



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Možnosti akumulace energie v RD**

**Utilization of energy storage in households**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík Ph.D.

**Sebastian Rygl**

**Praha 2017**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rygl** Jméno: **Sebastian** Osobní číslo: **434844**  
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:

**Možnosti akumulace energie v RD**

Název bakalářské práce anglicky:

**Utilization of energy storage in households**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Identifikovat a popsat technologie akumulace energie vhodné pro RD v součinnosti s malou FVE
- 2) Analyzovat a popsat vybraný objekt (rodinný dům) z pohledu zásobování a vlastní spotřeby elektrické energie
- 3) Variantně vybrat technologii a velikostně optimalizovat akumulační systém pro daný RD
- 4) Vybrat z technicko ekonomického pohledu optimální variantu

Seznam doporučené literatury:

- 1) MEDVED, Dušan, Michal KOLCUM, Rostislav STOLARIK a Stařan VASKO. Importance of Batteries for Photovoltaic Systems. Sborník konference: Inteligentné riadenie výroby a spotřeby elektriny z obnovitelných energetických zdrojov 2011
- 2) TER-GAZARIAN, A. Energy storage for power systems. 2nd ed. IET power and energy series

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Králík Ph.D., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL**

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

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **27.05.2018**

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
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



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce, v souladu s Metodickými pokyny o dodržování etických principů pro vypracování vysokoškolských závěrečných prací a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne

podpis



## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu svojí práce Ing. Tomášovi Králíkovi Ph.D. za jeho vynaložený čas, odborné vedení, vstřícnost a podmětné připomínky k práci.





## **Abstrakt**

Bakalářská práce se v první části zabývá analýzou konkrétního objektu z hlediska zásobování a spotřeby elektrické energie. V teoretické část se zabývá popisem a porovnáním technologických možností akumulace elektrické energie z fotovoltaické elektrárny v rodinném domě. Poslední část je pak věnovaná volbě a optimalizaci konkrétního akumulčního systému pro analyzovaný objekt.

## **Klíčová slova**

rodinný dům, fotovoltaická elektrárna, akumulace, baterie

## **Abstract**

The first part of bachelor thesis deals with an analysis of a specific object from the viewpoint of supplyment and consumption of electrical energy. The theoretical part is dedicated to description and comparison of technological options of accumulating electrical energy from a photovoltaic power station in a family household. The last part deals with the choice and optimalisation of a specific accumulation system for the analysed object.

## **Key words**

households, photovoltaic power station, accumulation, battery

# Obsah

1. Úvod.....	13
2. Analýza a popis vybraného rodinného domu z pohledu zásobování a vlastní spotřeby ..	16
2.1. Základní údaje a popis zásobování rodinného domu .....	16
2.2. Analýza a popis vlastní spotřeby elektrické energie .....	18
3. Identifikace a popis technologií akumulace energie pro RD s malou FVE .....	21
3.1. Olověné akumulátory .....	22
3.2. Li-ion akumulátory.....	24
3.3. NiCd akumulátory .....	26
3.4. NiMH akumulátory .....	28
3.5. NaS akumulátory.....	29
3.6. Flow akumulátory .....	30
3.7. Porovnání technologie akumulace .....	32
4. Dotační program Nová zelená úsporám .....	34
5. Výběr vhodné akumulační technologie.....	35
6. Optimalizace akumulačního systému pro konkrétní objekt .....	38
6.1. Optimalizační model .....	38
7. Volba optimální varianty z technicko ekonomického hlediska.....	43
8. Citlivostní analýza.....	44
8.1. Cena elektřiny .....	44
8.2. Prodejní cena elektřiny.....	45
8.3. Cena akumulátorů .....	46
8.4. Celková investice .....	46
8.5. Diskont .....	48
8.6. Doporučení pro daný objekt.....	48
9. Závěr .....	50
10. Seznam použité literatury.....	52
11. Seznam použitých obrázků .....	55
12. Seznam tabulek .....	55
13. Seznam příloh .....	56
14. Přílohy.....	57

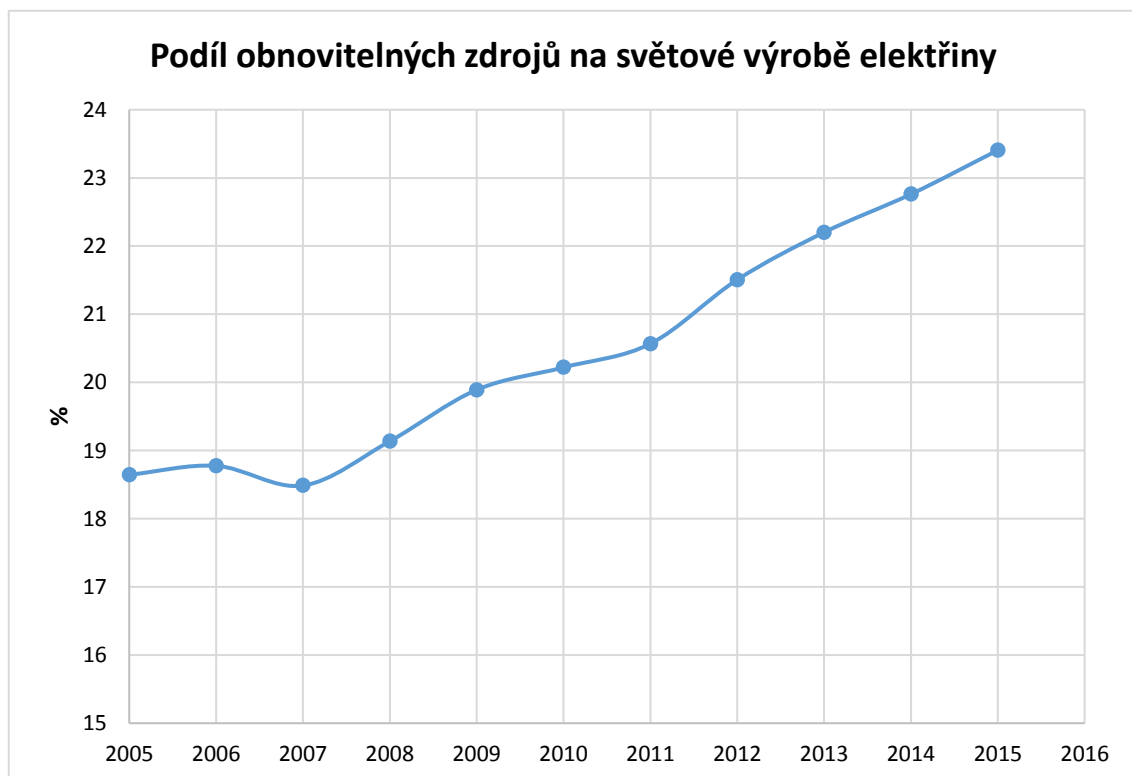


# 1. Úvod

V dnešní době je energie získávána především z fosilních paliv, například v České republice mají největší podíl na vyrobené elektrické energii uhelné elektrárny a hned za nimi elektrárny jaderné. Proto se tedy především z ekologických důvodů snažíme o dekarbonizaci a o snížení spotřeby omezených zásob fosilních paliv.

Dekarbonizace v energetice se snaží o snížení množství emisí vyprodukovaných na jednotku vyrobené elektřiny. Například přechodem od spalování uhlí, při kterém se emituje průměrně 1000g CO<sub>2</sub>/kWh, k zemnímu plynu, který emituje pouze okolo 400g CO<sub>2</sub>/kWh, či k obnovitelným zdrojům, kde se tato hodnota pohybuje kolem 40g CO<sub>2</sub>/kWh. K této snaze patří zavedení celosvětově funkčního obchodu s emisemi, omezení tvorby emisí skleníkových plynů ze spalovacích elektráren prostřednictvím zachycování a ukládání uhlíku a zvýšení podílu nízkouhlíkových zdrojů energie, jako jsou zdroje jaderné energie a obnovitelné energie.[1]

Začlenění intermitentních zdrojů energie se jeví jako jedna z neúčinnějších možností dekarbonizace. Podle International Energy Agency (IEA) roku 2015 vzrostla celosvětová výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů o 3 % a činila přibližně 23,5 % z celkové výroby. Bohužel intermitentní zdroje přinášejí do energetického systému různorodou a rozsáhlou skupinu problémů a výzev. Vzhledem k tomu, že vítr a slunce jsou zdroje proměnné, neovladatelné a špatně předvídatelné, může docházet k velkým výkyvům generovaného výkonu, a proto musíme mít v systému dostatek prostředků pro jejich nahrazení a vyvážení.

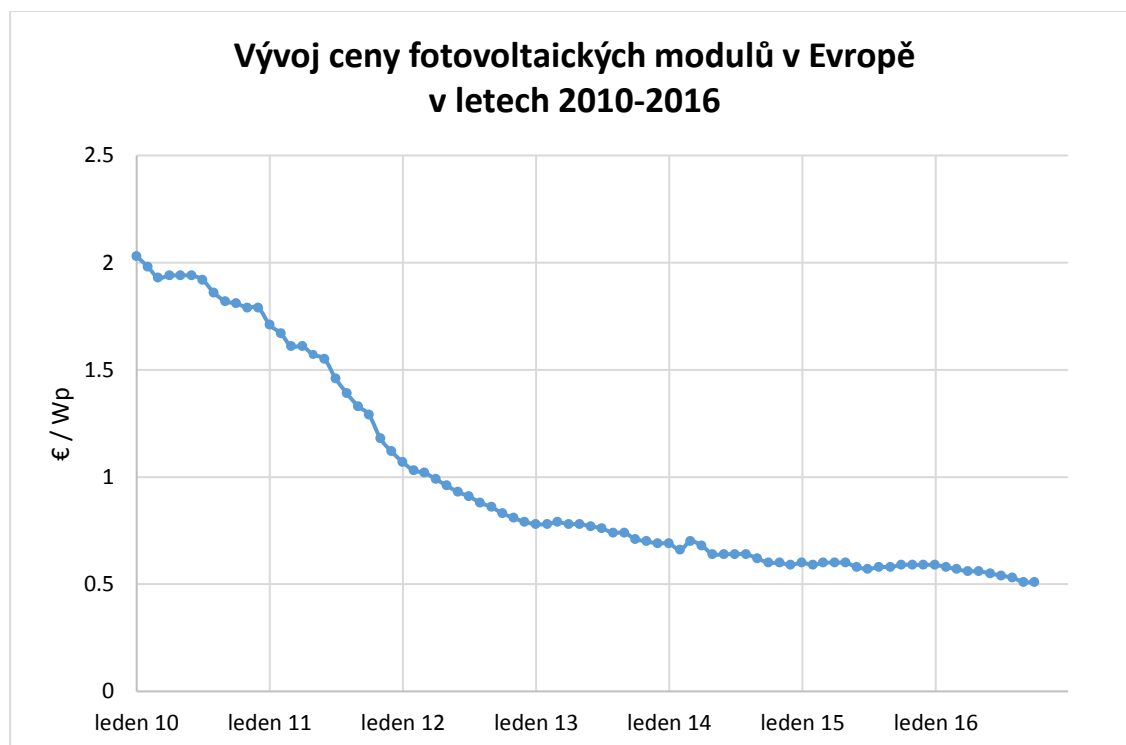


Obr.č. 1 Podíl obnovitelných zdrojů na světové výrobě elektřiny, vlastní tvorba na základě dat z [2]

Z toho důvodu se také zvedl zájem o technologie pro krátkodobou akumulaci elektrické energie sloužící k uložení vyrobené elektrické energie v okamžiku, kdy je energie nadbytek a následně k jejímu zpětnému využití v době špičkového odběru elektrické energie, kdy bude energie

nedostatek. Například fotovoltaické elektrárny totiž generují nejvíce energie v jinou dobu, než kdy nastává její největší potřeba, a akumulace energie je tak nezbytnou součástí k překonání časového rozestupu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.

V období mezi roky 2010-2015 klesla výrobní cena fotovoltaických modulů o 71 % a má nadále klesající charakter (Obr.č. 2). S již zmíněnou klesající cenou fotovoltaických modulů, klesá i celková pořizovací cena fotovoltaické elektrárny a z těchto důvodů se realizace takového zařízení jeví zajímavější i pro mnohem menší projekty, jako jsou například rodinné domy. A však i takovéto menší obnovitelné zdroje energie mohou být nepříjemně ovlivňovány vlivem klimatických změn. K vyrovnání těchto výkyvů a vyhlazení špičkového zatížení může dokonale sloužit akumulace energie prostřednictvím baterii.



Obr.č. 2 Vývoj ceny fotovoltaických modulů v Evropě v 2010-2016, vlastní tvorba na základě dat z [3]

Z technologického hlediska jsou baterie téměř připraveny posloužit jako spolehlivý systém akumulace, posledními překážkami jsou především hlediska bezpečnostní a regulační, ověření výkonnosti, ekonomická efektivnost investice. Solární elektrárny s akumulací energie do baterii jsou podporovány vládními dotacemi a k využití této technologie nahrávají i snižující se ceny bateriových systémů v malém měřítku a padající výkupní ceny elektřiny. Tyto systémy umožňují využívat více vlastní vyrobené elektřiny a vyrovnávat tak spotřebu elektrické energie množstvím energie produkované z fotovoltaické elektrárny.

V České republice ke zvýšenému zájmu o tento typ rodinných domů nahrává navíc několik aspektů. Od 1.1.2016 není potřeba na provozování fotovoltaické elektrárny připojené k elektrizační soustavě do instalovaného výkonu 10 kW licence od Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Tato novela zákona má zákazníkovi umožnit výrobu elektřiny pro vlastní spotřebu bez rozsáhlé byrokratické zátěže. Dalším významným aspektem je dotační program na solární fotovoltaické systémy Nová zelená úsporám. Tento dotační program podporuje instalaci fotovoltaických systémů do dokončených i nových domů a slouží k celkovému snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů na území celé České republiky, tato podpora činí přibližně třetinu potřebných investičních výdajů.

Cílem této bakalářské práce je zjistit, zda je akumulace v malém měřítku rodinného domu reálná tzn. ekonomicky provozuschopná a technologicky proveditelná. Smyslem práce je vyhodnotit tak nejlepší možné způsoby akumulace z hlediska realizovatelnosti, z hlediska pořizovacích a provozních výdajů pro reálný objekt rodinného domu.

## 2. Analýza a popis vybraného rodinného domu z pohledu zásobování a vlastní spotřeby

### 2.1. Základní údaje a popis zásobování rodinného domu

Popisovaný a analyzovaný objekt se nachází v Praze v katastrálním území Bohnice. Samotný objekt je využíván téměř celoročně a je obýván pětičlennou rodinou, z nichž dvě osoby obývají rodinný dům téměř nepřetržitě. Jedná se o podsklepený dvoupodlažní řadový dům z roku 1986 nacházející se v nadmořské výšce 261 m. Dispozice domu o velikosti 5+kk je rozvržena do dvou podlaží, přičemž přízemí objektu je otevřený obytný prostor s navazující kuchyní a v prvním podlaží jsou čtyři samostatné pokoje. Obvodový plášť z cihelných tvárníc s keramickým obkladem je původní, dodatečně nezateplený. Střecha je plochá jednoplášťová. V objektu proběhly pouze výměna oken za nové výplně se šestikomorovými plastovými profily s izolačním dvojsklem a rekonstrukce vnitřních inženýrských sítí včetně výměny kotle na ohřev teplé užitkové vody.

