalace, protože je již zahrnuta v celkové ceně bateriového úložiště. S touto investicí jsou spojeny náklady na údržbu, kontrolu a pojištění

systemu. Další náklady se musí vynaložit ve spojení s bateriovým úložištěm, protože CES Battery Box nepoužívá stejně účinné bateriové technologie jako Storion SMILE 5, které bylo použito v předchozím případě. Takže je nutné po uplynutí životnosti baterií investovat do nových bateriových paketů. Pro tuto domácnost s výrobou pře 3 000 kWh za rok je možné požádat o dotaci z programu NZÚ ve výši 100 000 Kč.

Položky investice do FV systému	Množství	Jed.	Cena za j. [Kč·j <sup>-1</sup> ] (vč. DPH)	Celková cena [Kč] (včetně DPH)
Bateriové úložiště CES Battery Box 12 kWh	1	ks	320 000,00	320 000,00
Solární panely Phono Solar MWT 325 Wp	13	ks	4 976,13	64 689,69
Nosná konstrukce na šikmou taš. střeche	13	ks	1 192,50	15 502,50
Montáž a instalace	4,23	kWp	4 200,00	17 766,00
<b>Celkem</b>				<b>417 958,19</b>

Tabulka 15: Položky investice pro střední domácnost

Příjmy této domácnosti v podobě úspory za elektřinu lze spočítat s pomocí hodnoty roční vyrobené elektřiny systému z rovnice 19 a ceny elektřiny platné pro rok 2020, která činí 5,16 Kč·kWh<sup>-1</sup>. Takže výsledná roční úspora za elektřinu činí zaokrouhleně 19 804 Kč při uvažování spotřebování celé vlastní produkce. Ovšem je nutné počítat s poklesem výkonu v průběhu let životnosti investice. Výrobce panelů garantuje 30 let lineárního výkonu s tím, že první rok garantuje 97,5 % maximálního výkonu, druhý rok 96,8 % maximálního výkonu a další každý rok úbytek 0,6 % maximálního výkonu stejně jako v případě malé domácnosti. S tímto projektem souvisí náklady v průběhu životnosti investice, jako jsou pravidelné revize fotovoltaiky každé tři roky podle normy *ČSN 33 1500 Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení*. Tato revize, která obnáší celkovou vizuální kontrolu, termovizní měření panelů, dotažení DC/AC spojů, odstranění drobných závad a vyhodnocení případných chybových hlášení, byla poptána za 3 560 Kč. Dále jsou v souvislosti s revizí vyměřeny náklady 1 590 Kč na případné opravy problémů nalezených při revizi. Dále je počítáno s pojištěním FVE v rámci pojištění nemovitosti ve výši 500 Kč. Oproti případu malé domácnosti, kde byly panely i baterie navrženy na 30 let, zde použité bateriové úložiště garantuje 6 000 cyklů při 80 % DoD, což odpovídá životnosti přibližně 16 roků. Takže bude nutné provést v 17. roce investici do nových baterií ve výši 183 920 Kč. Po stanovení ročních Cash flow lze vypočítat čistou současnou hodnotu NPV a vnitřní výnosové procento IRR. Diskont byl stanoven na 4 % stejně jako v případě malé domácnosti.

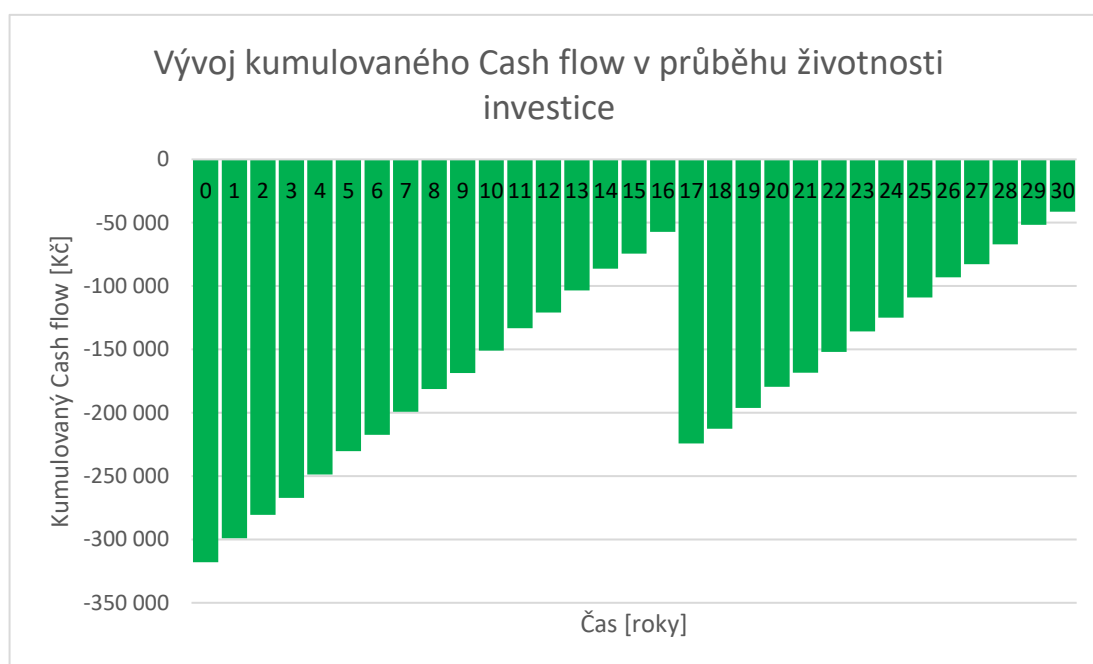
Výpočet čisté současné hodnoty pro variantu s dotací:

$$NPV_{s\ dotací} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{30} \frac{CF_t}{(1+0,04)^t} = -139\ 875,45\ Kč \quad (20)$$

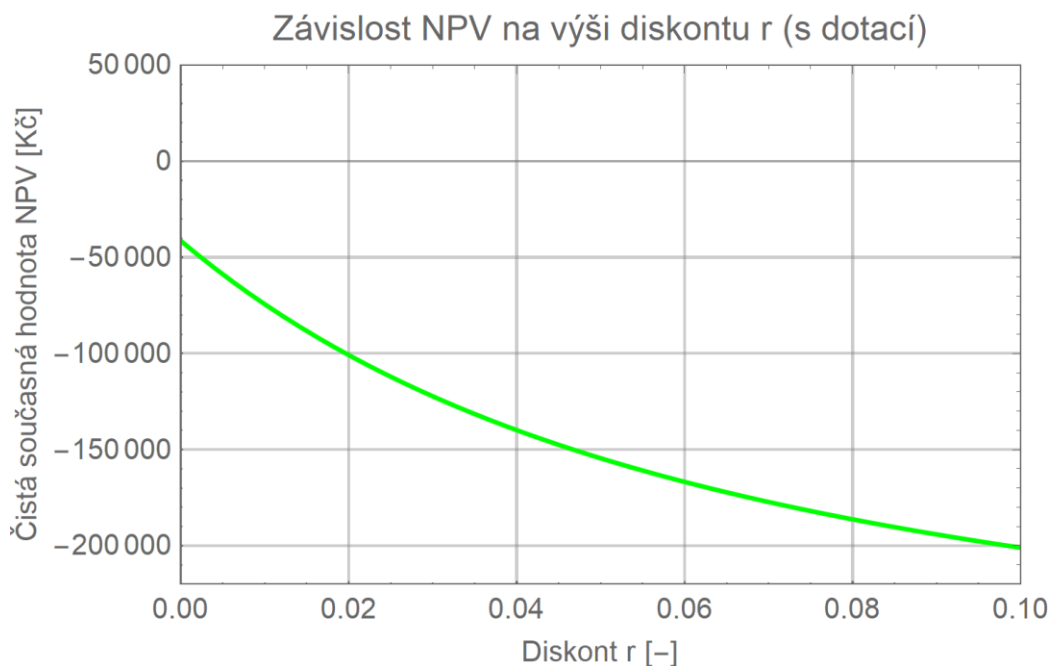
Výpočet čisté současné hodnoty pro variantu bez dotace:

$$NPV_{bez\ dotace} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{30} \frac{CF_t}{(1+0,04)^t} = -239\ 875,45\ Kč \quad (21)$$

Z předchozích rovnic, které uvádí výpočet NPV pro variantu s dotací a bez ní, je patrné, že investice do tohoto systému pro tuto domácnost není výnosná. Vnitřní výnosové procento pro tuto investici vychází IRR = -0,99 % a výnosnost investice ROI = -0,43 %. Z toho lze usoudit, že vnitřní výnosové procento značně nevyhovuje předem stanovenému diskontu, proto tento ukazatel také nedoporučuje provést investici do FV systému. Z následujícího grafu je vidět, že doba návratnosti projektu není v období životnosti investice, což hovoří proti investici.



Graf 5: Vývoj kumulovaného Cash flow s využitím dotace pro střední domácnost



Graf 6: Závislost NPV na diskontu r pro střední domácnost (s dotací)

Po stanovení ukazatelů efektivnosti investice do FV systému s akumulací do lithiových baterií pro střední domácnost nelze doporučit tento projekt pro investici, protože všechny ukazatele jednoznačně nepodporují investici. Hlavním důvodem nevýhodnosti projektu jsou stávající cena elektřiny a cena lithiových baterií na trhu. Ovšem tyto ceny se v následujících letech budou pravděpodobně měnit.

## 5.7. Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je postup, který zkoumá proměnlivé nebo nejisté předpoklady investice a jejich následný vliv na některý z ukazatelů. V rámci této práce bude analyzován vliv změn na čistou současnou hodnotu. K jejímu vypracování je nutné identifikovat zásadní předpoklady, které byly použity pro zhodnocení investice. Změnou vybraných předpokladů lze stanovit jejich hodnoty, pro které se stává investice výhodnou a rentabilní.

Hlavní investiční položkou projektu je rozhodně bateriové úložiště, jehož součástí jsou lithiové baterie. Prvním proměnlivým předpokladem je tedy zvolena cena lithiových baterií, protože se očekává její pokles v následujících letech. Pro účely citlivostní analýzy budou ceny baterií, respektive ceny bateriového úložiště zvyšovány, resp. snižovány o částku 5 000 Kč. V následující tabulce jsou uvedeny ceny bateriového úložiště a pro ně odpovídající NPV.[50, 51]

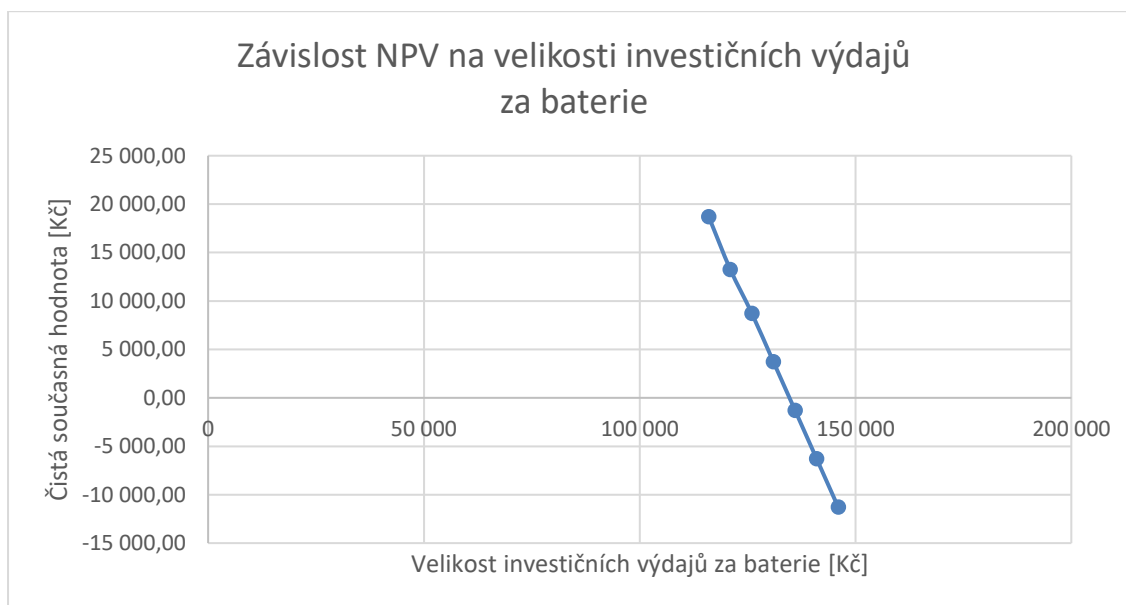


Malá domácnost		Střední domácnost	
Cena bateriového úložiště [Kč]	Čistá současná hodnota NPV [Kč]	Cena bateriového úložiště [Kč]	Čistá současná hodnota NPV [Kč]
145 970,00	-11 271,26	325 000,00	-147 442,31
140 970,00	-6 271,26	320 000,00	-139 875,45
135 970,00	-1 271,26	315 000,00	-132 308,58
130 970,00	3 728,74	310 000,00	-124 741,72
125 970,00	8 728,74	305 000,00	-117 174,85
120 970,00	13 278,74	300 000,00	-109 607,98
115 970,00	18 728,74	295 000,00	-102 041,12

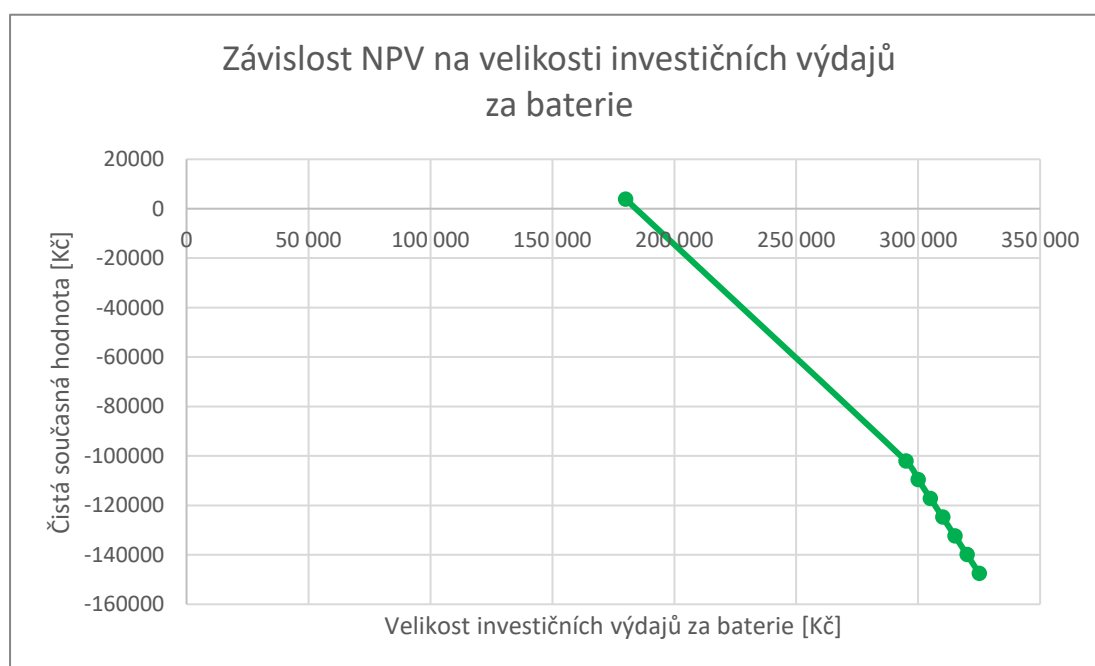
*Tabulka 16: Vliv cen lithiových baterií na čistou současnou hodnotu NPV*

Při pohledu na výsledky uvedené v tabulce 16 lze usoudit, že pro malou domácnost čistá současná hodnota nabývá kladných hodnot již při druhém snížení. Nulové čisté současné hodnoty je dosaženo přibližně při snížení ceny o 6 272 Kč, což představuje pokles ceny lithiových baterií přibližně o 6,5 % oproti ceně 96 960 Kč za baterie, které byly použity. Tento pokles nelze s jistotou určit za možný, ale při pohledu na pokles v předešlých letech se zdá reálný. Protože pokles ceny baterií v roce 2019 činil 13 % a v letošním roce se očekává pokles 10,5 %. Jiná situace nastává pro střední domácnost, kde byly použity větší baterie. Pro tento systém musela být cena baterií snížena devatenáctkrát, aby bylo dosaženo kladné čisté současné hodnoty. Pro nulovou hodnotu NPV by cena baterií musela klesnout přibližně na 92 428 Kč, to by znamenalo pokles 50 % oproti ceně baterií 183 920 Kč, která byla uvažována na začátku projektu.[52–54]

Hodnoty z přechozí tabulky byly graficky zobrazeny v následujících dvou grafech. Z prvního grafu je patrná lineární závislost čisté současné hodnoty na velikosti vstupní investice. V případě druhého grafu není na první pohled lineární závislost patrná, protože pro střední domácnost byla nutná investice do baterií v průběhu životnosti. Tato skutečnost mohla zkreslit průběh grafu.