Rodinný domek je připojen k distribuční soustavě na hladině nízkého napětí a pro pokrytí vlastní spotřeby odebírá elektřinu pouze ve vyšším cenovém tarifu za odebranou spotřebu kWh. Elektrická energie je odebírána od společnosti PRE a. s., v již zmíněném vyšším tarifu se sazbou D02d. Tato sazba spadá do třídy TDD 4, takzvaná domácnost s odběrem bez tepelného využití elektřiny. Roční odběr elektrické energie se pohybuje na hodnotě okolo 2,5 MWh. [4]

Z hlediska zásobování v rámci snížení výdajů na elektrickou energii domácnost zvažuje výstavbu fotovoltaické elektrárny. V konkrétním případě zohledňujeme takzvaný grid-on fotovoltaický systém. Tedy systém, který je propojen s distribuční soustavou. V čase, kdy fotovoltaickým systémem generuje elektrickou energii, je tato energie využívána pro pokrytí vlastní spotřeby a případné přebytky dodává do distribuční sítě. Naopak v čase, kdy FVE není schopné dodávat dostatek energie, je potřebné množství čerpáno ze sítě. Pro provoz takovéto elektrárny je potřeba požádat distributora o připojení a následně s distributorem podepsat smlouvu o odkupu přebytku.

V rámci bakalářské práce posuzujeme možnost vybudování takzvané hybridní fotovoltaické elektrárny. U tohoto typu systému není nutné uzavírat smlouvu s distributorem, pokud nezvažujeme prodej přebytků. Tento typ systému slouží k maximálnímu pokrývání spotřeby z elektrické energie vyrobené v rámci FVE. Nezbytnou součástí je pak akumulací systém, do kterého se přebytečná energie ukládá a v případě potřeby je pak využita pro vlastní spotřebu. V případě nedostatku elektrické energie je možné potřebnou energii odebrat ze sítě. Pro toto ukládání se většinou využívají takzvané hybridní měniče. Tyto elektrárny využívají hybridní střídač, ten umožňuje přepínání mezi sítí a FVE, dále slouží pro přeměnu stejnosměrného napětí z panelů či z baterií na střídavé napětí, které může napájet domácí spotřebiče. Navíc mohou být tyto střídače schopny ukládat přebytečnou energii do baterií a dodržovat jejich správné nabíjení.

Velikost FVE volíme na základě několika faktorů, prvním z nich je využitelná plocha pro výstavbu, dalšími faktory jsou bezpochyby poloha objektu, orientace objektu, sklon střechy. Využitelná plocha pro umístění FVE je plochá střecha o ploše cca 80 m<sup>2</sup> a situována směrem na jih. Pro maximální efektivnost systému je nezbytné vytvoření nejlepších technických podmínek. Záleží především na charakteru plochy pro umístění panelů, rozhodujícím faktorem je především sklon, typ krytiny a stínění okolními objekty. U ploché střechy je jistou nevýhodou nutnost dodatečné konstrukce pro dosažení optimálního sklonu panelů a zároveň je tak nutné dodržet



potřebné rozestupy mezi panely, aby nedocházelo k vzájemnému stínění. Tím se tak snižuje maximální možný počet fotovoltaických panelů umístitelných na plochu střechy.

**Systém instalovaný na střeše RD, sklon  
střechy 33°, orientace 10° JZ**

Měsíc	Ed	Em	Hd	Hm
leden	0.85	26.4	1.04	32.3
únor	1.52	42.6	1.88	52.6
březen	2.78	86.3	3.47	108
duben	3.86	116	5.01	150
květen	3.9	121	5.2	161
červen	4.02	121	5.44	163
červenec	3.89	121	5.31	165
srpen	3.66	113	4.94	153
září	2.93	87.9	3.84	115
říjen	1.92	59.7	2.46	76.1
listopad	0.97	29.1	1.22	36.7
prosinec	0.71	22	0.88	27.2
<b>Roční průměr</b>	2.59	78.8	3.4	103
<b>Celkem</b>		945		1240

Ed – průměrná denní produkce elektrické energie (kWh)

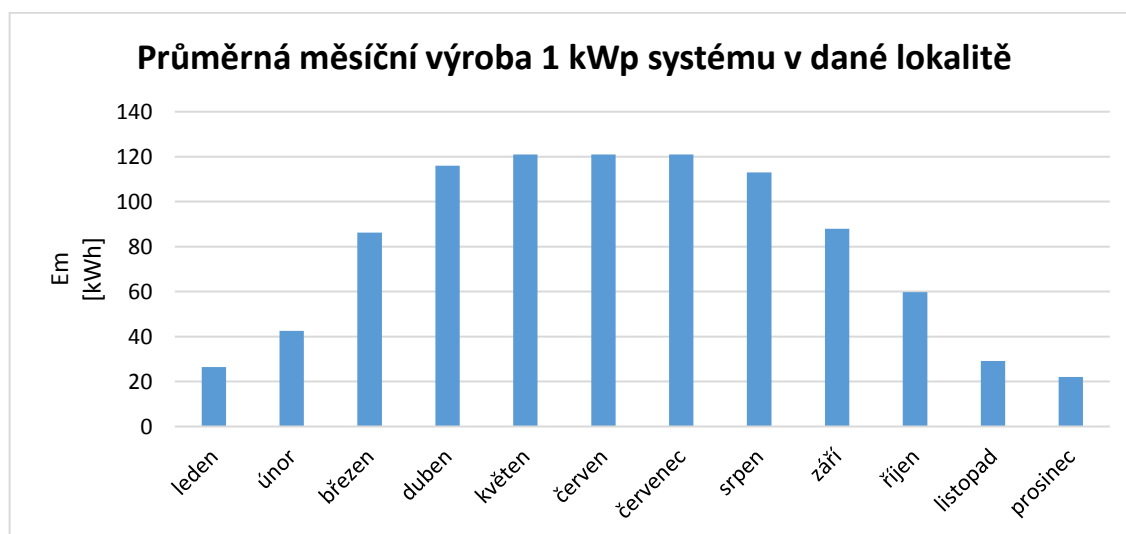
Hd – množství vyrobené elektrické energie za jeden den ze slunečního záření dopadajícího na 1 m<sup>2</sup> FV panelů (kWh/m<sup>2</sup>)

Em – průměrná měsíční produkce elektrické energie (kWh)

Hm – množství vyrobené elektrické energie za jeden měsíc ze slunečního záření dopadajícího na 1 m<sup>2</sup> FV panelů (kWh/m<sup>2</sup>)

Tab.č. 1 Teoretické roční produkce elektrické energie, vytvořená na základě dat z [5]

Pro zjištění ideální orientace fotovoltaických panelů byl využit výpočetní webového portálu. Dle souřadnice GPS odpovídajících poloze objektu vypočteme optimální sklon a azimut panelu. Zkoumaný objekt se nachází na souřadnicích 50°7'52" N, 14°24'19" E a podle výpočetního webového PVGIS[5] se na těchto souřadnicích GPS souřadnicích jeví jako optimální úhel natočení fotovoltaických panelů jeví úhel 33° s orientací 10° na jihozápad. Z jednoho metru fotovoltaického panelu umístěného na střeše tohoto rodinného domu by bylo dle optimálních parametrů natočení ročně generováno 1 240 kWh. Ve výpočtu jsou zohledněny ztráty v měničích, v kabelech a ztráty způsobené odrazem. Volba velikosti instalovaného výkonu FVE je součástí optimalizace velikosti celého akumulačního systému.



Obr.č. 3 Průměrná měsíční výroba 1kWp systému v dané lokalitě, vytvořeno na základě dat z [5]

## 2.2. Analýza a popis vlastní spotřeby elektrické energie

Jelikož analyzovaná domácnost není vybavena elektroměry umožňující průběžný odečet spotřeby elektrické energie a jediným údajem o spotřebě jsou roční faktury. Pro prouzkoumání a analýzu spotřeby elektrické energie je potřeba získat tyto průběhy jiným způsobem.

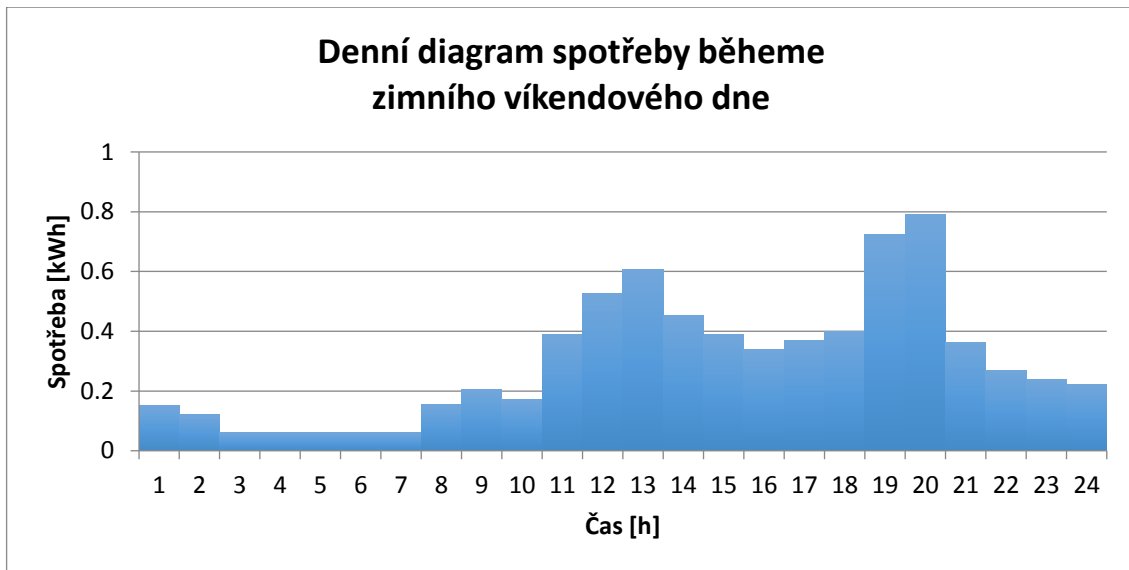
Jednou z možností je analyzovat chování členů domácnosti a s tím související využívání spotřebičů. Charakter spotřeby domácnosti je dán pravidelným týdenním režimem, kdy většinová část členů domácnosti během pracovních dnů odchází do školy či do práce, spotřeba elektrické energie se tak v této době mírně zvyšuje, mezitím se pohybuje na minimální úrovni, kdy se projevuje především standby spotřebičů. Výrazný nárůst spotřeby nastává v době, kdy osoby nepřetržitě využívající objekt začínají využívat kuchyňské spotřebiče a věnují se domácím pracím. Největší spotřeba nastává v době večerní, kdy se do obydlí vrací zbytek členů domácnosti. Víkendová spotřeba má podobný charakter s typickou polední a večerní špičkou, celková spotřeba za celý den bývá však vyšší, což je způsobeno přítomností všech členů domácnosti v době mezi špičkami denního diagramu. Odlišnost spotřeby v jednotlivých měsících je způsobena především změnou slunečního svitu a s tím související využitím světelných zdrojů. V zimních měsících je spotřeba vyšší díky většímu množství elektrické energie spotřebované na osvětlení a častějšímu využívání domácích spotřebičů. Naopak v letních měsících, kdy rodina tráví více času mimo objekt, poklesne spotřeba elektrické energie na nižší hodnotu.

Seznam spotřebičů	Příkon [W]	Standby [W]
Stolní počítač HP	500	2.9
Televize Samsung	80	0.7
Myčka Bosch Silenceplus	930	0.6
Televize Sencor	38	0.7
Led žárovka	15	-
Varná konvice Sencor	2000	-
Mikrovlnná trouba Whirlpool	900	0.35
Pračka Gorenje	1630	0.5
Sušička Gorenje	2000	0.5
Seznam cyklických spotřebičů	[kWh/rok]	
Lednička Lg	200	-
Mrazák Zanussi	300	-

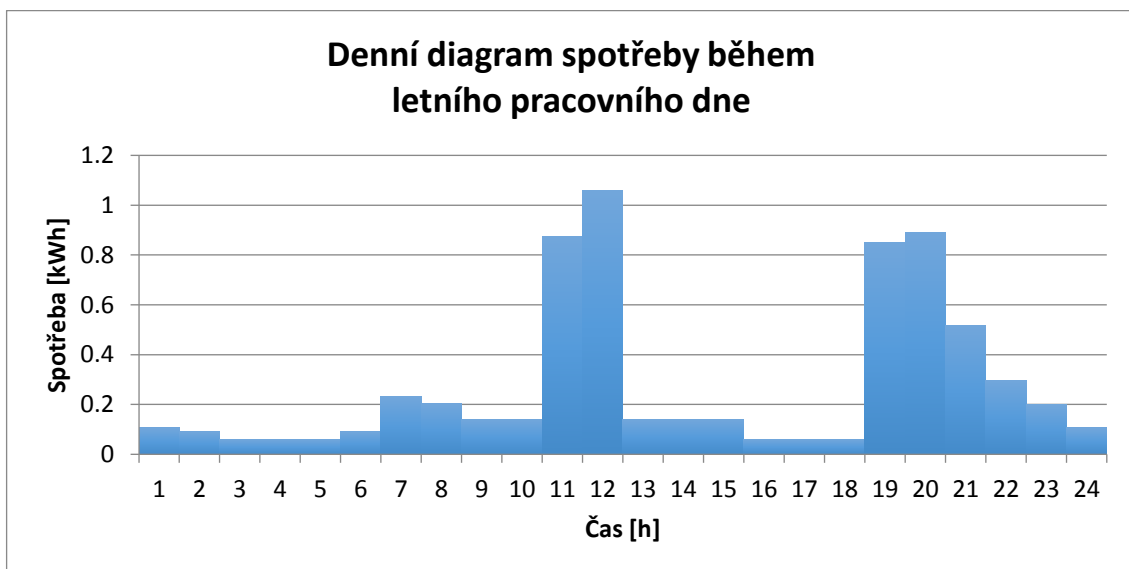
Tab.č. 2 Seznam spotřebičů využívaných v domácnosti

Modelová spotřeba elektrické energie je propočítána na základě pravděpodobného denního využití spotřebičů v běžném pracovním a víkendovém dni. Jednotlivé spotřebiče pracují v odlišných typech provozu. Některé spotřebiče jako je například lednička či mrazák pracují v cyklickém provozu, jejich spotřebu v modelovém denním diagramu zvažujeme jako, kdyby pracovaly ve dvaceti čtyřhodinovém režimu a jejich spotřeba je vypočtena z roční spotřeby deklarované výrobcem. Větší část spotřebičů je ovšem spouštěna jen po určitou část dne, dle potřeby uživatelů. Jejich spotřebu tak počítáme dle doby jejich využití a příkonu spotřebiče. V denním digramu spotřeby je uvažována i jejich spotřeba „standby“. Využití světelných zdrojů se mění dle časů východu a západu slunce. Většina využívaných spotřebičů patří do skupiny

energetické náročnosti A+. Pro ohřev teplé užitkové vody je zajištěn plynovým kondenzačním kotlem s akumulací nádobou pro ohřev teplé vody. V následujících grafech na Obr.č. 4 a Obr.č. 5 znázorňují nejvíce rozdílné průběhy denní spotřeby. Ostatní modelové spotřeby pro jednotlivé roční období jsou dále k nahlédnutí v přílohách (Příloha 1-Příloha 8).



Obr.č. 4 Denní diagram spotřeby během zimního víkendového dne



Obr.č. 5 Denní diagram spotřeby během letního pracovního dne

Další možností vytvoření průběhu spotřeby je využití hodnot poskytovaných operátorem trhu. Pro tento případ zveřejňuje operátor trhu typizované diagramy dodávky, které se skládají z odhadovaných hodnot pro každou hodinu během roku. Z hodnot roční spotřeby získaných z faktur za spotřebovanou elektrickou energii, lze pomocí několika výpočtů v Excelu vytvořit typizované denní diagramy pro danou domácnost. Z těchto odhadovaných statistických údajů je možné získat diagramy pro konkrétní dny během celého roku, dle vzorce (2.2.1)[6]

$$o_h = o_r * \frac{r_h}{\sum_{h=1}^{8760} r_h} \text{ [kWh]} \quad (2.2.1)$$

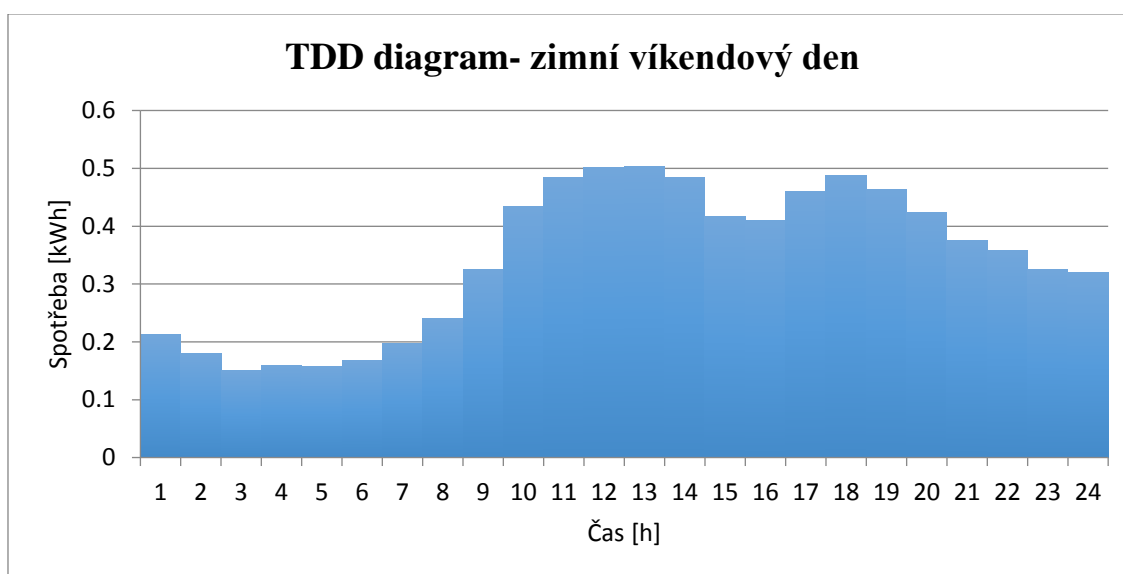
kde

$o_h$  je hodnota odběru pro hodinu h

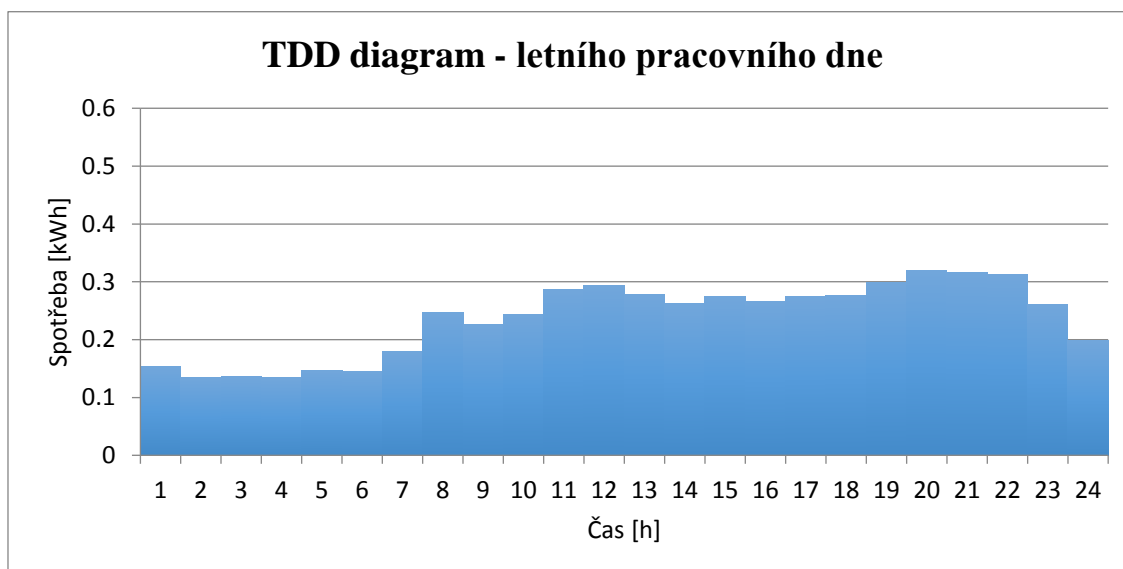
$o_r$  je roční hodnota odběru

$r_h$  je hodnota  $TDD_n$  pro hodinu h.

TDD slouží totiž k odhadu průběhu spotřeby velkého množství domácností a průběh denního diagramu je pak podobný průměrné hodnotě zkoumané skupiny odběratelů v dané sazební skupině. U metody TDD nelze očekávat shodu pro jednotlivé domácnosti. Typizovaný denní diagram tak bere v potaz rozdílné chování a zvyklosti odběratelů, ať už se jedná o důchodce, studenty, či osoby pracující z domova, jedná se tak o statistický údaj a není tak vhodné na jeho průběhu založit analýzu spotřeby v dané domácnosti, i když vypočtené průběhy mohou být pro všechny zákazníky v dané třídě velmi podobné.



Obr.č. 6 Typizovaný denní diagram pro zimní víkendový den, vytvořený na základě dat z [4]



Obr.č. 7 Typizovaný denní diagram pro letní pracovní den, vytvořený na základě dat z [4]

### 3. Identifikace a popis technologií akumulace energie pro RD s malou FVE

Technologie sloužící pro uskladňování elektrické energie slouží k jejímu absorbování a uložení po určitou dobu před jejím uvolněním a využitím. Prostřednictvím tohoto procesu můžeme překlenout časové a geografické mezery mezi výrobou a spotřebou energie. Akumulace může být využívána jak v malém, tak velkém měřítku v celém energetickém systému. Zatímco některé technologie jsou prakticky využívány už dnes, většina z nich je stále v počáteční fázi svého vývoje.

Technologie akumulace se dají rozdělit na čtyři základní skupiny. První skupinou je takzvaná mechanická akumulace elektrické energie. Do této skupiny patří CAES neboli akumulace energie ve formě stlačeného vzduchu. Další možnou technologií jsou setrvačnické, ve kterých se uchovává kinetická energie v rotujícím se rotoru, a v neposlední řadě přečerpávací elektrárny, které naopak využívají potenciální energii vody. Všechny tyto zmíněné způsoby akumulace jsou vhodné pro aplikaci na úrovni výroby či distribuce elektrické energie, přečerpávací elektrárny a CAES slouží k dlouhodobému uchování, a naopak setrvačnické ke krátkodobému uchování.

Za další samostatnou skupinu lze považovat technologie využívající elektromagnetickou akumulaci, tuto technologie využívají superkapacitory, u kterých je energie uchovávána v elektrostatickém poli mezi dvěma elektrodami kapacitoru, a supravodivé cívky, jejichž princip je založen na akumulaci energie do magnetického pole, které je tvořeno průchodem stejnosměrného elektrického proudu vodičem s téměř nulovým odporem. Obě tyto technologie slouží ke krátkodobému ukládání o vysoké účinnosti, jsou ale stále na počátku svého vývoje.

Mezi zmíněné skupiny akumulací technologií patří i technologie tepelné akumulace. Která buď využívá přímo solárních termálních elektráren a akumuluje tepelnou energii. Příkladem jsou akumulace do jámy, tedy Pit storage systémy, ty využívají většinou vodu pro uložení tepelné energie a následné využití pro vytápění. Tyto systémy se používají spíše na úrovni výroby. Pro malé elektrárny se využívají menší izolované tepelné nádrže například kotle nebo bazény. U malých fotovoltaických elektráren je možné využít přebytky pro ohřev teplé vody. Tento způsob je dokonce podporován dotačním programem, ale z důvodu užívání nově vybudovaného plynového kondenzačního kotle pro ohřev teplé užitkové vody, byla tato možnost v práci vyloučena.

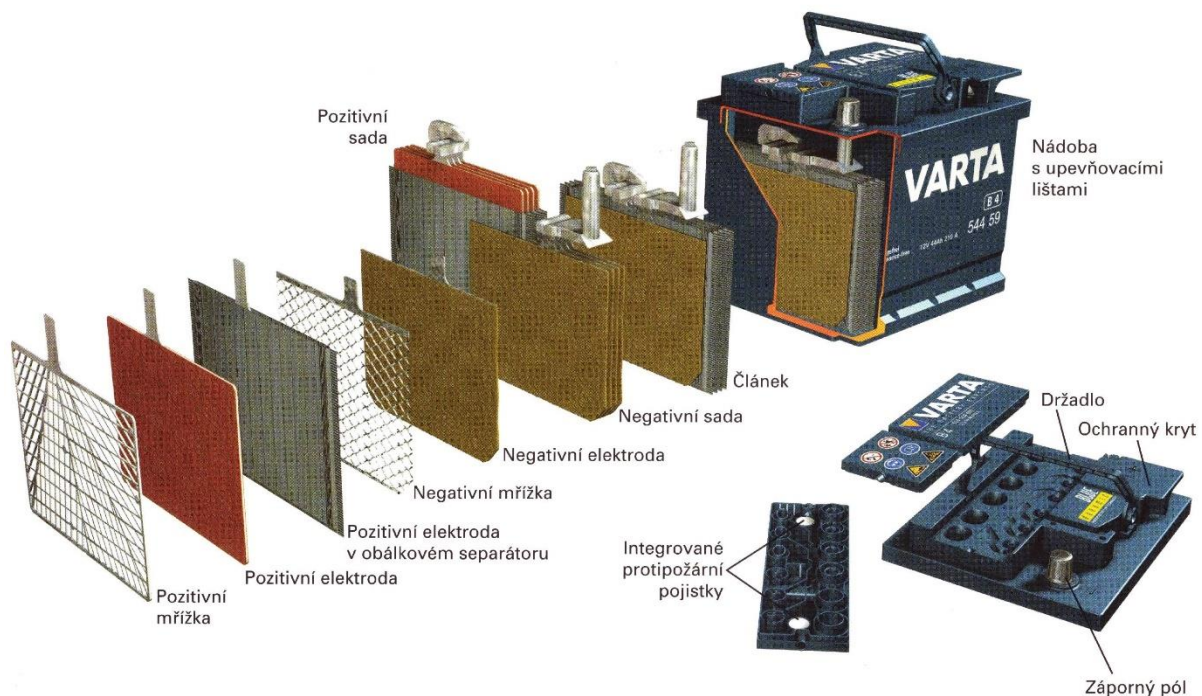
Technologie založená na principu chemické akumulace, je technologií využívající vratné chemické reakce mezi jednotlivými články. Mezi tuto skupinu patří palivové články, baterie a akumulátory. Její využití pro aplikaci akumulace elektrické energie v součinnosti s malou fotovoltaickou elektrárnou se jeví jako nejlepší řešení hlavně díky prostorové nenáročnosti a skladnosti.[8]

### 3.1. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory byly vynalezeny roku 1859 panem Gastonem Plantém, který demonstroval před francouzskou akademií věd v roce 1860 jako první jejich funkci pro komerční užití. I přes své stáří a velký rozmach Li-ion baterií mají olověné akumulátory stále širokou škálu použití i v dnešní době. Jejich stálá popularita je způsobena velmi přijatelnou cenou, spolehlivostí a dobrým výkonem.[9]

#### Konstrukce

Akumulátor je tvořen sériovou kombinací jednotlivých článků, které jsou uloženy v kontejneru, vyrobeného z materiálu odolného vůči kyselině. Nominální napětí jednoho článku je 2 V. Vlastní články mají dvě deskové elektrody, z nichž každá je uložena na mřížce a vzájemně jsou odděleny pomocí separátoru a ponořeny do zředěného roztoku kyseliny sírové. Odlišností detailů řešení elektrod a separátoru a jejich různou konfigurací se ovlivňuje především životnost a vnitřní odpor článku. Podle typu provedení lze články rozdělit do dvou základních typů, na otevřené články se zaplavenou konstrukcí a články VRLA, tedy články bezúdržbové řízené ventilem. [10, 11]



Obr.č. 8 Konstrukce olověného akumulátoru, převzato z [12]

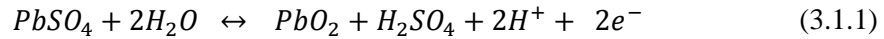
Baterie se zaplavenou konstrukcí jsou cenově nejvýhodnější variantou, bohužel ale mají malou hustotu energie na jednotku hmotnosti. Hlavním problémem těchto akumulátorů je nezbytná údržba a kontrola stavu elektrolytu, a navíc je není možné provozovat v jakékoliv poloze.