*Graf 7: Závislost NPV na velikosti investičních výdajů do baterií pro malou domácnost*



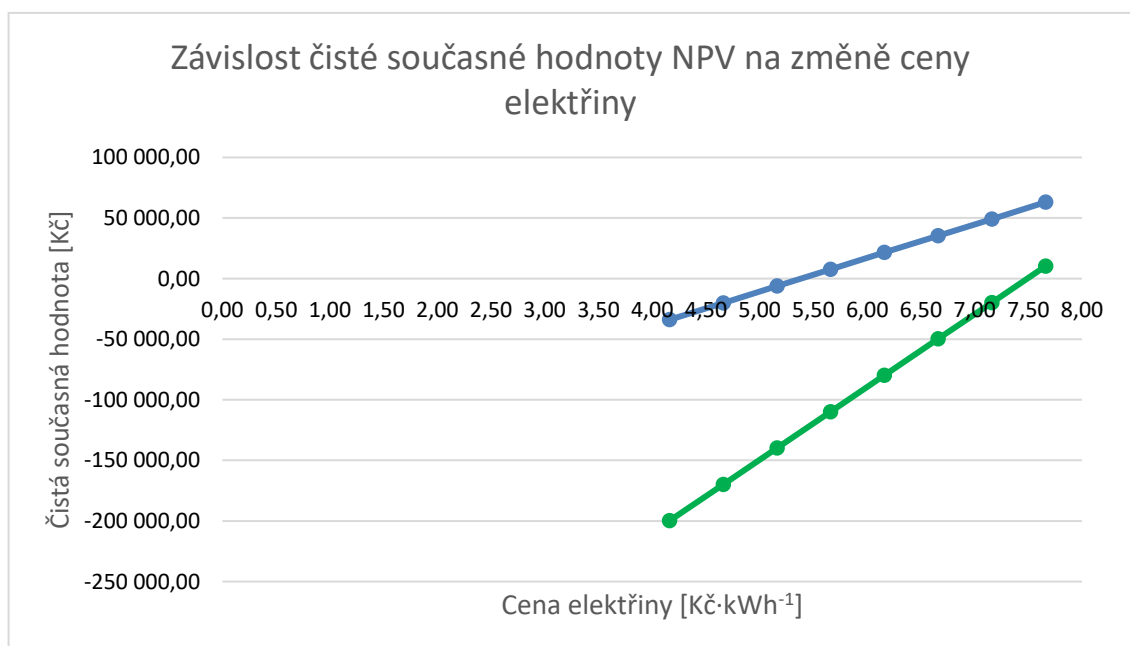
*Graf 8: Závislost NPV na velikosti investičních výdajů do baterií pro střední domácnost*

Druhým důležitým předpokladem, který se v budoucnu může měnit a výrazně ovlivní výši úspory za elektrickou energii, která následně ovlivní čistou současnou hodnotu projektu, proto cena elektřiny bude snižována, resp. zvyšována o  $0,50 \text{ Kč}\cdot\text{kWh}^{-1}$ . Pro tyto změny bude spočítána odpovídající čistá současná hodnota NPV, aby se určila cena elektřiny, pro kterou by projekt byl uskutečnitelný. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Cena elektřiny [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]	Čistá současná hodnota NPV [Kč]	
	Malá domácnost	Střední domácnost
4,16	-33 980,14	-199 890,31
4,66	-20 125,70	-169 882,88
5,16	-6 271,26	-139 875,45
5,66	7 583,18	-109 868,02
6,16	21 437,62	-79 860,59
6,66	35 292,07	-49 853,16
7,16	49 146,51	-19 845,73
7,66	63 000,95	10 161,70

Tabulka 17: Ceny elektřiny upravené pro citlivostní analýzu

Z výsledků je patrné, že pro malou domácnost by stačilo nepatrné zvýšení ceny elektřiny na 5,39 Kč·kWh<sup>-1</sup>, to by znamenalo nárůst přibližně o 4,3 % oproti stávající ceně. U střední domácnosti by cena musela vzrůst na 7,50 Kč·kWh<sup>-1</sup>, což by znamenalo nárůst o 45,4 % oproti ceně použité ve výpočtech. Z toho plyne, že při stávajících cenách elektřiny nejsou investice výhodné. Tato navýšení nelze s jistotou určit za možná či nemožná, ale očekává se, že cena elektřiny bude v dalších letech stoupat. To bude zejména způsobeno zařazením obnovitelných zdrojů energie a dekarbonizací. Hodnoty z tabulky 18 jsou vyobrazeny v následujícím grafu.



Graf 9: Závislost čisté současné hodnoty NPV na ceně elektřiny

Výsledkem ekonomického zhodnocení investic do FV systému s akumulací elektřiny do baterií potvrzují fakt, že obnovitelné zdroje energie stále bojují o konkurenceschopnost s ostatními zdroji elektrické energie. Pro investici v malé domácnosti pro stanovený diskont 4 % byla vypočítána čistá současná hodnota, která vyšla -6 271,26 Kč pro variantu s dotací.

Vnitřní výnosové procento pro investici s dotací bylo stanoveno na 3,53 %, což neodpovídá stanovenému diskontu. Z výsledků těchto dvou ukazatelů nelze doporučit investorovi tento projekt. Pro investici ve střední domácnosti pro diskont 4 % byla stanovena čistá současná hodnota na -139 875,45 Kč pro investici s dotací. Vnitřní výnosové procento bylo vypočteno na -0,99 %. Takže ani tento projekt nelze doporučit pro investici. Pro obě domácnosti byla provedena citlivostní analýza na proměnlivé faktory, za které byly určeny cena elektřiny a cena lithiových baterií. Z výsledků citlivostní analýzy lze říci, že při zvyšování cen elektřiny a snižování cen lithiových baterií by se investice staly výhodné pro investora.

# Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala solární energií a FV systémem s akumulací do lithiových baterií pro použití v domácnosti. Teoretická část postupně popisovala solární energii, bateriová úložiště a jejich použití se solárními panely. Praktická část se věnovala výpočtu velikosti FV pole a kapacity baterie pro pokrytí namodelovaní denní spotřeby elektrické energie. V ekonomické část byla věnována pozornost zhodnocení investice do solárního systému s baterií. Zhodnocení se provádělo pomocí ekonomických ukazatelů efektivnosti, jako je čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a výnosnost investice. V této části byla ještě vypracována citlivostní analýza.

V praktické části byla namodelována denní spotřeba domácnosti, aby bylo možné stanovit velikost FV pole a kapacitu baterie pro její pokrytí. Pro projekt byly použity solární panely Phono Solar s účinností 20 %. Pomocí rozměrů solárních panelů uvedených v produktovém listu byl určen potřebný počet panelů a tomu odpovídající výkon potřebného systému. Velikost kapacity baterie byla vypočítána pro 3 případy pokrytí denní spotřeby. Výpočet kapacity byl proveden pro 100 %, 90 % a 80 % pokrytí denní spotřeby.

V ekonomické části byly stanoveny investiční náklady FV systému z praktické části a úspora za elektrickou energii, kterou vyrobil navržený solární systém. Výpočty počítaly se současnou cenou elektrické energie, která je 5,16 Kč za spotřebovanou kilowatthodinu. Z těchto hodnot bylo stanoveno roční hotovostní tok Cash flow. Pomocí Cash flow byla vypočítána čistá současná hodnota investice a její vnitřní výnosové procento. Pro výpočty čisté současné hodnoty byl stanoven diskont na 4 %. Výsledkem zhodnocení obou domácností vyšlo nepříznivě pro investice, protože investice do navržených systému by nebyly rentabilní. Na rentabilitu investice měla největší vliv hlavně současná cena elektrické energie a stávající cena lithiových baterií. Bohužel při současných výkupních cenách elektřiny jsou baterie nutnou součástí pořizovaných fotovoltaických systémů. Ceny elektrické energie a lithiových baterií se v následujících letech mohou měnit, proto byla vypracována citlivostní analýzy, která měla za úkol ukázat vliv jejich cen na výslednou rentabilitu investice. Při vypracování analýzy byly stanoveny ceny obou šetřených parametrů, při kterých došlo ke změně čisté současné hodnoty do kladných čísel. Pro malou domácnost by se cena elektřiny musela zvýšit na 5,39 Kč za kilowatthodinu nebo by cena lithiových baterií musela snížit o 6 272 Kč. V případě střední domácnosti by cena elektřiny musela stoupnout na 7,50 Kč za kilowatthodinu nebo by cena lithiových baterií musela

klesnout o 92 428 Kč. Není možné určit, zdali tyto ceny jsou reálné nebo nereálné, protože není známa přesná změna cen vybraných parametrů v blízké budoucnosti.

Z výsledků ekonomické části vyplývá závěr, že se nedoporučuje provést tyto investice z pohledu investora. Investice by investorovi nepřinesly žádný zisk, takže jsou ztrátové. Jelikož by investorem v takovémto případě byla rodina, tak je investice do projektu nežádoucí. Pokud by se ceny elektřiny a lithiových baterií vyvíjely, jak bylo popsáno v citlivostní analýze, dala by se investice do projektů domácího bateriového úložiště se solárními panely doporučit.

Výsledky této práce potvrdili fakt, že obnovitelné zdroje energie stále soupeří s konvenčními zdroji energie o jejich konkurenceschopnost. Proto v minulých letech nenastal velký nárůst počtu fotovoltaických elektráren v domácnostech. V České republice se pomocí dotací z programu NZÚ snaží tento počet zvýšit. Po vypracování této práce myslím, že v následujících letech by se v podpoře obnovitelných zdrojů energie mělo pokračovat, aby mohlo být FVE pro domácnost dostupnější. Tomu by mohlo pomoci zvyšování cen elektrické energie a snižování cen lithiových baterií nebo nalezení nových technologií v oblasti baterií.

Závěrem bych rád dodal, že práce nabízí možnosti pro pokračování tématu v diplomové práci. Jednou z možností může být zkoumání vlivu rostoucí elektromobility na spotřebu rodinné domácnosti a s tím spojené použití FVE s baterií, zahrnutí systému s ohřevem vody nebo pro důkladnější analýzu objektu, který se chystá k výstavbě. Oblast obnovitelných zdrojů energie pro mě zůstává stále velmi zajímavou. Po vypracování práce mě zaujala oblast akumulace elektrické energie do lithiových baterií, které se příkládá velký význam pro budoucí energetiku a které bych se v budoucnu možná rád věnoval.