Bezúdržbové akumulátory řízené ventilem se dnes rozdělují na dva typy, podle způsobu znehynění elektrolytu uvnitř článků. Prvním typem je typ označený jako AMG, kde je elektrolyt nasáknutý v pórech separátoru ze skelných vláken, a druhým typem je akumulátor s elektrolytem ve formě gelu. U gelových akumulátorů se znehynění dosahuje přidáním oxidu křemičitého do teplého elektrolytu, který pak po vychladnutí ztuhne. Oba typy bezúdržbových akumulátorů dosahují střední doby životnosti okolo 5 let. [13, 14]

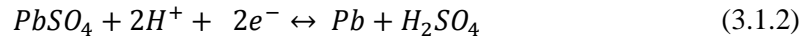
## Chemické reakce

Proces nabíjení a vybíjení olověných akumulátorů je založen na elektrochemické reakci mezi kladnou elektrodou a zápornou elektrodou ponořenými do zředěného roztoku kyseliny sírové. Jedná se o vratný děj a můžeme ho popsat pomocí chemické rovnice.[11]

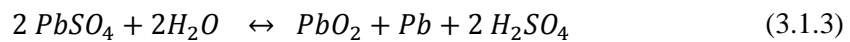
Kladná elektroda:



Záporná elektroda:



Celková reakce v olověném článku:



Kde šipka směřující vpravo určuje rovnici pro nabíjení a šipka směrem vlevo pro vybíjení. Při vybíjení reaguje oxid olovičitý a olovo s elektrolytem kyseliny sírové a dochází k vytvoření síranu olovnatého, vody a energie, elektrolyt řídne. Během nabíjení se cyklus obrací, tedy síran olovnatý a voda jsou elektrochemicky převedeny na oxid olova a kyselinu sírovou, elektrolyt houstne. Spolehlivým ukazatelem stavu akumulátoru je tedy hustota elektrolytu, která se zvětšujícím se nábojem zvětšuje a naopak, dalším ukazatelem stavu akumulátoru je zvětšující se napětí při nabíjení.[9]

Pokud uvažujeme o nejvhodnějším olověném akumulátoru pro aplikace s fotovoltaickým systémem, pak se bavíme o takzvaných trakčních bateriích neboli bateriích s hlubokým cyklem. Jsou navrženy tak, aby vydržely opakované vybíjení až o 80 % hodnoty svojí kapacity. Tyto baterie mají menší počet desek v buňce než klasické startovací baterie, desky jsou ale mnohem tlustší a jsou více odolné. Přestože jsou navrženy pro hluboké cykly, stále i u tohoto typu baterii platí, že čím méně se vybijí, tím více vydrží, především kvůli níže zmíněné sulfataci. [15]

## Samovybíjení

Jedním z problémů olověných akumulátorů je děj zvaný samovybíjení. Termodynamická nestálost elektrod umožňuje elektrodám reagovat s vodným roztokem a uvolňovat z kladné elektrody vodík a ze záporné kyslík, což vede k oxidaci, navíc může docházet k chemické reakci mezi olovenou mřížkou a oxidem olovičitým a celkově se snižuje elektrická kapacita článku. Rychlost samovybíjení je závislá na rostoucí koncentraci kyseliny sírové a na rostoucí teplotě a roste s počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů akumulátoru. [11]

## Sulfatace

Jde o proces vzniku síranu olovnatého při vybíjení akumulátoru. Tento síran postupně na mřížkách akumulátoru vytváří malé krystalky, na které se vážou postupně další, a vzniká hrubozrná struktura. Zmenšuje se účinná plocha elektrod, čímž se snižuje kapacita akumulátoru a zároveň se zvyšuje vnitřní odpor. K největšímu nárůstu sulfatace dochází při hlubokém vybití a také při nedobíjení akumulátoru. Nedochází k redukování krystalů sulfátu a ty tak při dalším vybíjení jen narůstají. Sulfataci se tedy dá zabránit pravidelným dobíjením akumulátoru, či výměnou elektrolytu.[9, 11]

## 3.2. Li-ion akumulátory

Dnes jsou Li-ion baterie jednou z nejrychlejší a nejvíce se rozvíjející technologií chemické akumulace. Postupem času díky svým zdokonalujícím se vlastnostem nahrazují a překonávají nikl-kadmiové, nickel-metalhydridové a olovené akumulátory ve všech možných oblastech použití, jejich hlavními výhodami je především větší uložené množství energie v jednotce objemu, doba životnosti, absence toxických těžkých kovů.[16]

### Konstrukce

Technologický princip lithium-iontových akumulátorů je založen na elektrochemické reakci, která se vyskytuje mezi kladnou a zápornou elektrodou. Kladná elektroda obsahuje oxid lithia a záporná je vyrobena z uhlíkového materiálu. Typicky bývá kladná elektroda lithium-kobalt oxidu ( $\text{LiCoO}_2$ ), lithium-mangan oxidu ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), či z lithium-nikl dioxidu ( $\text{LiNiO}_2$ ). Elektrody jsou odděleny pomocí separátoru z porézních polymerních materiálů a ponořeny do elektrolytu, který se skládá z lithium hexafluorofosfátu ( $\text{LiPF}_6$ ). Lithiové články jsou produkovány v prstencovém, hranolovém a válcovém formátu.

Rozlišujeme několik základních typů lithiových akumulátorů. Prvním z nich jsou Li-ion akumulátory s kapalným elektrolytem. Konstrukce článků toho akumulátoru má většinou válcovou formu a nominální napětí jednoho článku je 3,6 V. Elektrody jsou svinuty po celém obvodu článku a obklopeny kovovým pláštěm s bezpečnostním těsněním. Hustota uložené elektrické energie se pohybuje v rozmezí 150-200 Wh/kg.

Dalším typem jsou články s elektrolytem tvořeným polymerní sloučeninou (Li-Pol), elektrolyt se zde nenachází v kapalně formě, jedná se o takzvané lithium-polymerové články. Tyto články mají menší mechanickou odolnost, díky obalu z hliníkové folie jsou velmi pružné, ale snadno poškoditelné a hrozí u nich tak nebezpečí zkratu. Díky menší hmotnosti obalu se energetická hustota pohybuje v hodnotách o trochu vyšších než už předchozího typu. Využívají se u nepravidelně tvarovaných akumulátorů.

Lithium-železo-fosfátové články jsou třetím zmíněným typem lithiových článků, jejich označení se liší dle typu materiálu kladné elektrody  $\text{LiFe}$ ,  $\text{LiFePO}_4$ , nebo  $\text{LiFeYPO}_4$ . Nominální napětí článku je 3,2 V. Tyto články jsou tepelně stabilní a mají vyšší proudovou zatížitelnost. Hodnota energetické hustoty dosahuje hodnot okolo 90-120 Wh/kg. Tento typ akumulátorů postupně nahrazuje olovené akumulátory jako záložní zdroje.

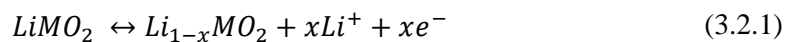
Posledním typem článků jsou lithium-titanové, neboli LTO. Materiál katody je stejný jako u Li-ion a Li-Pol článků a však materiál anody je tvořen sloučeninou titanu, například lithium-titan-oxidem ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ). Materiál anody umožňuje rychlejší nabíjení než u klasických Li-ion baterií, nevýhodou je však nižší jmenovité napětí článku, které je 2,4 V, což vede i k nižší energetické hustotě 30-110 Wh/kg. LTO mají však velmi dobrou cyklickou životnost a schopnost provozu při nízkých teplotách.[16]

### Chemické reakce

Je-li baterie nabíjena, pak jsou ionty lithia deinterkalovány a jako ionty migrují přes elektrolyt směrem k anodě, kde se interkalují do mřížky uhlíkového materiálu, jako atomy lithia. Tento proces během vybíjení probíhá obráceně. Během tohoto procesu nedochází k chemické reakce samotným uhlíkovým materiálem ani elektrolytem a nedochází tak ke snižování životnosti akumulátoru. V následujících rovnicích jsou oxidy kovů pro materiál katody reprezentovány prvkem  $\text{LiMO}_2$  [17]



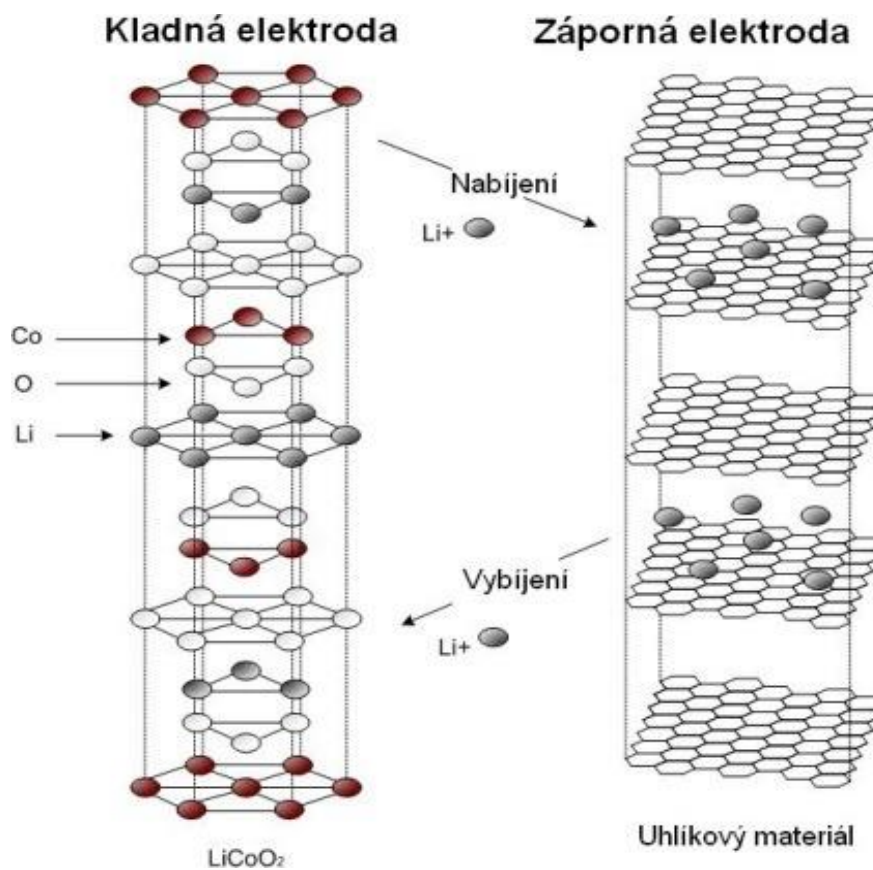
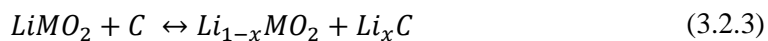
Reakce na kladné elektrodě:



Reakce na záporné elektrodě:



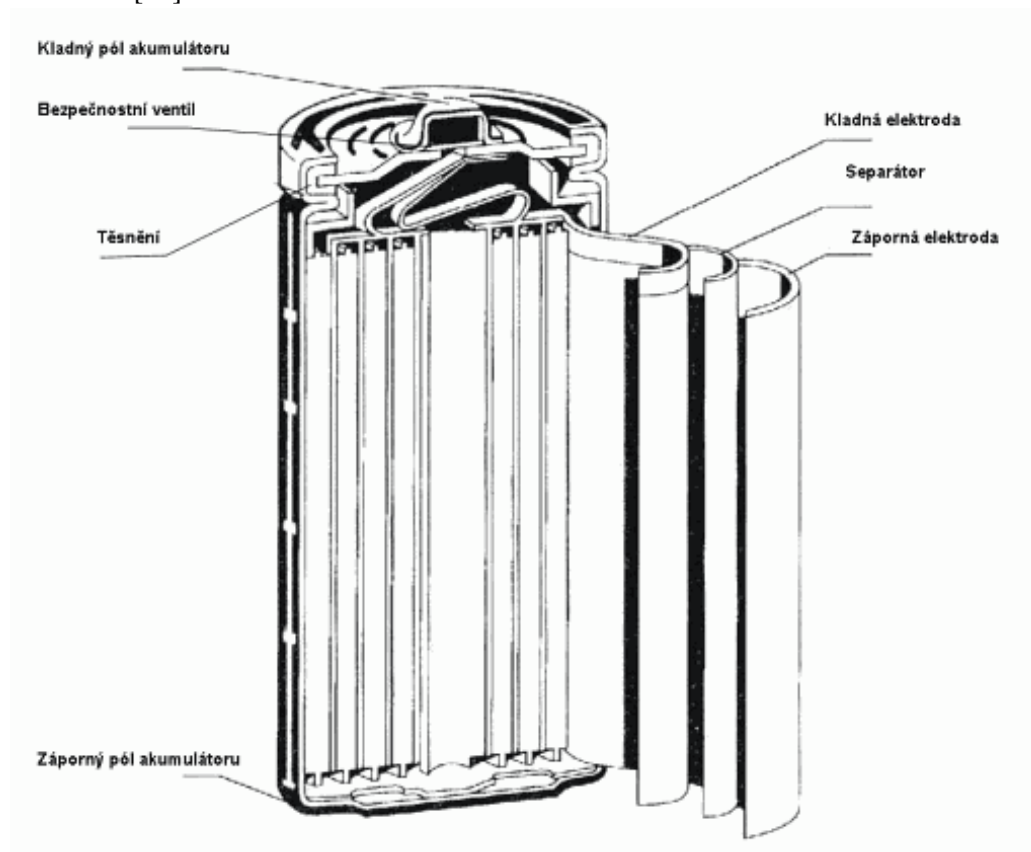
Celková reakce v Li-ion článku:



Obr.č. 9 Princip funkce lithiového akumulátoru, převzato z [16]

### 3.3. NiCd akumulátory

Niklkadmiový akumulátor (NiCd) si roku 1899 nechal patentovat švédský vynálezce Waldemar Jungner. Vzestup patentované technologie nastal v období druhé světové války, kdy se díky metodě sintrování elektrod rapidně zvýšila energetická hustota NiCd baterií a ta se tak stala nejvhodnější variantou pro aplikaci v leteckém průmyslu. Následně pak došlo k vývoji uzavřených NiCd baterií, které díky rekombinaci plynu uvnitř článku nepotřebovaly únikové ventily. Niklkadmiové akumulátory zůstávají populární volbou pro mnoho elektronických a energetických aplikací díky malým nárokům na údržbu, teplotní odolnosti a dlouhé životnosti.[18]



Obr.č. 10 Konstrukce NiCd akumulátoru, převzato z [19]

#### Konstrukce

Baterie mají obvykle pouzdro tvořené z oceli nebo plastu. Pouzdro obsahuje jednotlivé články zapojené do sériové kombinace, nominální hodnota jednoho článku je 1,2 V a jejich počet je závislý na konkrétní aplikaci, obvyklá hodnota se pohybuje kolem dvaceti článků. Koncové vývody sériové kombinace článků jsou vyvedeny na vnější stranu pouzdra. Nezbytnou součástí konstrukce jsou systémy pro odvod vyvinutého plynu a chlazení.[20]

Samotný článek je tvořen kladnou elektrodou, která se skládá z hydroxidu nikelnatého, a zápornou elektrodou, a ta se skládá z hydroxidu kademnatého. Elektrody jsou vzájemně odděleny separátorem. Obě elektrody jsou ponořeny elektrolytu ze zředěného roztoku hydroxidu draselného, ten slouží především k přenosu iontů, tedy v průběhu nabíjení a vybíjení nedochází k změnám jeho složení. V elektrolytu se také v malém množství nachází hydroxid lithný, který rozšiřuje teplotní rozsah použití, zlepšuje účinnost a životnost. Kontejner článku bývá vyroben z nylonu nebo z oceli a je opatřen svorkami. Články se většinou řadí do sériové kombinace, kde

nominální napětí jednoho článku je 1,2 V. Existují dva základní typy článků, otevřené a uzavřené. [18]

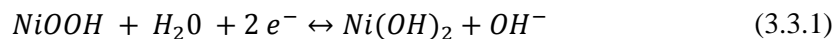
Otevřené články mají elektrody zaplaveny elektrolytem a jsou opatřeny zátkou, která slouží jako odvětrávací systém pro plyny vodíku a kyslíku generované během nabíjecího procesu. Plyny vznikají rozkladem elektrolytu a je tedy nutné množství elektrolytu periodicky kontrolovat a případnou ztrátu rozložené části elektrolytu doplnit pomocí čisté destilované vody. [18]

Uzavřené články rekombinují plyny vzniklé při nabíjení uvnitř článku. Správné množství elektrolytu zajišťuje, aby elektrody i separátory byly dostatečně navlhčeny a zároveň elektrolyt ponechává prostor nutný pro generaci kyslíku a vodíku během nabíjení. I přesto jsou však opatřeny pojistným bezpečnostním ventilem, který zabraňuje nebezpečnému nárůstu tlaku uvnitř článku při dlouhodobě vysokých nabíjecích či vybíjecích prouděch. Vlivem působení těchto proudů elektrody nestačí dostatečně rychle absorbovat množství vyvinutého plynu a nebezpečně narůstá vnitřní tlak. [18]

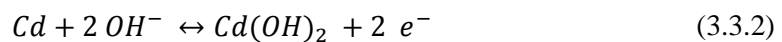
### Chemické reakce

Během procesu nabíjení je na kladné elektrodě energie z vnějšího zdroje ukládána přeměnou hydroxidu nikelnatého do vyššího energetického stavu na oxid hydroxidu nikelnatého a na záporné elektrodě hydroxid kadmínatý redukován na kadmium. Při vybíjení probíhá děj reverzibilně a energie je naopak uvolňována. Oxid hydroxidu nikelnatého je redukován na hydroxid nikelnatý a na záporné elektrodě kadmium oxiduje na hydroxid kadmínatý. [20]

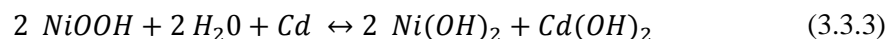
Rovnice reakce na kladné elektrodě:



Rovnice na záporné elektrodě:



Rovnice celkové chemické reakce v NiCd článku:



Výše uvedená rovnice popisuje proces nabíjení a vybíjení NiCd článku. Chemická reakce během nabíjení a vybíjení článku nepřenáší žádný materiál elektrod, a tak nedochází ke spotřebování aktivních materiálů a snižování životnosti. Rovnice vybíjení je znázorněna směrem šipky vlevo a rovnice nabíjení obráceně. [18]

### Paměťový jev

Jedná se o jev, který může omezovat kapacitu akumulátoru. Tento děj nastává při mnohokrát opakovaném vybíjení akumulátoru na malou a vždy stejnou hloubku vybití, po které nastává plné nabití. Například u přesně počítačem řízených systémů, ve kterých jsou články takto opakovaně a přesně vybíjeny na hodnotu 25 %, a pak opět nabity bez přebíjení, následně dochází po dlouhodobém opakování ke ztrátě okolo 25 %.

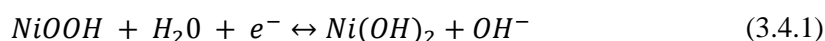
Paměťový jev je často zaměňován s takzvanou napětíovou depresí. Napětíová deprese způsobuje pokles výstupního napětí baterie, tento pokles je zapříčiněn přebíjením baterie. Deprese je jednoduše odstranitelná pomocí úplného vybití a opětovného nabití jednotlivých článků. [18]

### 3.4. NiMH akumulátory

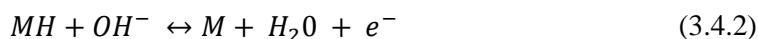
Nikl metalhydridové (NiMH) baterie jsou akumulátory s relativně podobnou charakteristikou jako nikl kadmiové. Hlavní rozdíl je v materiálu negativní elektrody, kde na místo kadmia používaného u NiCd baterie je používán vodík ve formě metalhydridu. Metalhydridová elektroda má vyšší hustotu energie než kadmiová, a proto je elektroda nikl metalhydridové baterie menší, což umožňuje zvětšení objemu kladné elektrody a tím zvýšení kapacity. Zároveň jsou nikl metalhydridové baterie, díky nepřítomnosti kadmia, šetrnější k životnímu prostředí.[18]

Uzavřené nikl metalhydridové články jsou konstruovány ve válcové, knoflíkové nebo hranolové konstrukci. Hranolové články umožňují efektivnější montáž, eliminuje se tak množství dutin a zvedá se objemová hustota energie baterie. Základní konstrukce se skládá z kladné a záporné elektrody izolované separátory. Kladná elektroda je z hydroxidu oxidu niklu a záporná elektroda je tvořena sloučeninou kovu a vodíku, takzvaného metalhydridu. Důležitou vlastností použitého kovu, respektive kovové slitiny je schopnost přijímání a vydávání vodíku ve vlastním objemu. Další součástí článku je elektrolyt, který je i u NiMH baterií tvořen vodním roztokem hydroxidu draselného a je nasáknut v pórech elektrod a separátoru.[18]

Kladná elektroda v nabitém stavu je tvořena nikl metalhydridem, stejně jako u NiCd baterie. Tedy i změny a reakce probíhající na kladné elektrodě jsou shodné.



Naopak záporná elektroda se skládá z aktivní látky ve formě metalhydridu, která během nabíjení váže a během vybíjení uvolňuje vodík.



Celková reakce:



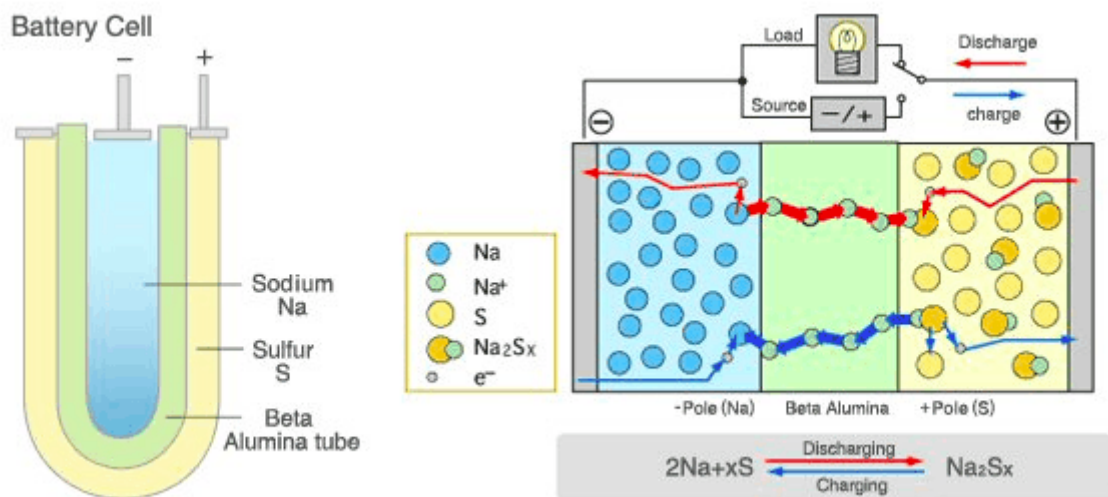
U uzavřených metalhydridových článků se pro rekombinaci kyslíku používá mechanismus bránící nárůstu vnitřního tlaku, je založen na rozdílných kapacitách elektrod. Podobně jako u NiCd baterií se kladná elektroda nabije rychleji než záporná a dochází k vývoji kyslíku, který prochází skrz separátor. Na záporné elektrodě je kyslík vázán a současně dochází k oxidaci aktivního materiálu elektrody, ta potom nemůže být plně nabita a nedochází tak k vývinu vodíku a zvýšení vnitřního tlaku článku.[18]

### 3.5. NaS akumulátory

Sodík-sírové baterie (NaS baterie) využívají k akumulaci elektrické energie roztavený kov a pracují tak na vysoké teplotě. Vzhledem k provozní teplotě a hrozbě koroze jsou NaS baterie vhodné zejména pro velkoplošné a nemobilní aplikace. Jejich výhodou je vysoká účinnost, hustota energie a dlouhodobá životnost.[21]

#### Konstrukce

NaS bateriové systémy využívají k ukládání energie elektrochemické reakce mezi kladnou elektrodou vyrobené z roztavené síry a zápornou elektrodou, která je obvykle vyrobena z roztaveného sodíku. Elektrody jsou od sebe odděleny pevnou keramickou membránou z oxidu hlinitého, který zároveň zastává i funkce elektrolytu. Nádoba a těsnění bývají vyrobeny z nerezové oceli. Kvůli již zmíněným vysokým teplotám, nebezpečí koroze a hořlavosti kovového sodíku musí být nádoba a těsnění článku vzduchotěsné a dvoustěnné. Jednotlivé články jsou od sebe odděleny pískem, který slouží jako ochrana proti požáru a napomáhá k zafixování článku.[22]



Obr.č. 11 Schéma sodíkové baterie a chemická reakce, převzato z [23]

Celková reakce:



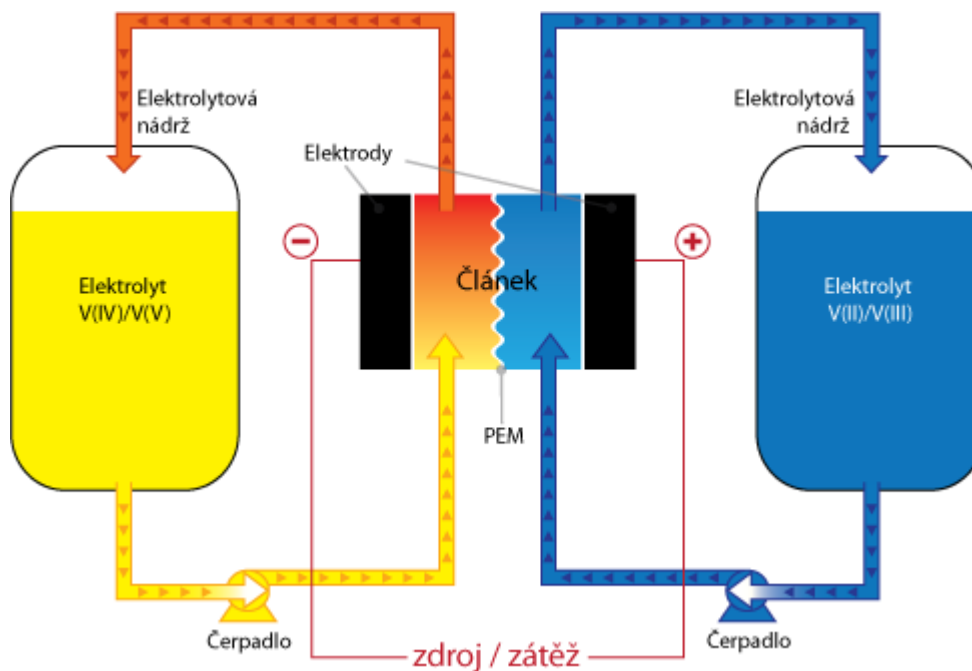
Chemická reakce

Při vybíjecím procesu membrána umožňuje pouze kladně nabitým iontům sodíku procházet k síře, kde reagují a vzniká sulfid sodíku. Během nabíjení se proces obrací, sulfidy se rozkládají na síru a ionty sodíku, které putují zpět přes membránu. Pracovní teplota baterie je udržována mezi 300 – 350 stupni Celsia, aby elektrody byly v roztaveném stavu, a tedy nezbytnou součástí takového bateriového systému je tedy i nezávislý ohřívač.[22]

### 3.6. Flow akumulátory

Průtokové baterie jsou dalším z typů dobíjecích baterií, k akumulaci elektrické energie se používají dva kapalné elektrolyty, jeden s kladně nabitými a druhý se záporně nabitými nosiči. Elektrolyty jsou odděleny pomocí iontově selektivní membrány, která během procesu dobíjení a nabíjení umožňuje průchod iontu a vykonání chemické reakce. Oddělené elektrolyty nepodléhají degradačním procesům a dosahují tak velkého počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů. Mezi známé typy těchto baterií patří Bromid sodné baterie (PSB), Vanadium redoxní baterie (VRB) a Zinko-bromidové baterie (Br-ZnBr). [24]

Redoxní průtokové baterie jsou jednou ze tříd průtokových akumulátorů, jejich jméno je odvozeno od chemické redukce a oxidační reakce, která slouží ke skladování energie. Během vybíjení dochází u jednoho elektrolytu k elektrochemické oxidaci a druhý elektrolyt je elektrochemicky redukován. Systém baterie se tedy skládá ze dvou zásobníků elektrolytu, které jsou propojeny s palivovým článkem přes čerpací systémy, který zajišťuje cirkulaci.



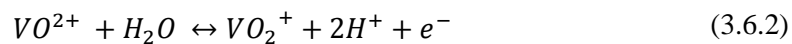
Obr.č. 12 Konstrukce průtokové baterie, převzato z [25]

Konstrukce palivového článku je sestavena z desek s průtokovými kanálky, uvnitř kterých jsou umístěny uhlíkové elektrody a membrány. Vanadové redoxní baterie (VRB) mají elektrolyty tvořeny vanadovou solí v různých oxidačních stavech a koncentrovanou kyselinou sírovou. Nominální napětí takového článku se pohybuje okolo 1,2-1,6 V a jeho účinnost dosahuje až 85 %. Na rozdíl od ostatních akumulátorů, ve kterých je energie uložena uvnitř článku, se zde energie ukládá do elektrolytu uloženého v nádržích.[26, 27]

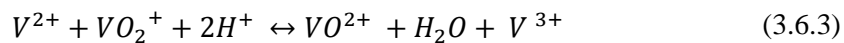
Reakce na záporné elektrodě:



Reakce na kladné elektrodě:



Celková reakce:



Během vybíjecího cyklu na záporné části článku dochází k oxidaci  $V^{2+}$  na  $V^{3+}$  a uvolňuje se elektron, který koná práci ve vnějším okruhu, kladná část přijímá elektron z vnějšího obvodu a dochází k redukci  $VO_2^+$  na  $VO^{2+}$ . V případě nabíjení probíhají reakce obráceně.[27]

## 3.7. Porovnání technologie akumulace

Volba vhodného systému akumulace záleží především na požadovaných parametrech systému, porozumění a identifikování správných hodnot parametrů je základní krokem pro zvolení vhodného akumulčního systému pro konkrétní aplikaci. Baterie pro fotovoltaické systémy musejí splňovat přísnější požadavky, měly by být schopny vydržet časté vybíjení a nabíjení, dále by měly umožňovat hluboké vybití, měly by mít dlouhou životnost, jednoduchou údržbu, velkou kapacitu a malou hodnotu samovybíjení. Výše uvedené a popsané články a technologie mají rozdílnou konstrukci, elektrické a chemické vlastnosti a liší se tak i jejich přednosti a nedostatky pro dané použití.

### Parametry akumulátorů

**Hustota energie** [Wh/kg] udává poměr mezi nominální energií akumulátoru na jednotku hmotnosti, tento parametr je charakteristickým rysem chemických reakcí a objemu daného článku, slouží jako měřítko toho, kolik energie baterie obsahuje ve srovnání s její hmotností.

**Počet cyklů** [-] zobrazuje životnost akumulátoru v počtu nabíjecích a vybíjecích cyklů. Počet životních cyklů akumulátoru; hodnota je velmi závislá na způsobu používání akumulátoru, tedy na hloubce vybití a na provozní teplotě.

**Hloubka vybití DOD** [%] – udává procentuální hodnotu kapacity baterie, která byla během vybíjení využita. S hloubkou vybíjení se snižuje životnost akumulátoru, tedy počet nabíjecích a vybíjecích cyklů.

**Účinnost** [%] zobrazuje energetickou účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu a vychází z ní tak celková účinnost akumulčního systému, zahrnuje všechny vlivy chemických a elektrických reakcí. Účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu je jedním z parametrů závislých na DOD.

**Samovybíjení** [% za měsíc] je měřítkem, jak rychle bude nepoužívaná buňka postupně ztrácet svou energii vlivem nežádoucích chemických reakcí. Rychlost závisí na chemickém složení a teplotě.