# Seznam použité literatury a pramenů

- [1] MASTNÝ, Petr. Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie. *Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně* [online]. 2011 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/01\\_pr.pps](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/01_pr.pps).
- [2] INFO@AION.CZ, AION CS-. 165/2012 Sb. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [3] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [4] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [6] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [7] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ, Milan TOMESŠ a EKOWATT (ORGANIZACE). *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [8] *Solar resource maps of Czech Republic* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/czech-republic>
- [9] BECHNÍK, Bronislav. Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku. *TZB-info* [online]. 9. březen 2009 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [10] *Ekowatt* [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <https://fotovoltaika.ekowatt.cz/vliv-sklonu-orientace.php>
- [11] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>
- [12] Fotovoltaické panely – 3 základní typy | BCE.cz. *bc engineering s. r. o.* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.bce.cz/3-typy-fotovolatickych-panelu/>
- [13] Instalace fotovoltaických panelů na šikmou střechu. *ASB Portal* [online]. 21. září 2009 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [14] KONSTRUKCE PRO FV PANELY | FOTOVOLTAIKA | Specializovaný prodejce solárních systémů STORION SMILE - All-in-one řešení fotovoltaických elektráren. *fvesystemy.cz* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: [https://www.fvesystemy.cz/KONSTRUKCE-PRO-FV-PANELY-c13\\_0\\_1.htm](https://www.fvesystemy.cz/KONSTRUKCE-PRO-FV-PANELY-c13_0_1.htm)

- [15] GATZEN, Christoph. *The economics of power storage: theory and empirical analysis for Central Europe*. München: Oldenbourg Industrieverlag, 2008. Schriften des energiewirtschaftlichen Instituts, Bd. 63. ISBN 978-3-8356-3138-0.
- [16] HRUŠKA, Pavel. Nabíjecí baterie (akumulátory) - typy (NiMH, NiCd, NiZn, Li-ion, Li-pol), chemie, jak vybrat a koupit | mrpear.net. *mrpear.net* [online]. 31. prosinec 2016 [cit. 2019-11-04]. Dostupné z: <http://www.mrpear.net/cz/blog/1092/nabijeci-baterie-akumulatory-typy-nimh-nicd-nizn-li-ion-li-pol-chemie-jak-vybrat-a-koupit>
- [17] RAHN, Christopher D. *Battery systems engineering*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., Publication, 2013. ISBN 978-1-119-97950-0.
- [18] LINDEN, David a Thomas B. REDDY, ed. *Handbook of batteries*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2002. McGraw-Hill handbooks. ISBN 978-0-07-135978-8.
- [19] NOVÁK, Jan A. *Akumulátory: trocha teorie nikoho nezabije* [online]. 15. leden 2017 [cit. 2019-12-24]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/akumulatory/item/107-akumulatory-lithium-lipol>
- [20] *Jak na LiFePO4 baterie technický průvodce v 7 krocích* [online]. [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://shop.gwl.eu/battery-guide/>
- [21] VYTLAČIL, Petr. Nová revoluční zinková baterie. Ohrozí dominantní postavení lithium-iontových baterií? *oEnergetice.cz* [online]. 14. květen 2018 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/nova-revolucni-zinkova-baterie-nahradi-budoucnu-lithium-iontove-baterie/>
- [22] FIŠER, Jakub. Baterie budoucnosti? Tyto nové typy mají největší šanci uspět. *Mobilizujeme.cz* [online]. 15. listopad 2019 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://mobilizujeme.cz/clanky/baterie-budoucnosti-tyto-nove-typy-maji-nejvetsi-sanci-uspet>
- [23] SRB, Luboš. Jsou hliníkové baterie budoucností? Vědci je dále vylepšují. *Elektrickévozy.cz* [online]. 2. leden 2019 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://elektrickévozy.cz/clanky/jsou-hlinikove-baterie-budoucnosti-vedci-je-dale-vylepsuji>
- [24] HESSE, Holger C., Michael SCHIMPE, Daniel KUČEVIC a Andreas JOSSEN. Lithium-Ion Battery Storage for the Grid-A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids. *Energies; Basel* [online]. 2017, **10**(12) [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: [doi:http://dx.doi.org.ezproxy.techlib.cz/10.3390/en10122107](http://dx.doi.org.ezproxy.techlib.cz/10.3390/en10122107)
- [25] SIEMENS ČESKÁ REPUBLIKA. *Siemens ČR: E.ON spustil největší bateriové úložiště v České republice* [online]. 12. únor 2018 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/siemens-cr-e-on-spustil-nejvetsi-bateriove-uloziste-v-ceske-republice>
- [26] *Bateriové úložiště Solar Global, a.s.* [online]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.solarglobal.cz/bateriove-uloziste.htm>
- [27] *Česká firma vyrobila unikátní 1,3MWh bateriové úložiště* [online]. 15. listopad 2018 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/ceska-firma-vyrobila-unikatni-1-3mwh-bateriove-uloziste/>



- [28] Největší bateriové úložiště v ČR zahájilo svůj provoz v Plané nad Lužnicí. *TZB-info* [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/19624-nejvetsi-bateriove-uloziste-v-cr-zahajilo-svuj-provoz-v-plane-nad-luznici>
- [29] *Bateriové úložiště Tušimice (4MW/2,8 MWh) | O společnosti | ČEZ Energetické služby* [online]. [cit. 2020-07-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cezes/cs/o-spolecnosti/aktuality/101.html>
- [30] SKUPINA ČEZ. ČEZ zahájil provoz 4MW baterie v rámci společného pilotního projektu s ČEPS. *Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. [cit. 2020-07-25]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-zahajil-provoz-4mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-69165>
- [31] MPPT Solar Charge Controllers Explained. *CLEAN ENERGY REVIEWS* [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>
- [32] ZISCHKE, Dylan. Maximum Power Point Tracking. *BLUESat UNSW* [online]. 23. srpen 2017 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://bluesat.com.au/maximum-power-point-tracking/>
- [33] FG Forrest, a. s. ČEZ Battery Box. *Battery Box–ČEZ Prodej* [online]. [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <http://www.batterybox.cz/>
- [34] CES BatteryBox. *cesbatterybox.com* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.cesbatterybox.com/batterybox>
- [35] *FVE s bateriemi – Terms Energy* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <http://www.termsenergy.cz/fve-c36>
- [36] MURTINGER, Karel. Novinky a trendy v ostrovní fotovoltaice. *Nazeleno.cz* [online]. 6. duben 2014 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/chap\\_3657/novinky-a-trendy-v-ostrovnii-fotovoltaike.aspx](https://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/chap_3657/novinky-a-trendy-v-ostrovnii-fotovoltaike.aspx)
- [37] *15 % Čechů zná chytrou domácnost. Kdo ji používá? | E.ON Energy Globe* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/chytrou-domacnost-zna-pouze-15-procent-cechu-petina-internetove-populace-ale-technologie-sama-pouziva>
- [38] Inteligentní domácnosti: pomocník, nebo hrozba? *ASB Portal* [online]. 26. listopad 2018 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/inteligentni-domy/inteligentni-domacnosti-pomocnik-nebo-hrozba>
- [39] *Domácí baterie, cesta k soběstačnosti | FENIX* [online]. [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <https://www.fenixgroup.cz/cs/aktuality/domaci-baterie-cesta-k-sobestacnosti>
- [40] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. *TZB-info* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltackych-instalaci>

- [41] *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission* [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)
- [42] *Orientační hodnoty spotřeby domácích spotřebičů* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/cs/sluzby/pujcovani-mericich-zarizeni/meric-spotreby-elekriny/>
- [43] MATUŠKA, Tomáš. *Výpočet FV systému s akumulací elektrické energie* [online]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/C5\\_FVsys\\_bat.pdf](http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/C5_FVsys_bat.pdf)
- [44] STARÝ, Oldřich. *Základy podnikání (přednáška), Kritéria efektivnosti. ČVUT FEL. 2019.*
- [45] *Rodinné domy – zdroje energie* [online]. [cit. 2020-07-05]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [46] *Závazné pokyny pro žadatele RD* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>
- [47] *Přehled produktů | PRE* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/domacnosti/elektrina/archiv-produktu/>
- [48] SKUPINA ČEZ. *Ceníky | Podpora | Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html?commodity=ele>
- [49] *Ceníky | E.ON* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/elektrina-a-plyn/ceniky>
- [50] SOLÁRNINOVINKY.CZ. *BNEF: Ceny lithiových baterií prudce klesají. V roce 2023 budou na úrovni 100 USD/kWh. Solární Novinky* [online]. 6. prosinec 2019 [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.solarninovinky.cz/bnef-ceny-lithiovych-baterii-prudce-klesaji-v-roce-2023-budou-na-urovni-100-usd-kwh/>
- [51] *Li-ion baterie se dle vědců stanou do 10 let nejlevnější možností akumulace elektřiny. oEnergetice.cz* [online]. undefined [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/akumulace-energie/li-ion-baterie-se-dle-vedcu-standou-10-let-nejlevnejsi-moznosti-akumulace-elekriny/>
- [52] *A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. BloombergNEF* [online]. 5. března 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>
- [53] *Powering The EV Revolution — Battery Packs Now At \$156/kWh, 13% Lower Than 2018, Finds BNEF. CleanTechnica* [online]. 4. prosinec 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2019/12/04/powering-the-ev-revolution-battery-packs-now-at-156-kwh-13-lower-than-2018-finds-bnef/>
- [54] *Better Batteries. Bloomberg.com* [online]. 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/quicktake/batteries>
- [55] *OlifeEnergy Box - Bateriové úložiště energie* [online]. [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://energybox.olife-energy.com/cz/modely-a-specifikace>

- [56] *PHONO SOLAR Panel PS325M-20/UM 325Wp solární* [online]. [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/phono-solar-panel-ps325m-20-um-325wp-solarni-2900535>
- [57] *STORION Smile 5,7kWh - EVE* [online]. 8. březen 2019 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: <https://www.fotovoltaika-gottwald.cz/produkty/alpha-storion/storion-smile-57kwh-eve>



# Přílohy

Příloha 1: Bateriové úložiště společnosti E.ON Česká republika, s.r.o., v Mydlovarech [25] .....	66
Příloha 2: Energetický zdroj C-Energy Planá s.r.o. v Plané nad Lužnicí [28] .....	67
Příloha 3: Baterie v kontejneru společnosti C-Energy Planá s.r.o. [28] .....	67
Příloha 4: Výpočet měsíčního a denního ozáření .....	68
Příloha 5: Technické specifikace Olife Energy, a.s. [55] .....	68
Příloha 6: Technické specifikace CESBatteryBox od firmy OIG Power s.r.o. [34] .....	69
Příloha 7: Produktový list solárního panelu Phono Solar [56] .....	70
Příloha 8: Technický list bateriového úložiště Storion SMILE 5 [57].....	72
Příloha 9: Výpočet FV pole a kapacity baterie pro malou domácnost .....	73
Příloha 10: Výpočet FV pole a kapacity baterie pro střední domácnost .....	73
Příloha 11: Výpočet NPV, IRR a ROI investice pro malou domácnost .....	74
Příloha 12: Výpočet NPV, IRR a ROI investice pro střední domácnost.....	74
Příloha 13: Výpočet Cash flow pro malou domácnost uvažující dotaci z programu NZÚ .	75
Příloha 14: Výpočet Cash flow pro střední domácnost uvažující dotaci z programu NZÚ	77

Příloha 1: Bateriové úložiště společnosti E.ON Česká republika, s.r.o., v Mydlovarech [25]

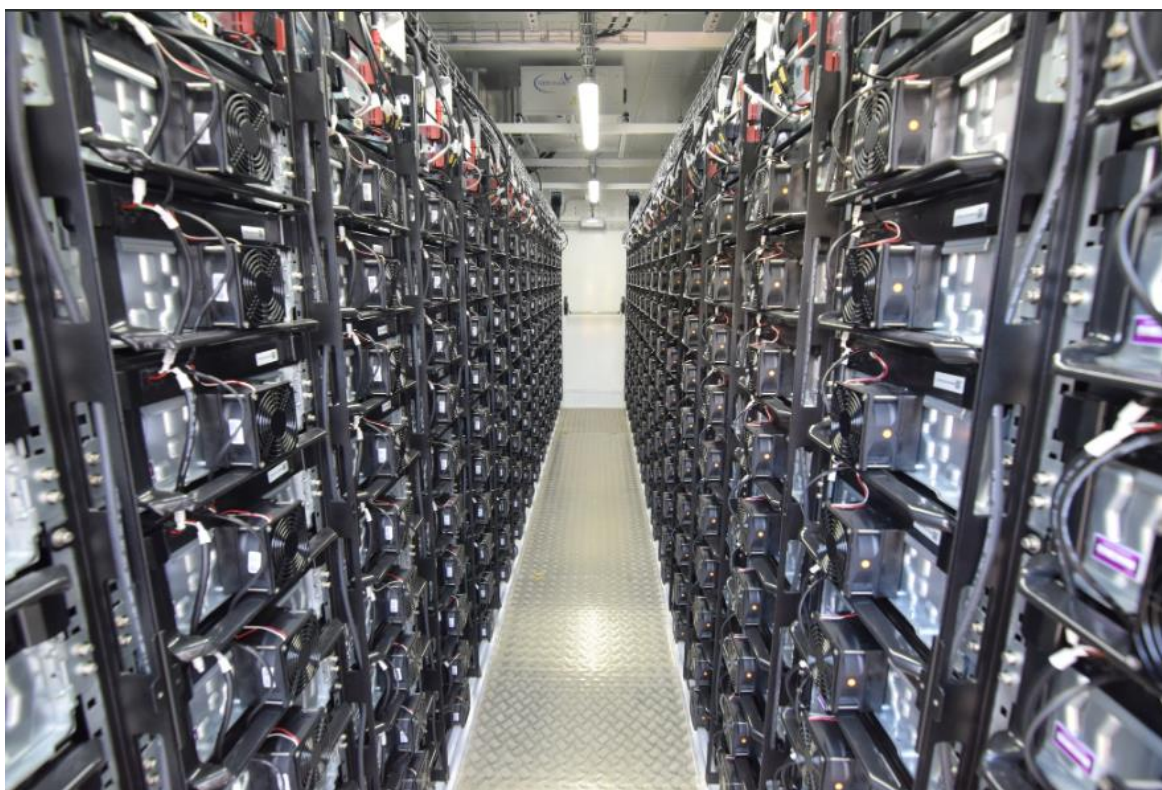




*Příloha 2: Energetický zdroj C-Energy Planá s.r.o. v Plané nad Lužnicí [28]*



*Příloha 3: Baterie v kontejneru společnosti C-Energy Planá s.r.o. [28]*



*Příloha 4: Výpočet měsíčního a denního ozáření*

Měsíc	Měsíční dávka záření [kWh/m <sup>2</sup> ]	Denní dávka záření [kWh/m <sup>2</sup> ]
Leden	38,63	1,246
Únor	59,40	2,048
Březen	81,62	2,633
Duben	119,03	3,968
Květen	165,97	5,354
Červen	152,68	5,089
Červenec	151,45	4,885
Srpen	155,01	5,000
Září	147,33	4,911
Říjen	61,24	1,975
Listopad	47,67	1,589
Prosinec	51,89	1,674

*Příloha 5: Technické specifikace Olife Energy, a.s. [55]*

Model EnergyBoxu	S	M	L
Počet fází	1	3	3
Stálý výkon střídače [kVA]	3	9	9
Špičkový výkon střídače [kW]	5,5	16,5	16,5
Maximální nabíjecí výkon ze sítě [kW]	1,7	5,1	5,1
Kapacita baterie [kWh]	4,8	7,2	9,6
Napětí na výstupu [V]	230 AC		
Frekvence na výstupu [Hz]	50		
Stupeň krytí	IP20		
Šířka [cm]	65		
Hloubka [cm]	50		
Výška [cm]	112	183	183
Přibližný výkon fotovoltaiky [kWp]	3,2	4,2	5,6

Záruka na EnergyBox je 10let.



# CES BATTERY BOX 3F HOME PREMIUM


## technické specifikace

		CBB 3F HOME PREMIUM			
		3F 10-4,8	3F 10-7,2	3F 10-9,6	3F 10-12
MPPT regulátor	Maximální výkon FVE	14850 Wp			
	Minimální výkon FVE	3500 Wp			
	Maximální napětí FV pole Udc max	900 V			
	Rozsah napětí MPP napětí Umpp min. – Umpp max.	400-800V			
	Maximální vstupní proud	2x 18,6 A			
	Počet MPP sledovačů	2			
	Ochrana	Opačné zapojení polarity baterie, zkrat na výstupu, vysoká teplota			
AC invertor	Výstupní napětí AC	3x230 V/400 V +/- 2 %			
	Frekvence	50 Hz ±0,1 %			
	Maximální výstupní výkon bez sítě	10000 VA (3333 VA pro fázi)			
	Maximální výstupní výkon se sítí	15000VA (trvale při teplotě CBB Boxu 38 °C) 18000VA (6 hodin při teplotě CBB Boxu 38 °C)			
	Maximální výstupní proud	14,5 A pro fázi			
	Účinník cos φ	0,9-1 ind. / kap.			
	Účinnost	95 %			
	Výstupní signál	čistá sinusovka			
Počet fází	3				
Akumulátory	Celková kapacita akumulátorů	4,8 kWh	7,2 kWh	9,6 kWh	12 kWh
	Životnost akumulátorů v cyklech (80 % DoD)	>6000			
	Nabíjení při teplotě	0 °C - +50 °C			
	Vybíjení při teplotě	-10 °C - +50 °C			
	Napětí akumulátoru	48V			
	Kapacita akumulátoru	2x50 Ah	3x50 Ah	4x50 Ah	5x50 Ah
CBB Box	Chlazení	Aktivní (regulace výkonu)			
	Indikace	LCD panel			
	ModBus RTU	3x výstup RS 485, komunikace CAN na rozšíření bat. banku max. 57,6 kWh, komunikace s teplotním čidlem			
	Výstup bezdrátový	Ano			
	Výstup optimalizace	Přímotop, bazén, akumulární nádrž, ohřev vody			
	Internetová konektivita	Ethernet, UTP			
	Doba přechodu na ostrovní systém	< 15 ms			
	Rozměry	600x580x1650 mm			
	Stupeň krytí	IP40/IP20			
	Rozsah pracovní teploty	-10 °C - +55 °C			
	Vlhkost	90 %, nekondenzující			
	Hmotnost	162 kg	186 kg	210 kg	234 kg
	Spotřeba el. energie	50 - 150 W (spotřeba závisí na nesymetrii zátěže v jednotlivých fázích)			
	Třída ochrany	I			
Hladina hluku	provozní 44 - 50 dBA, ve výkonové špičce 55 - 65 dBA				