**Nominální napětí** [V] je hodnota napětí, která označuje daný článek, slouží k jeho identifikaci a popisu. Nominální napětí je určeno elektrochemickými vlastnostmi článku.

**Pracovní teplota** [°C] – Rozsah teplot, při kterých je možné baterii spolehlivě použít vzhledem k vlastnostem a chemickým reakcím baterie. Bateriím použitým v teplotách mimo rozsah provozní teploty hrozí trvalé poškození. [28]



	<b>Hustota energie [Wh/kg]</b>	<b>Počet cyklů při DOD 80 % [-]</b>	<b>Účinnost [%]</b>	<b>Samovybíjení [%/měsíc]</b>	<b>Nominální napětí [V]</b>	<b>Pracovní teplota [°C]</b>	<b>Toxicita [-]</b>
<b>Pb</b>	30-50	200-300	60-90	10	2	od -20 do 60	velmi vysoká
<b>NiCd</b>	45-80	500-1000	70-90	30	1,2	do -40 do 60	velmi vysoká
<b>NiMH</b>	60-120	400-500	70-90	30	1,2	od -20 do 60	nízká
<b>LiCoO<sub>2</sub></b>	150-200	500-1000	85-95	3	3,6	od -20 do 60	nízká
<b>LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	100-150	300-700	85-95	3	3,7	od -20 do 60	nízká
<b>LiFePO<sub>4</sub></b>	90-120	1000-2000	85-95	3	3,3	od 0 do 60	nízká
<b>Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub></b>	30-110	>4000	85-95	3	2,4	od 0 do 60	nízká
<b>VRB</b>	15-50	>10000	70-80	0	1.4-1.6	od 10 do 45	vysoká
<b>NaS</b>	150-250	4500	75-85	0	2	od 300 do 350	vysoká

Tab.č. 3 Tabulka porovnání parametrů bateriových článků [25, 29]

## 4. Dotační program Nová zelená úsporám

V rámci dotačního programu Nová zelená úsporám jsou podporovány různé projekty za účelem snižování energetické náročnosti. Tento dotační program se váže i na náš případ akumulace ze solárního fotovoltaického systému pro rodinné domy. V rámci toho dotačního programu na instalaci solárních fotovoltaických systémů do dokončených či nových rodinných domů s akumulací přebytečné elektřiny do akumulátorů lze získat podporu ve výši 50 % investičních nákladů, maximálně však nepřesahuje částku 100 000 Kč. Jedná se o podoblast podpory C.3.- Instalace solárních termických a fotovoltaických systémů. Pro získání dotace je nutné, aby takovýto systém splňoval hned několik podmínek.

- Systém musí být propojen s distribuční soustavou a zároveň minimální míra využití vyrobené elektřiny použité pro pokrytí vlastní spotřeby musí dosahovat 70 %.
- Nutnost využití komponentů s požadovanou minimální účinností:
  - fotovoltaické moduly s minimální účinností 10 % pro tenkovrstvé amorfní a 15 % pro mono – a polykrystalické články.
  - měniče s minimální účinností 94 % a zařízením pro sledování maximálního výkonu s minimální účinností 98 %, nebo při využití tak zvaného hybridního měniče je připuštěna minimální účinnost 92 %.
- Z hlediska technologie akumulace není v systému dovoleno použít pro akumulaci Ni-Cd a olovené startovací akumulátory. U ostatních typů akumulátorů je nutné, aby systém byl vybaven akumulátory s minimální měrnou kapacitou 1,75 kWh/kWp. U akumulátorů Li-Ion, LiFePo4 a LiFeYPO je možné využít baterii při vysokém počtu vybíjecích cyklů i při hlubokém vybití bez významného poklesu kapacity baterie, a tak je tento požadavek snížen na hodnotu 1,25 kWh/kWp.

Dotační podpora je udělována ve dvou podoblastech dle celkového množství využití vyrobené elektřiny pro krytí vlastní spotřeby. Obě podoblasti (tj. C.3.5. a C.3.6) dotačního programu včetně maximální výše dosažitelné podpory, jsou znázorněny pomocí následující tabulky (Tab.č. 4).[7]

Sledovaný parametr	[jednotky]	C.3.5	C.3.6
Celkový využitelný zisk v budově	[kWh/rok]	> =1700	> =3000
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70 %	70 %
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	[-]	povinná	povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	[kWp/kWh]	1.75 (1.25)	1.75 (1.25)
Výše podpory	[Kč/dům]	70 000 Kč	100 000 Kč

Tab.č. 4 Požadované parametry v podoblastech dotační podpory Nová zelená úsporám [7]

## 5. Výběr vhodné akumulární technologie

V rámci výběru vhodné technologie akumulace, jak už bylo výše zmíněno, jsem se zaměřil pouze na akumulace do baterie. Důležitým prvkem akumulárního systému je volba stejného typu baterie se stejnou kapacitou. Pokud by byly využity akumulátory s rozdílnou kapacitou docházelo by k vzájemnému nabíjení a vybíjení a snižovala by se tak životnost akumulárního systému. Pro akumulární systém s malou fotovoltaickou elektrárnou připadají v úvahu především akumulátory na bázi olova, lithia a NiMH, NiCd baterie. Pokud však zvažujeme využití dotačního programu zužuje se nám tento výběr o technologie NiCd baterií a startovacích olovených baterií, které nejsou v rámci toho programu podporovány. Jedná se o takové technologie, které jsou ve vztahu k životnímu prostředí méně šetrné, a dotační program se tak snaží snížit používání.

Způsob, jakým hodláme akumulátor využívat, značně ovlivňuje využitelnou kapacitu, která se tak liší od nominální hodnoty baterií. Záleží především na teplotě, velikosti vybíjecího proudu a do jaké míry DOD bude v jednotlivých cyklech baterie používána. Z nichž poslední ze zmíněných parametrů je tím důležitým ovlivňujícím životnost. DOD (depth of discharge) neboli z anglického překladu hloubka vybití, hovoří, jaká část kapacity akumulátoru bude vzhledem k jeho nominální kapacitě využívána.

Protože v našem případě řešíme akumulaci pro takzvaný systém grid-on, to znamená, že neřešíme ostrovní systém s akumulátory schopnými napájet dům několik dnů, ale soustředíme se především na využití co možná nejvíce energie během dne pro vlastní spotřebu a pokrytí večerních špiček. Zaměřujeme se tedy na akumulaci z hlediska 24 hodin. Ideálním akumulátorem je akumulátor s co možná největším počtem životních cyklů, s možností hlubokého vybití, vysokou účinností provozních cyklů a nízkou pořizovací cenou.

Výchozím parametrem pro volbu konkrétního akumulátoru pro náš příklad aplikace je parametr ceny 1 kWh elektrické energie odebrané z akumulátoru. Pro zjednodušení výpočtu se zanedbávají vlivy jako samovybití, vlivy provozní teploty a ceny doplňkových komponentů ovlivňující účinnost, které by měl přesný výpočet obsahovat. V našem případě výpočtu (3.7.1) zvažujeme pouze hodnoty uváděné výrobcem, tedy pořizovací cenu samotného akumulátoru, počet životních cyklů při daném způsobu vybíjení, kapacitu a nominální napětí. [30]

$$Cena\ 1\ kWh = \frac{cena\ akumulátoru\ [Kč]}{\frac{kapacita\ [Ah] * U\ [V]}{1000} * DOD\ [%] * počet\ cyklů\ [-]} \quad (3.7.1)$$

kde

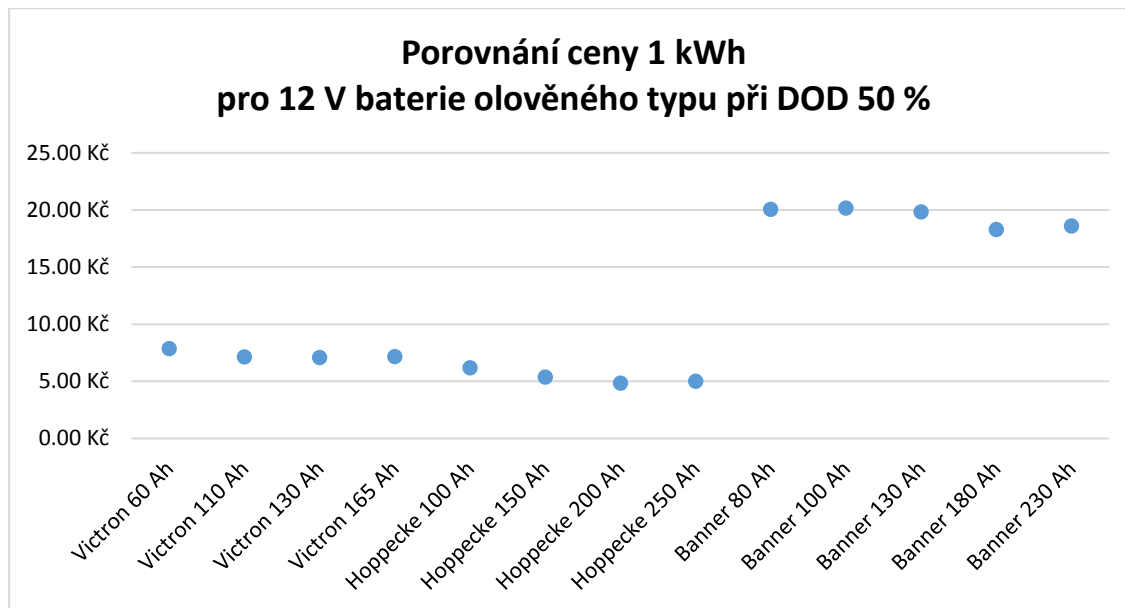
U je nominální napětí

DOD je hloubka vybití.

Ceny jednotlivých akumulátorů se liší podle výrobce a typu. V následující části se porovnávají pouze baterie, které jsou u nás dostupné a jsou podporovány v rámci dotačního programu. Porovnání nabízených akumulátorů vhodných pro začlenění do akumulárního systému s malou FVE pro pokrytí spotřeby domácnosti, jejichž kapacita se pohybuje v řádu kWh, je zobrazena pomocí následujících grafů a tabulek v přílohách.

Z příložených tabulek (Příloha 9 - Příloha 12) je vidět, že olovené akumulátory mají přibližně dvojnásobně nižší pořizovací cenu než akumulátory na bázi lithia. Naopak lithiové akumulátory

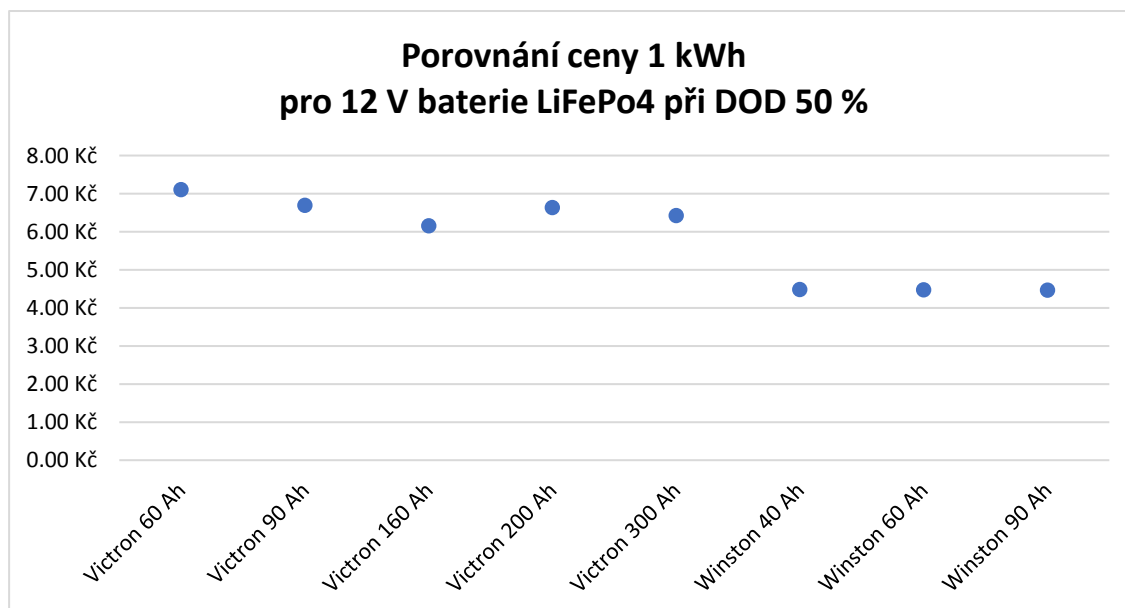
dosahují mnohonásobně většího počtu životních cyklů jak při 50 % hloubce vybití tak i při 80 % hloubce vybití.



Obr.č. 13 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z 12 V baterii olověného typu při DOD 50 %

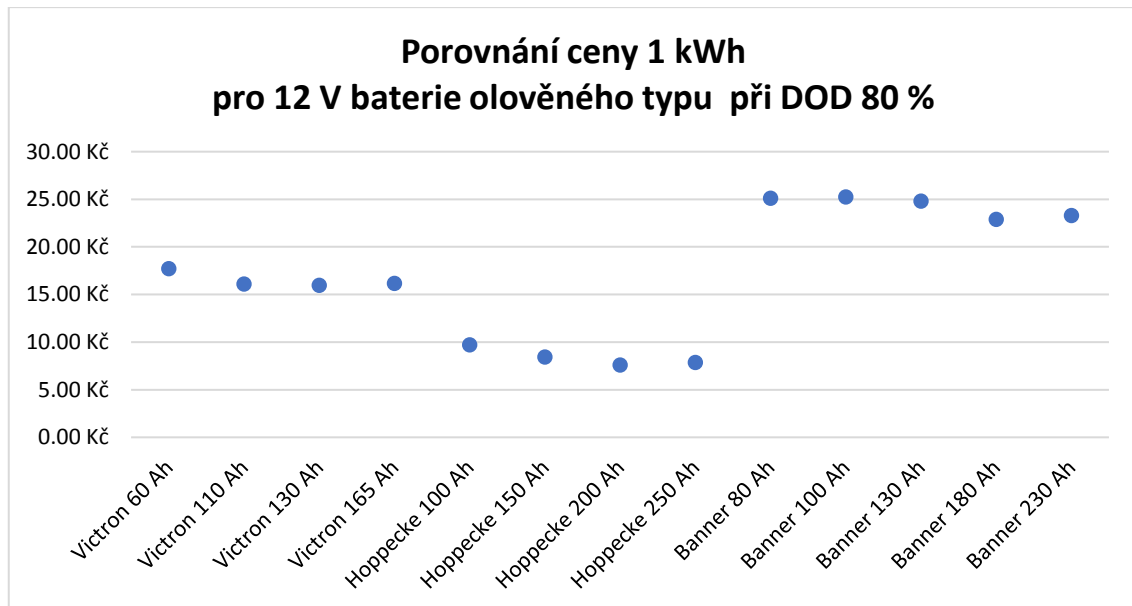
Na Obr.č. 13 se nachází graf zobrazující ceny 1 kWh elektrické energie odebrané při 50 % DOD pro různé typy olověných akumulátorů. Nejvyšších hodnot dosahují olověné trakční akumulátory, díky malému počtu životních cyklů. Mnohem lépe vychází využití gelových a AGM akumulátorů, jejichž ceny se pohybují okolo 5 Kč/kWh.

Graf na Obr.č. 14 zobrazuje při stejné hloubce vybití ceny 1 kWh odebrané z akumulátorů typu LiFePo4. Cena akumulované kWh pro tento typ lithiových akumulátorů se pohybuje okolo 4,50 Kč/kWh. Pokud tyto hodnoty porovnáme s hodnotami pro technologie olověné akumulace, jsou tyto hodnoty téměř srovnatelné s hodnotami gelových a AGM akumulátorů.

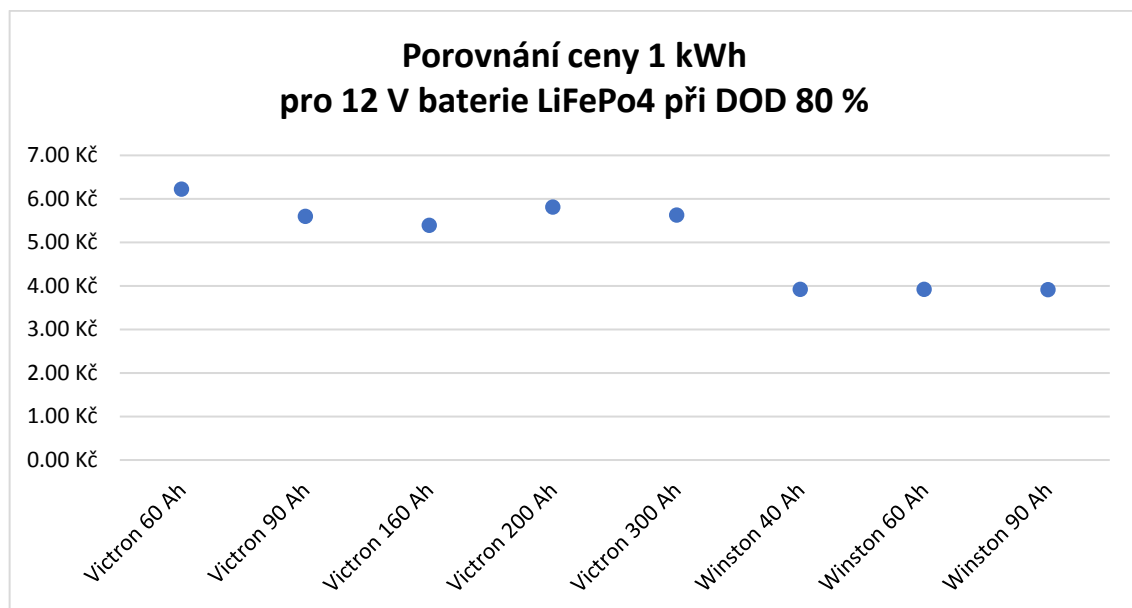


Obr.č. 14 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z baterii typu LiFePo4 při DOD 50 %

Výrazný rozdíl nastává při porovnání ceny při 80 % DOD, tedy při vyšší hloubce vybití. Při tomto způsobu vybíjení se žádný z porovnávaných olovených akumulátorů není schopný přiblížit lithiovým akumulátorům, jelikož počet jejich životních cyklů prudce klesá při DOD přesahujícím hodnotu 50 %.



Obr.č. 15 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z 12 V baterii oloveného typu při DOD 80 %



Obr.č. 16 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z baterie typu LiFePo4 při DOD 80 %

Z hlediska minimální ceny na 1 kWh elektrické energie odebrané z akumulátorů jako nejlepší varianta v porovnání s ostatními porovnávanými akumulátory pro akumulaci z hlediska 24 hodin s velkým počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů vychází typ akumulátor LiFePo4. Konkrétně akumulátory od výrobce Winston, s nominálním napětím 12 V a kapacitou 60 nebo 90 Ah. Cena za 1 kWh odebranou z akumulátoru při DOD 80 % se pohybuje okolo 3,90 Kč/kWh a při DOD 50 % dosahuje hodnot okolo 4,50 Kč/kWh.

## 6. Optimalizace akumulčního systému pro konkrétní objekt

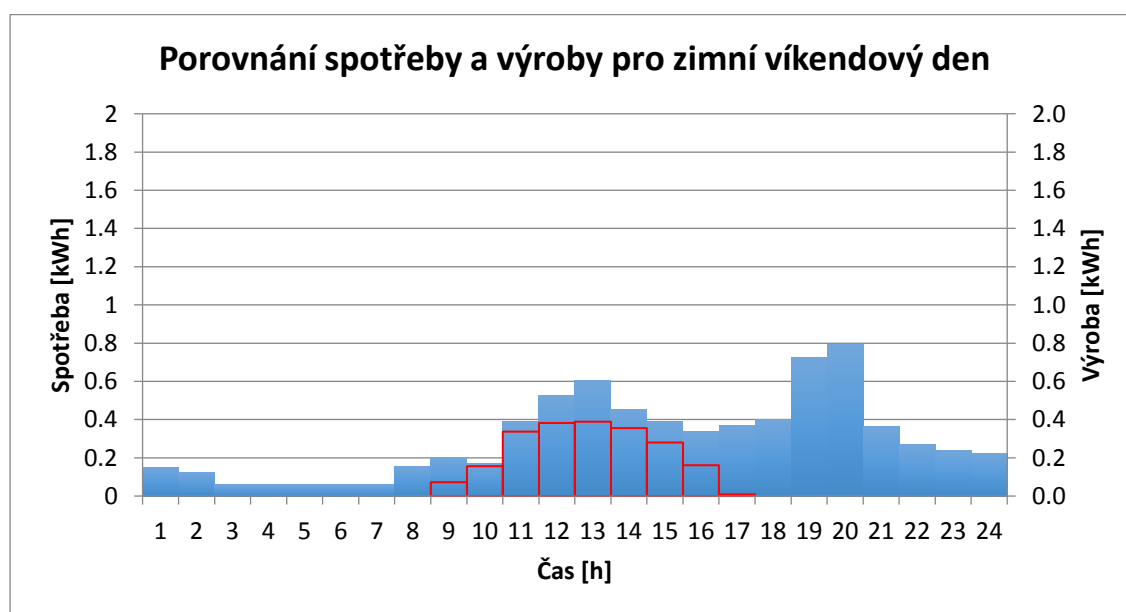
Pro daný objekt optimalizujeme akumulční systém z hlediska 24hodinové akumulace. Hlavním cílem takovéto akumulace je pokrytí špičkových hodnot spotřeby z akumulovaných přebytků a minimalizování výdajů na elektrickou energii. Pro optimalizace systému jsem v programu Excel vytvořil model konkrétního rodinného domu, pro simulování a vyhodnocení vhodné velikosti baterie v kombinaci s fotovoltaickým systémem. Hlavním optimalizačním kritériem pro volbu vhodné velikosti akumulace a související volby velikosti FVE byla hodnota minimálních výdajů.

### 6.1. Optimalizační model

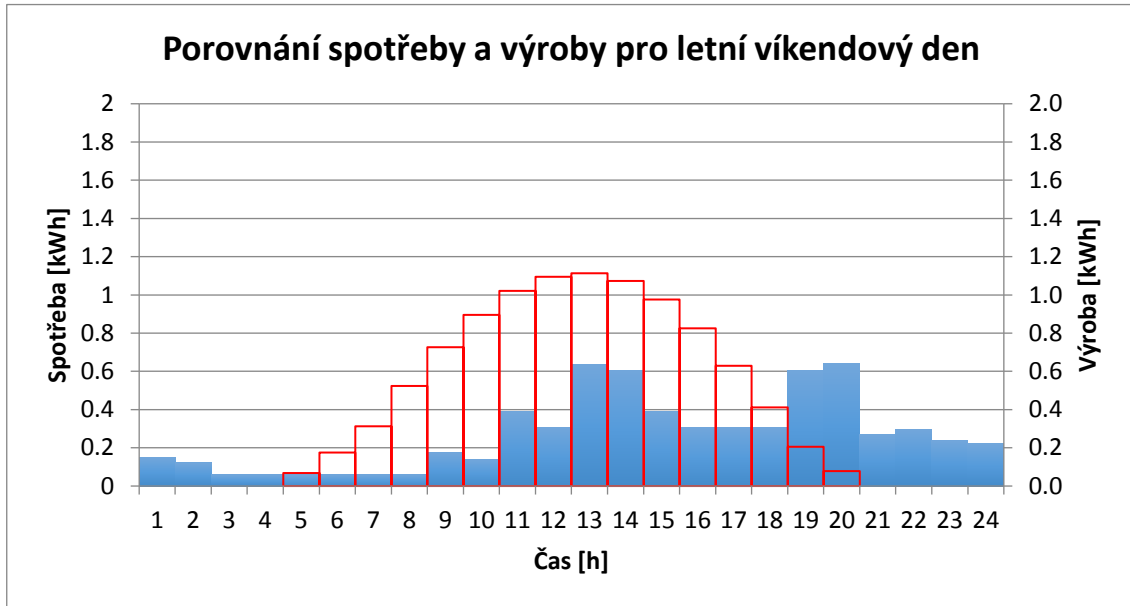
#### 6.1.1. Výroba a spotřeba

Základní částí výpočetního modelu je model vlastní spotřeby objektu popsáný v předcházejících částech práce. Model tak zahrnuje popis objektu z hlediska spotřeby v jednotlivých pracovních a víkendových dnech v každém měsíci. Vytváří tak pomocí denních diagramů spotřeby podklad pro porovnání spotřebované a vyrobené elektrické energie z FVE v jednotlivých hodinách.

K výpočtu výroby jsou využita data získaná z již dříve zmíněného portálu PVGIS, ze kterého jsem pomocí GPS souřadnic vypočítal časové rozložení generované elektrické energie v jednotlivých hodinách pro danou velikost FVE během měsíců po dobu životnosti systému. Ve výpočtu jsou zahrnuty ztráty v měniči, v kabelech a ztráty způsobené odrazem. Zároveň je i pro následný výpočet návratnosti zahrnut meziroční pokles účinnosti systému, tak aby byla zohledněna skutečnost s poklesem množství vyrobené elektrické energie. Degradace systému byla uvažována jako lineární s meziročním poklesem 0,08 % garantovaná výrobcem po dobu záruky FVE. Z modelu lze vypočítat denní rozložení výroby pro konkrétní velikost systému zadanou na vstupu po celou dobu životnosti systému.



Obr.č. 17 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní víkendový den



Obr.č. 18 Porovnání spotřeby a výroby pro letní víkendový den

Z výše uvedených grafů zobrazujících průběh denní spotřeby a výroby je vidět doba generace přebytků měnící se v závislosti na konkrétním dni v roce a vzhledem k velikosti instalovaného výkonu FVE. Mění se tím množství, které je možné v rámci systému akumulovat. Cílem výpočetního modelu je na základě optimalizace zjistit, jaký poměr velikosti akumulárního a fotovoltaického systému má být při daných podmínkách použit.

## 6.1.2. Vstupní parametry

Tvorba optimalizačního modelu provozu FVE s akumulárním systémem je velmi složitá a problematická, tudíž jeho závěry je nutné brát s jistou rezervou. Níže uvedené hodnoty byly zvoleny jako vstupní parametry pro optimalizační model a následně pro jejich velkou část byly provedeny citlivostní analýzy.

### Cena panelů a konstrukce

Cena panelů a konstrukce se odvíjí dle velikosti instalovaného výkonu FVE, tedy podle množství použitých fotovoltaických panelů. Kdy se cena panelu 250 Wp pohybuje kolem hodnoty 5 000 Kč a s ním související cena za hliníkovou konstrukci s náklonem pro jeden fotovoltaický panel v hodnotě 1 000 Kč. Tyto částky jsou převzaty se svolením a na základě dat z nabídky poskytnuté a od společnosti SolarPartner s.r.o.

### Cena měniče

Cena měniče je také vázaná na instalovaný výkon FVE a na velikost akumulárního systému. Zohledňuje tak nutnost využití hybridních měničů ve variantách s akumulárním systémem. Ceny jsou ve výpočtu voleny tak, aby respektovaly ceny měničů dostupných pro danou aplikaci.

## **Životnost FVE**

Životnost fotovoltaického systému byla v modelu stanovena na hodnotu 25 let, s lineárním poklesem účinnosti o 20 %. Životnost měniče však předpokládáme kratší, než je životnost panelů. Proto tuto skutečnost zahrnujeme do výpočtu jeho obnovou po 15. roce provozu.

## **Cena a vlastnosti akumulátoru**

Vstupní parametry akumulátoru velmi úzce souvisejí s optimalizací z hlediska minimálních výdajů. V předchozí kapitole byl pro akumulační systém jako vhodný zvolen akumulátor typu LiFePO<sub>4</sub> od firmy Winston s nominálním napětím 12 V a kapacitou 90 Ah. Z hlediska provozního režimu byla zvolena hloubka vybití 80 % a s ním související počet 5 000 životních cyklů. Počtu provozních cyklů odpovídá životnost akumulátoru, která při počtu jednoho cyklu denně dosahuje hodnoty mezi 13-14 roky, s tímto údajem souvisí nezbytná reinvestice do nových akumulátorů během doby životnosti FVE systému. U nižší hloubky vybití životnost akumulátoru stoupá, avšak i při tomto způsobu provozu by bylo nutné během doby životnosti FVE akumulátory obměnit. Proto by investice do akumulačního systému pro tento typ provozu byla vyšší z důvodu velikosti využitelné kapacity akumulátorů.

## **Dotační podpora**

Ve výpočetním modelu je zahrnuta i možnost získání dotační podpory při splnění souvisejících podmínek, které jsou uvedeny v Tab.č. 4. Model tedy na základě splnění podmínek vypočte, do jaké dotační podoblasti projekt patří a zároveň vypočte výši možné dotační podpory v závislosti na pořizovací investici.

## **Cena elektřiny**

Cena elektřiny je vypočítána z faktur za spotřebovanou elektřinu v místě objektu. Vypočítal jsem tak cenu za odebranou kWh ve vysokém tarifu po odečtení poplatků operátorovi trhu, za systémové a podpůrné služby a příspěvků na obnovitelné zdroje elektřiny a kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Výsledná cena odebrané elektřiny pro analyzovanou domácnost je 3,36 Kč za kWh.

## **Prodejní cena přebytků elektřiny**

Nově instalované FVE nejsou podporovány prostřednictvím výkupních cen a zelených bonusů. Prodejní cena přebytků elektřiny u nových FVE je stanovena na základě smlouvy s obchodníkem. V modelu tedy prodejní cena přebytků elektřiny byla stanovena jako hodnota, za kterou elektřinu dle poskytnutých údajů odkupuje distributorská společnost PRE, tedy 0,40 Kč/kWh.

## **Inflace**

Hodnota inflace byla v modelu zvolena ve výši 2 %. Tak aby zohledňovala dlouhodobý inflační cíl měnové politiky České národní banky, která se tak snaží udržet dlouhodobou stabilitu spotřebitelských cen.[31]

## **Diskont**

Cenu ušlé příležitosti vyjadřujeme pomocí diskontu, jinak řečeno nám diskontní sazba vyjadřuje výnos z další příležitosti, který by investor mohl získat použitím vynaložených peněz do jiného projektu. Jelikož je investorem domácnost, která by své finanční prostředky zhodnotila například prostřednictvím spořicího účtu, byla hodnota diskontu stanovena na 3 %, tedy 1 % nad dlouhodobou hodnotu inflace dle České národní banky.