SVT kód Nová zelená úsporám – SVT23064

OIG Power s.r.o., info@cesbatterybox.com, www.cesbatterybox.com

# Phono<sup>®</sup> Solar



## MWT Fotovoltaické Moduly

### Perc/ MWT 300Wp–325Wp

- 20W

**Vyšší výkon**

více než o 20W+ vyšší jmenovitý výkon ve srovnání s ostatními PV moduly
- ✦

**Špičková spolehlivost**

Bez horkého pájení, bez mechanického namáhání a ohýbání, bez "Micro-cracků"!
- 0 to +5W

**Pouze plusová tolerance**

0~+5W pouze plusová tolerance jmenovitého výkonu, vždy získáte více W!
- +

**Bez PID rizika**


Specifický výrobní postup eliminuje rizika PID, kterým jsou vystaveny klasické moduly
- 💎

**Unikátní vzhled - konec staromódním mřížkám**


Atraktivně vyhlížející moduly se specifickým vzorem

**Bloomberg Tier1**

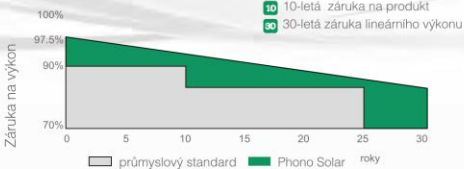
NEW ENERGY FINANCE




**TOP PERFORMER**





60  
Cells





■ 10-letá záruka na produkt  
■ 30-letá záruka lineárního výkonu


































---

www.lomina.cz





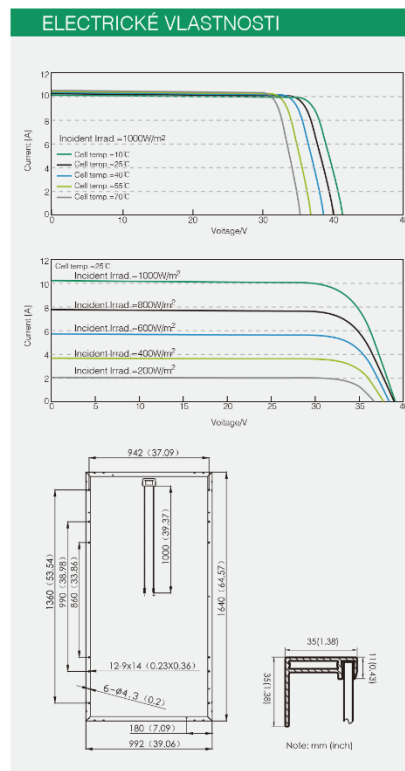
ELECTRICKÉ HODNOTY			
Model	PS315M-20/UM	PS320M-20/UM	PS325M-20/UM
Typ článků v modulu (panelu)	Monokrystalické 6 inch x 6 inch čtvereční, 6 x 10 kusů v sérii		
Jmenovitý výkon (Pmpp)	315W	320W	325W
Tolerance - <b>POUZE PLUSOVÁ</b>		0--+5w	
Rated Current (Impp)	9.79	9.88	9.97
Rated Voltage (Vmpp)	32.20	32.40	32.60
Short Circuit Current (Isc)	10.28	10.36	10.44
Open Circuit Voltage (Voc)	39.40	39.60	39.80
<b>Účinnost modulu (%)</b>	<b>19.40%</b>	<b>19.70%</b>	<b>20.00%</b>
NOCT (Nominální provozní teplota)	43±2°C		
Voltage Teplotní koeficient	-0.28%/°C		
Current Teplotní koeficient	+0.06%/°C		
Power Teplotní koeficient	-0.36%/°C		

MECHANICKÉ PARAMETRY	
	Délka: 1640mm (64.57 inch)
Rozměr (Dx Š x H)	Šířka: 992mm (39.06 inch)
	Hloubka: 35mm (1.38 inch)
<b>VÁHA POUZE</b>	<b>18.5kg (40.79 lb)</b>
Temperované čelní sklo	3.2mm tvrzené
Rám	Anodizovaná hliníková slitina (na zakázku i černá)
Kabel	4mm <sup>2</sup> (IEC) , Délka:1000mm, nebo dle požadavku
Junction Box	IP 67 krytí

ABSOLUTNÍ MAXIMÁLNÍ VÝKON	
Parametry	Hodnoty
Provozní teploty	Od-40 do +85°C
Kroupy - odolnost při @ 80km/h	Až do 25mm
Povolené povrchové zatížení (tah, tlak)	Až do 5400Pa
Maximální proudová zátěž (Pojistka)	15A
IEC třída (IEC61730)	A
Požární třída (IEC61730)	C
Odolnost proti ohni (UL 1703)	Type1
Maximální napětí	DC 1000V (TUV)

Konfigurace balení		
KONTEJNER „HQ“	20' GP	40' HQ
Kusů v Kontejneru	320/340	840

1. V souladu s dle všeobecných záručních podmínek.
2. Měřicí podmínky = Standardní Testovací Podmínky (STC)
  - Irradiace (ozáření): 1000W/m
  - Průměrná hmotnost vzduchového spektra 1.5 Spectrum,
  - Při teplotě článků 25°C.



[WWW.LOMINA.EU](http://WWW.LOMINA.EU)



**WWW.LOMINA.CZ**  
 LOMINA AG Org.Složka  
 Bucharova 2657/12  
 Prague 13, 158 00  
 IcoDic - CZ24266990  
 EU - CZECH Republic

[WWW.LOMINA.CH](http://WWW.LOMINA.CH)

**WWW.LOMINA.CH**  
 LOMINA A.G.  
 Oberer Gansbach 1  
 CH-9050, Appenzell(AI)  
 CHE- 114.687.389  
 Switzerland

## Technický list

 **Soběstačnost**

 **Modularita**

 **Inteligentní řízení**


 **dLouhá životnost**

 **Efektivní**

**PROSTOR**

 **distribuovaná elektrárna**

### Konfigurace systému SMILE 5

Kabinet	Storion SMILE 5	
Počet cyklů	≥	12000 / 80% DOD / 1C
	≥	10000 / 95% DOD / 1C
Kapacita baterií	5.7 / 11.5 / 17.2 / 22.9 / 28.6 / 34.3 kWh	
Využitelná kapacita	5.2 / 10.3 / 15.5 / 20.6 / 25.8 / 30.9 kWh	
Chemie	LiFePO4	
Záruky	5 let	
Záruka na baterie	10 let <small>po 10ti letech provozu bude využitelná kapacita baterie min 80%</small>	

### Profil systému pro ukládání a odběr elektřiny z fotovoltaiky a baterií

Model	Storion SMILE 5
Počet fází	1f /230V;50Hz/
Display	LCD
Komunikace	Ethernet
Provozní teploty okolí	-10°C ~ 50°C
Vlhkost vzduchu	15% ~ 85%
Stupeň krytí	IP44
Rozměry (Š x H x V)	600 x 250 x 1800 mm
Váha	180 kg (invertor + 2x baterie)
Záruky	5 let výrobek, 10 let baterie
Nominální výkon	3600 W (výkon omezen vnitřním nastavením měniče) 4600 W (zabudován GoodWe 5048D-ES)

## Příloha 9: Výpočet FV pole a kapacity baterie pro malou domácnost

denníspotřeba = 4.75;  
průměrnéozáření = 3.366;  
maximálníozáření = 5.354;  
účinnostpanelů = 0.2;  
účinnosťsystémů = 0.832;  
účinnostinvertoru = 0.95;  
účinnostdistribuce = 0.98;  
hloubkavybití = 0.8;  
napětíakumulátorů = 48;  
využití = {1, 0.9, 0.8};

$$\text{velikostFVpole1} = \frac{\text{denníspotřeba}}{\text{účinnostpanelů} * \text{průměrnéozáření} * \text{účinnosťsystémů}};$$

$$\text{velikostFVpole2} = \frac{\frac{\text{denníspotřeba}}{0.7}}{\text{účinnostpanelů} * \text{maximálníozáření} * \text{účinnosťsystémů}};$$

$$\text{kapacitabaterie} = \text{Table}\left[\frac{\text{denníspotřeba} * 1000 * \text{využití}[[i]]}{\text{napětíakumulátorů} * \text{účinnostinvertoru} * \text{hloubkavybití} * \text{účinnostdistribuce}}, \{1, 1, 3\}\right];$$

Print["Velikost FV pole pro malou domácnost je ", velikostFVpole1, " m<sup>2</sup> při průměrné hodnotě ozáření a ", velikostFVpole2, " m<sup>2</sup> při maximální hodnotě ozáření." ]

Print["Kapacita baterie je ", kapacitabaterie[[1]], " Ah pro 100 % pokrytí denní spotřeby, ", kapacitabaterie[[2]], " Ah při 90 % pokrytí a ", kapacitabaterie[[3]], " Ah pro 80 % pokrytí." ]

Velikost FV pole pro malou domácnost je 8.48059 m<sup>2</sup> při průměrné hodnotě ozáření a 7.61665 m<sup>2</sup> při maximální hodnotě ozáření. Kapacita baterie je 132.866 Ah pro 100 % pokrytí denní spotřeby, 119.579 Ah při 90 % pokrytí a 106.293 Ah pro 80 % pokrytí.

## Příloha 10: Výpočet FV pole a kapacity baterie pro střední domácnost

denníspotřeba = 10.118;  
průměrnéozáření = 3.366;  
maximálníozáření = 5.354;  
účinnostpanelů = 0.2;  
účinnosťsystémů = 0.832;  
účinnostinvertoru = 0.95;  
účinnostdistribuce = 0.98;  
hloubkavybití = 0.8;  
napětíakumulátorů = 48;  
využití = {1, 0.9, 0.8};

$$\text{velikostFVpole1} = \frac{\text{denníspotřeba}}{\text{účinnostpanelů} * \text{průměrnéozáření} * \text{účinnosťsystémů}};$$

$$\text{velikostFVpole2} = \frac{\frac{\text{denníspotřeba}}{0.7}}{\text{účinnostpanelů} * \text{maximálníozáření} * \text{účinnosťsystémů}};$$

$$\text{kapacitabaterie} = \text{Table}\left[\frac{\text{denníspotřeba} * 1000 * \text{využití}[[i]]}{\text{napětíakumulátorů} * \text{účinnostinvertoru} * \text{hloubkavybití} * \text{účinnostdistribuce}}, \{1, 1, 3\}\right];$$

Print["Velikost FV pole pro střední domácnost je ", velikostFVpole1, " m<sup>2</sup> při průměrné hodnotě ozáření a ", velikostFVpole2, " m<sup>2</sup> při maximální hodnotě ozáření." ]

Print["Kapacita baterie je ", kapacitabaterie[[1]], " Ah pro 100 % pokrytí denní spotřeby, ", kapacitabaterie[[2]], " Ah při 90 % pokrytí a ", kapacitabaterie[[3]], " Ah pro 80 % pokrytí." ]

Velikost FV pole pro střední domácnost je 18.0646 m<sup>2</sup> při průměrné hodnotě ozáření a 16.2243 m<sup>2</sup> při maximální hodnotě ozáření. Kapacita baterie je 283.018 Ah pro 100 % pokrytí denní spotřeby, 254.716 Ah při 90 % pokrytí a 226.414 Ah pro 80 % pokrytí.



## Příloha 11: Výpočet NPV, IRR a ROI investice pro malou domácnost

```

r = 0.04;
NPV = -118389.78 +  $\frac{8414.93}{(1+r)} + \frac{8350.95}{(1+r)^2} + \frac{4286.09}{(1+r)^3} + \frac{8241.23}{(1+r)^4} + \frac{8186.36}{(1+r)^5} + \frac{4121.50}{(1+r)^6} + \frac{8076.64}{(1+r)^7} + \frac{8021.78}{(1+r)^8} + \frac{3956.92}{(1+r)^9} + \frac{7912.06}{(1+r)^{10}}$ 
+  $\frac{7857.20}{(1+r)^{11}} + \frac{3792.34}{(1+r)^{12}} + \frac{7747.48}{(1+r)^{13}} + \frac{7692.61}{(1+r)^{14}} + \frac{3627.75}{(1+r)^{15}} + \frac{7582.89}{(1+r)^{16}} + \frac{7528.03}{(1+r)^{17}} + \frac{3463.17}{(1+r)^{18}} + \frac{7418.31}{(1+r)^{19}} + \frac{7363.45}{(1+r)^{20}} + \frac{3298.59}{(1+r)^{21}}$ 
+  $\frac{7253.73}{(1+r)^{22}} + \frac{7198.86}{(1+r)^{23}} + \frac{3134.00}{(1+r)^{24}} + \frac{7089.14}{(1+r)^{25}} + \frac{7034.28}{(1+r)^{26}} + \frac{2969.42}{(1+r)^{27}} + \frac{6924.56}{(1+r)^{28}} + \frac{6869.70}{(1+r)^{29}} + \frac{2804.84}{(1+r)^{30}}$ ;
NPVdotace = NumberForm[NPV, 6];
irr =
Solve[{-118389.78 +  $\frac{8414.93}{(1+IRR)} + \frac{8350.95}{(1+IRR)^2} + \frac{4286.09}{(1+IRR)^3} + \frac{8241.23}{(1+IRR)^4} + \frac{8186.36}{(1+IRR)^5} + \frac{4121.50}{(1+IRR)^6} + \frac{8076.64}{(1+IRR)^7} + \frac{8021.78}{(1+IRR)^8}$ 
+  $\frac{3956.92}{(1+IRR)^9} + \frac{7912.06}{(1+IRR)^{10}} + \frac{7857.20}{(1+IRR)^{11}} + \frac{3792.34}{(1+IRR)^{12}} + \frac{7747.48}{(1+IRR)^{13}} + \frac{7692.61}{(1+IRR)^{14}} + \frac{3627.75}{(1+IRR)^{15}} + \frac{7582.89}{(1+IRR)^{16}} + \frac{7528.03}{(1+IRR)^{17}}$ 
+  $\frac{3463.17}{(1+IRR)^{18}} + \frac{7418.31}{(1+IRR)^{19}} + \frac{7363.45}{(1+IRR)^{20}} + \frac{3298.59}{(1+IRR)^{21}} + \frac{7253.73}{(1+IRR)^{22}} + \frac{7198.86}{(1+IRR)^{23}} + \frac{3134.00}{(1+IRR)^{24}} + \frac{7089.14}{(1+IRR)^{25}}$ 
+  $\frac{7034.28}{(1+IRR)^{26}} + \frac{2969.42}{(1+IRR)^{27}} + \frac{6924.56}{(1+IRR)^{28}} + \frac{6869.70}{(1+IRR)^{29}} + \frac{2804.84}{(1+IRR)^{30}} = 0$ }, IRR, Reals][[2]];
irrdotace = NumberForm[IRR /. irr, 3];
ROI =
 $\frac{1}{30 * 118389.78} (-118389.78 + 8414.93 + 8350.95 + 4286.09 + 8241.23 + 8186.36 + 4121.50 + 8076.64 + 8021.78 + 3956.92 + 7912.06 +$ 
 $7857.20 + 3792.34 + 7747.48 + 7692.61 + 3627.75 + 7582.89 + 7528.03 + 3463.17 + 7418.31 + 7363.45 + 3298.59 + 7253.73 +$ 
 $7198.86 + 3134.00 + 7089.14 + 7034.28 + 2969.42 + 6924.56 + 6869.70 + 2804.84) * 100;$ 
roidotace = NumberForm[ROI, 3];
Print["Čistá současná hodnota je ", NPVdotace, " Kč." "Vnitřní výnosové procento je ", irrdotace,
" ." "Výnosnost investice ROI vychází na ", roidotace, " %."]
Čistá současná hodnota je -6271.26 Kč. Vnitřní výnosové procento je 0.0353 . Výnosnost investice ROI vychází na 1.97 %.

```

## Příloha 12: Výpočet NPV, IRR a ROI investice pro střední domácnost

```

r = 0.04;
NPV = -317958.19 +  $\frac{18808.98}{(1+r)} + \frac{18670.33}{(1+r)^2} + \frac{13401.50}{(1+r)^3} + \frac{18432.68}{(1+r)^4} + \frac{18313.86}{(1+r)^5} + \frac{13045.03}{(1+r)^6} + \frac{18076.21}{(1+r)^7} + \frac{17957.38}{(1+r)^8} + \frac{12688.56}{(1+r)^9} + \frac{17719.73}{(1+r)^{10}}$ 
+  $\frac{17600.91}{(1+r)^{11}} + \frac{12332.08}{(1+r)^{12}} + \frac{17363.26}{(1+r)^{13}} + \frac{17244.44}{(1+r)^{14}} + \frac{11975.61}{(1+r)^{15}} + \frac{17006.79}{(1+r)^{16}} + \frac{-167032.04}{(1+r)^{17}} + \frac{11619.14}{(1+r)^{18}} + \frac{16650.31}{(1+r)^{19}} + \frac{16531.49}{(1+r)^{20}} + \frac{11262.66}{(1+r)^{21}}$ 
+  $\frac{16293.84}{(1+r)^{22}} + \frac{16175.01}{(1+r)^{23}} + \frac{10906.19}{(1+r)^{24}} + \frac{15937.37}{(1+r)^{25}} + \frac{15818.54}{(1+r)^{26}} + \frac{10549.72}{(1+r)^{27}} + \frac{15580.89}{(1+r)^{28}} + \frac{15462.07}{(1+r)^{29}} + \frac{10193.24}{(1+r)^{30}}$ ;
NPVdotace = NumberForm[NPV, 8];
irr =
Solve[{-317958.19 +  $\frac{18808.98}{(1+IRR)} + \frac{18670.33}{(1+IRR)^2} + \frac{13401.50}{(1+IRR)^3} + \frac{18432.68}{(1+IRR)^4} + \frac{18313.86}{(1+IRR)^5} + \frac{13045.03}{(1+IRR)^6} + \frac{18076.21}{(1+IRR)^7} + \frac{17957.38}{(1+IRR)^8} + \frac{12688.56}{(1+IRR)^9}$ 
+  $\frac{17719.73}{(1+IRR)^{10}} + \frac{17600.91}{(1+IRR)^{11}} + \frac{12332.08}{(1+IRR)^{12}} + \frac{17363.26}{(1+IRR)^{13}} + \frac{17244.44}{(1+IRR)^{14}} + \frac{11975.61}{(1+IRR)^{15}} + \frac{17006.79}{(1+IRR)^{16}} + \frac{-167032.04}{(1+IRR)^{17}} + \frac{11619.14}{(1+IRR)^{18}}$ 
+  $\frac{16650.31}{(1+IRR)^{19}} + \frac{16531.49}{(1+IRR)^{20}} + \frac{11262.66}{(1+IRR)^{21}} + \frac{16293.84}{(1+IRR)^{22}} + \frac{16175.01}{(1+IRR)^{23}} + \frac{10906.19}{(1+IRR)^{24}} + \frac{15937.37}{(1+IRR)^{25}}$ 
+  $\frac{15818.54}{(1+IRR)^{26}} + \frac{10549.72}{(1+IRR)^{27}} + \frac{15580.89}{(1+IRR)^{28}} + \frac{15462.07}{(1+IRR)^{29}} + \frac{10193.24}{(1+IRR)^{30}} = 0$ }, IRR, Reals][[2]];
irrdotace = NumberForm[IRR /. irr, 2];
ROI =
 $\frac{1}{30 * 317958.19} (-317958.19 + 18808.98 + 18670.33 + 13401.50 + 18432.68 + 18313.86 + 13045.03 + 18076.21 + 17957.38 + 12688.56 +$ 
 $17719.73 + 17600.91 + 12332.08 + 17363.26 + 17244.44 + 11975.61 + 17006.79 + -167032.04 + 11619.14 + 16650.31 + 16531.49 +$ 
 $11262.66 + 16293.84 + 16175.01 + 10906.19 + 15937.37 + 15818.54 + 10549.72 + 15580.89 + 15462.07 + 10193.24) * 100;$ 
roidotace = NumberForm[ROI, 2];
NumberForm[-0.43];
Print["Čistá současná hodnota je ", NPVdotace, " Kč." "Vnitřní výnosové procento je ", irrdotace,
" ." "Výnosnost investice ROI vychází na ", roidotace, " %."]
Čistá současná hodnota je -139875.44 Kč. Vnitřní výnosové procento je -0.0099 . Výnosnost investice ROI vychází na -0.43 %.

```

Příloha 13: Výpočet Cash flow pro malou domácnost uvažující dotaci z programu NZÚ

<b>Výpočet Cash flow pro malou domácnost</b>																
Celková investice do FV systému s baterií				Produkcce elektrické energie v 1. roce							Pokles	Cena elektřiny od dodavatele				
188 389,78 Kč				1 727,70 kWh							-0,60%	5,16 Kč-kWh <sup>-1</sup>				
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Roční produkce elektrické energie [kWh]	N/A	1 727,70	1 715,30	1 704,67	1 694,04	1 683,40	1 672,77	1 662,14	1 651,51	1 640,88	1 630,24	1 619,61	1 608,98	1 598,35	1 587,72	1 577,08
Cena elektřiny [Kč-kWh <sup>-1</sup> ]	N/A	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
Investice [Kč]	-188 389,78	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]	N/A	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00
Pojištění [Kč]	N/A	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Servis [Kč]	N/A	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00
Dotace NZÚ [Kč]	70 000,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Úspora za elektřinu [Kč]	N/A	8 914,93	8 850,95	8 796,09	8 741,23	8 686,36	8 631,50	8 576,64	8 521,78	8 466,92	8 412,06	8 357,20	8 302,34	8 247,48	8 192,61	8 137,75
Cash flow [Kč]	-118 389,78	8 414,93	8 350,95	4 286,09	8 241,23	8 186,36	4 121,50	8 076,64	8 021,78	3 956,92	7 912,06	7 857,20	3 792,34	7 747,48	7 692,61	3 627,75
Kumulovaný Cash flow [Kč]	-118 389,78	-109 974,85	-101 623,90	-97 337,81	-89 096,59	-80 910,22	-76 788,72	-68 712,08	-60 690,30	-56 733,38	-48 821,32	-40 964,12	-37 171,78	-29 424,31	-21 731,69	-18 103,94

<b>Výpočet Cash flow pro malou domácnost</b>																
Distribuční sazba				Diskontní sazba				NPV		IRR		ROI				
D02d				4,00%				-6 271,26 Kč		3,53%		1,97%				
Rok	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Roční produkce elektrické energie [kWh]	1 566,45	1 555,82	1 545,19	1 534,56	1 523,92	1 513,29	1 502,66	1 492,03	1 481,40	1 470,76	1 460,13	1 449,50	1 438,87	1 428,24	1 417,60	
Cena elektřiny [Kč-kWh <sup>-1</sup> ]	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	
Investice [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Další náklady [Kč]	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	
Pojištění [Kč]	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	
Servis [Kč]	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	0,00	0,00	-2 420,00	
Dotace NZÚ [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Úspora [Kč]	8 082,89	8 028,03	7 973,17	7 918,31	7 863,45	7 808,59	7 753,73	7 698,86	7 644,00	7 589,14	7 534,28	7 479,42	7 424,56	7 369,70	7 314,84	
Cash flow [Kč]	7 582,89	7 528,03	3 463,17	7 418,31	7 363,45	3 298,59	7 253,73	7 198,86	3 134,00	7 089,14	7 034,28	2 969,42	6 924,56	6 869,70	2 804,84	
Kumulovaný Cash flow [Kč]	-10 521,05	-2 993,01	470,16	7 888,46	15 251,91	18 550,50	25 804,22	33 003,09	36 137,09	43 226,23	50 260,52	53 229,94	60 154,49	67 024,19	69 829,03	





Výpočet Cash flow pro malou domácnost																
Celková investice do FV systému s baterií				Produkcce elektrické energie v 1. roce							Pokles	Cena elektřiny od dodavatele				
417 958,19 Kč				3 742,05 kWh							-0,60%	5,16 Kč·kWh <sup>-1</sup>				
Rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Roční produkce elektrické energie [kWh]	N/A	3 742,05	3 715,18	3 692,15	3 669,12	3 646,10	3 623,07	3 600,04	3 577,01	3 553,98	3 530,96	3 507,93	3 484,90	3 461,87	3 438,84	3 415,82
Cena elektřiny [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]	N/A	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16
Investice [Kč]	-417 958,19	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Další náklady [Kč]	N/A	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00
Pojištění [Kč]	N/A	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00
Servis [Kč]	N/A	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00
Dotace NZÚ [Kč]	100 000,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Úspora [Kč]	N/A	19 308,98	19 170,33	19 051,50	18 932,68	18 813,86	18 695,03	18 576,21	18 457,38	18 338,56	18 219,73	18 100,91	17 982,08	17 863,26	17 744,44	17 625,61
Cash flow [Kč]	-317 958,19	18 808,98	18 670,33	13 401,50	18 432,68	18 313,86	13 045,03	18 076,21	17 957,38	12 688,56	17 719,73	17 600,91	12 332,08	17 363,26	17 244,44	11 975,61
Kumulovaný Cash flow [Kč]	-317 958,19	-299 149,21	-280 478,88	-267 077,38	-248 644,70	-230 330,84	-217 285,81	-199 209,61	-181 252,22	-168 563,67	-150 843,93	-133 243,03	-120 910,94	-103 547,68	-86 303,25	-74 327,64

Výpočet Cash flow pro malou domácnost																	
Distribuční sazba				Diskontní sazba							NPV	IRR	ROI				
D02d				4,00%							-139 875,45 Kč	-0,99%	-0,43%				
Rok	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Roční produkce elektrické energie [kWh]	3 392,79	3 369,76	3 346,73	3 323,70	3 300,68	3 277,65	3 254,62	3 231,59	3 208,56	3 185,54	3 162,51	3 139,48	3 116,45	3 093,42	3 070,40		
Cena elektřiny [Kč·kWh <sup>-1</sup> ]	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16	5,16		
Investice [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Další náklady [Kč]	0,00	-183 920,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00	0,00	0,00	-1 590,00		
Pojištění [Kč]	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00	-500,00		
Servis [Kč]	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00	0,00	0,00	-3 560,00		
Dotace NZÚ [Kč]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Úspora [Kč]	17 506,79	17 387,96	17 269,14	17 150,31	17 031,49	16 912,66	16 793,84	16 675,01	16 556,19	16 437,37	16 318,54	16 199,72	16 080,89	15 962,07	15 843,24		
Cash flow [Kč]	17 006,79	-167 032,04	11 619,14	16 650,31	16 531,49	11 262,66	16 293,84	16 175,01	10 906,19	15 937,37	15 818,54	10 549,72	15 580,89	15 462,07	10 193,24		
Kumulovaný Cash flow [Kč]	-57 320,85	-224 352,89	-212 733,75	-196 083,44	-179 551,95	-168 289,29	-151 995,45	-135 820,43	-124 914,24	-108 976,88	-93 158,34	-82 608,62	-67 027,73	-51 565,66	-41 372,42		