Následující tabulka (Tab.č. 5) znázorňuje vstupní parametry a související vstupní investice pro libovolně zvolenou variantu. Zvolený systém disponuje fotovoltaickou elektrárnou s instalovaným výkonem 2,5 kWp a akumulačním systémem o velikosti 3,5 kWh. Jednotlivé ceny komponentů jsou přepočteny ze vstupních parametrů pro konkrétní velikosti systému, model je schopen stejným způsobem na základě vstupních dat přepočítat vstupní investici pro jednotlivé varianty poměrů velikosti.

cena panelů	50 000 Kč
cena konstrukce	10 000 Kč
cena měniče	50 000 Kč
cena baterii	54 765 Kč
investice bez dotace	164 765 Kč
dotace	70 000 Kč
investice s dotací	94 765 Kč
cena elektřiny	3.36 Kč/kWh
inlace	2 %
diskont	3 %
cena přebytků	0.40 Kč/kWh

Tab.č. 5 Vstupní parametry modelu pro 2,5 kWp FVE s akumulačním systémem o velikosti 3,5 kWh

### 6.1.3. Ekonomické vyhodnocení optimalizačního modelu

Pro vyhodnocení a volbu optimální varianty akumulačního systému byla zvolena rozhodovací metoda na základě kritéria NPV, označující čisté současné hodnoty. Toto kritérium vyjadřuje pro daný investiční projekt celkovou hodnotu všech peněžních toků a respektuje jejich časovou hodnotu, dle vzorce (6.1.1).

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t * (1 + r)^{-t} \quad (6.1.1)$$

kde

T je doba životnosti projektu

r je diskontní sazba

CF je hotovostní tok za dané období.

Dle výše zvolených vstupních parametrů jsou vypočteny hodnoty NPV pro jednotlivé kombinace velikosti fotovoltaického a akumulačního systému. Výpočet byl proveden pomocí řešitele, který mění postupně velikosti obou systémů v daných mezích dle stanoveného kroku a propočítává čisté současné hodnoty variant. Jednotlivé hodnoty NPV ukládá do tabulky, tak aby bylo možné varianty porovnat.

Mezní varianty velikosti instalovaného výkonu FVE byly zvoleny dle využitelné plochy pro výstavbu fotovoltaického systému. Jsou tedy omezeny shora hodnotou instalovaného výkonu 5 kWp, kterou je možné při využitelné ploše osmdesáti metrů čtverečných na plochu střechu instalovat. Související velikost akumulačního systému omezujeme shora hodnotou 9 kWh, tak aby tabulce bylo zobrazeno širší množství měrné kapacity akumulátorů.

		Instalovaný výkon FVE [kWp]										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Akumulační systém [kWh]	0	-285 tis. Kč	-301 tis. Kč	-294 tis. Kč	-291 tis. Kč	-292 tis. Kč	-295 tis. Kč	-300 tis. Kč	-308 tis. Kč	-316 tis. Kč	-325 tis. Kč	-334 tis. Kč
	0.5		-329 tis. Kč	-323 tis. Kč	-325 tis. Kč	-332 tis. Kč	-340 tis. Kč	-352 tis. Kč	-366 tis. Kč	-381 tis. Kč	-396 tis. Kč	-412 tis. Kč
	1		-344 tis. Kč	-333 tis. Kč	-332 tis. Kč	-338 tis. Kč	-346 tis. Kč	-357 tis. Kč	-370 tis. Kč	-385 tis. Kč	-400 tis. Kč	-415 tis. Kč
	1.5		-358 tis. Kč	-346 tis. Kč	-341 tis. Kč	-345 tis. Kč	-352 tis. Kč	-363 tis. Kč	-376 tis. Kč	-389 tis. Kč	-404 tis. Kč	-419 tis. Kč
	2		-372 tis. Kč	-360 tis. Kč	-352 tis. Kč	-353 tis. Kč	-359 tis. Kč	-369 tis. Kč	-382 tis. Kč	-395 tis. Kč	-409 tis. Kč	-424 tis. Kč
	2.5		-387 tis. Kč	-375 tis. Kč	-364 tis. Kč	-362 tis. Kč	-367 tis. Kč	-376 tis. Kč	-388 tis. Kč	-401 tis. Kč	-415 tis. Kč	-430 tis. Kč
	3		-401 tis. Kč	-389 tis. Kč	-378 tis. Kč	-372 tis. Kč	-375 tis. Kč	-384 tis. Kč	-395 tis. Kč	-408 tis. Kč	-421 tis. Kč	-436 tis. Kč
	3.5		-416 tis. Kč	-404 tis. Kč	-393 tis. Kč	-383 tis. Kč	-384 tis. Kč	-392 tis. Kč	-403 tis. Kč	-415 tis. Kč	-428 tis. Kč	-442 tis. Kč
	4		-430 tis. Kč	-418 tis. Kč	-407 tis. Kč	-397 tis. Kč	-394 tis. Kč	-400 tis. Kč	-411 tis. Kč	-422 tis. Kč	-435 tis. Kč	-448 tis. Kč
	4.5		-444 tis. Kč	-433 tis. Kč	-422 tis. Kč	-412 tis. Kč	-404 tis. Kč	-409 tis. Kč	-419 tis. Kč	-430 tis. Kč	-442 tis. Kč	-455 tis. Kč
5		-459 tis. Kč	-447 tis. Kč	-437 tis. Kč	-426 tis. Kč	-416 tis. Kč	-418 tis. Kč	-427 tis. Kč	-438 tis. Kč	-449 tis. Kč	-462 tis. Kč	
5.5		-473 tis. Kč	-462 tis. Kč	-451 tis. Kč	-441 tis. Kč	-430 tis. Kč	-428 tis. Kč	-435 tis. Kč	-446 tis. Kč	-457 tis. Kč	-469 tis. Kč	
6		-487 tis. Kč	-476 tis. Kč	-466 tis. Kč	-455 tis. Kč	-445 tis. Kč	-439 tis. Kč	-445 tis. Kč	-454 tis. Kč	-465 tis. Kč	-477 tis. Kč	
6.5		-502 tis. Kč	-491 tis. Kč	-480 tis. Kč	-470 tis. Kč	-460 tis. Kč	-451 tis. Kč	-455 tis. Kč	-462 tis. Kč	-473 tis. Kč	-485 tis. Kč	
7		-516 tis. Kč	-505 tis. Kč	-495 tis. Kč	-485 tis. Kč	-475 tis. Kč	-465 tis. Kč	-465 tis. Kč	-471 tis. Kč	-481 tis. Kč	-492 tis. Kč	
7.5		-531 tis. Kč	-520 tis. Kč	-510 tis. Kč	-499 tis. Kč	-489 tis. Kč	-480 tis. Kč	-476 tis. Kč	-481 tis. Kč	-489 tis. Kč	-500 tis. Kč	
8		-545 tis. Kč	-534 tis. Kč	-524 tis. Kč	-514 tis. Kč	-504 tis. Kč	-495 tis. Kč	-488 tis. Kč	-491 tis. Kč	-498 tis. Kč	-508 tis. Kč	
8.5		-559 tis. Kč	-549 tis. Kč	-539 tis. Kč	-528 tis. Kč	-519 tis. Kč	-510 tis. Kč	-501 tis. Kč	-501 tis. Kč	-507 tis. Kč	-516 tis. Kč	
9		-574 tis. Kč	-563 tis. Kč	-553 tis. Kč	-543 tis. Kč	-533 tis. Kč	-524 tis. Kč	-515 tis. Kč	-512 tis. Kč	-517 tis. Kč	-525 tis. Kč	

Obr.č. 19 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV bez zahrnutí nároku na dotační podporu

		Instalovaný výkon FVE [kWp]										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Velikost akumulačního systému [kWh]	0	-285 tis. Kč	-301 tis. Kč	-294 tis. Kč	-291 tis. Kč	-292 tis. Kč	-295 tis. Kč	-300 tis. Kč	-308 tis. Kč	-316 tis. Kč	-325 tis. Kč	-334 tis. Kč
	0.5		-329 tis. Kč	-323 tis. Kč	-325 tis. Kč	-332 tis. Kč	-340 tis. Kč	-352 tis. Kč	-366 tis. Kč	-381 tis. Kč	-396 tis. Kč	-412 tis. Kč
	1		-344 tis. Kč	-333 tis. Kč	-332 tis. Kč	-338 tis. Kč	-346 tis. Kč	-357 tis. Kč	-370 tis. Kč	-385 tis. Kč	-400 tis. Kč	-415 tis. Kč
	1.5		-358 tis. Kč	-346 tis. Kč	-341 tis. Kč	-345 tis. Kč	-352 tis. Kč	-363 tis. Kč	-376 tis. Kč	-389 tis. Kč	-404 tis. Kč	-419 tis. Kč
	2		-372 tis. Kč	-360 tis. Kč	-352 tis. Kč	-353 tis. Kč	-359 tis. Kč	-369 tis. Kč	-382 tis. Kč	-395 tis. Kč	-409 tis. Kč	-424 tis. Kč
	2.5		-387 tis. Kč	-375 tis. Kč	-364 tis. Kč	-362 tis. Kč	-367 tis. Kč	-376 tis. Kč	-388 tis. Kč	-401 tis. Kč	-415 tis. Kč	-430 tis. Kč
	3		-401 tis. Kč	-389 tis. Kč	-378 tis. Kč	-372 tis. Kč	-375 tis. Kč	-384 tis. Kč	-395 tis. Kč	-408 tis. Kč	-421 tis. Kč	-436 tis. Kč
	3.5		-416 tis. Kč	-404 tis. Kč	-393 tis. Kč	-383 tis. Kč	-384 tis. Kč	-392 tis. Kč	-403 tis. Kč	-415 tis. Kč	-428 tis. Kč	-442 tis. Kč
	4		-430 tis. Kč	-418 tis. Kč	-407 tis. Kč	-397 tis. Kč	-394 tis. Kč	-400 tis. Kč	-411 tis. Kč	-422 tis. Kč	-435 tis. Kč	-448 tis. Kč
	4.5		-444 tis. Kč	-433 tis. Kč	-422 tis. Kč	-412 tis. Kč	-404 tis. Kč	-409 tis. Kč	-419 tis. Kč	-430 tis. Kč	-442 tis. Kč	-455 tis. Kč
5		-459 tis. Kč	-447 tis. Kč	-437 tis. Kč	-426 tis. Kč	-416 tis. Kč	-418 tis. Kč	-427 tis. Kč	-438 tis. Kč	-449 tis. Kč	-462 tis. Kč	
5.5		-473 tis. Kč	-462 tis. Kč	-451 tis. Kč	-441 tis. Kč	-430 tis. Kč	-428 tis. Kč	-435 tis. Kč	-446 tis. Kč	-457 tis. Kč	-469 tis. Kč	
6		-487 tis. Kč	-476 tis. Kč	-466 tis. Kč	-455 tis. Kč	-445 tis. Kč	-439 tis. Kč	-445 tis. Kč	-454 tis. Kč	-465 tis. Kč	-477 tis. Kč	
6.5		-502 tis. Kč	-491 tis. Kč	-480 tis. Kč	-470 tis. Kč	-460 tis. Kč	-451 tis. Kč	-455 tis. Kč	-462 tis. Kč	-473 tis. Kč	-485 tis. Kč	
7		-516 tis. Kč	-505 tis. Kč	-495 tis. Kč	-485 tis. Kč	-475 tis. Kč	-465 tis. Kč	-465 tis. Kč	-471 tis. Kč	-481 tis. Kč	-492 tis. Kč	
7.5		-531 tis. Kč	-520 tis. Kč	-510 tis. Kč	-499 tis. Kč	-489 tis. Kč	-480 tis. Kč	-476 tis. Kč	-481 tis. Kč	-489 tis. Kč	-500 tis. Kč	
8		-545 tis. Kč	-534 tis. Kč	-524 tis. Kč	-514 tis. Kč	-504 tis. Kč	-495 tis. Kč	-488 tis. Kč	-491 tis. Kč	-498 tis. Kč	-508 tis. Kč	
8.5		-559 tis. Kč	-549 tis. Kč	-539 tis. Kč	-528 tis. Kč	-519 tis. Kč	-510 tis. Kč	-501 tis. Kč	-501 tis. Kč	-507 tis. Kč	-516 tis. Kč	
9		-574 tis. Kč	-563 tis. Kč	-553 tis. Kč	-543 tis. Kč	-533 tis. Kč	-524 tis. Kč	-515 tis. Kč	-512 tis. Kč	-517 tis. Kč	-525 tis. Kč	

Obr.č. 20 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV zahrnující dotační podporu

Výstupem řešitele jsou tabulky na Obr.č. 19 a Obr.č.20, na základě kterých bylo zvolena optimální varianta velikosti akumulačního a fotovoltaického systému. Pokud bychom tedy měli z hlediska NPV vybrat optimální řešení, byla by volena nulová varianta, tedy neinstalovat takovýto systém. V modelu je ukázáno, že projekt s výstavbou akumulačního systému není bez dotačního podpory možný. Po započtení dosažitelné dotační podpory se sice hodnota kritéria velmi přiblíží, avšak hodnotu nulové varianty nepřevyšuje.

Pokud by měla být vybrána varianta s nenulovým akumulačním systémem, jednalo by se o variantu s instalovaným výkonem 2,5 kWp a akumulačním systémem o velikosti okolo 3,5 kWh. Podle splněných podmínek dotační pododblasti C.3.5 by projekt dosáhl na dotační podporu ve výši 70 000 Kč. S uvažováním dotační podpory se varianta přibližuje hodnotě NPV nulové varianty.

## 7. Volba optimální varianty z technicko ekonomického hlediska

V předešlé kapitole byl jako optimální varianta akumulčního systému zvolen systém o velikosti 3,5 kWh. Avšak optimální velikost akumulčního systému tvořeného z dříve zvolených baterií Winston by dosahovala jiných parametrů. Akumulační systém blížící se zvolené optimální velikosti by byl dimenzován na hodnotu 3,24 kWh. I pro tuto variantu akumulčního systému by však byly splněny podmínky pro dotační podporu ve výši 70 000 Kč. Tudiž čistá současná hodnota takového projektu dosahuje dokonce lepší hodnoty než optimální varianta vypočtená pomocí řešitele. To je způsobeno krokem změny velikosti akumulčního systému, který byl v řešiteli nastaven na hodnotu 0,5 kWh.

Akumulační systém tedy dimenzujeme na hodnotu velikosti 3,24 kWh. Takový systém je složený ze tří zvolených akumulátorů s nominální napětím 12 V a kapacitoru 90 Ah. A při uvažovaném využívání 80 % své kapacity dosahuje využitelné elektrická energie okolo 2,6 kWh. Součástí akumulčního systému je hybridní měnič. Zvoleným hybridním měničem je měnič Victron Energy Multiplus 12 V/3000 VA/120 A-50 A. Jedná se o výkonný hybridní měnič a nabíječ s čistě sinusovým výstupem, který disponuje možností rychlého přepínání mezi zdroji napájení. Díky tomu je možné zajistit dodávku energie pro spotřebiče bez přerušení. Zařízení navíc plní funkci nabíječky, využívá adaptivního nabíjení, tak aby proces nabíjení vyhovoval stavu baterie.

Pro výpočet počáteční investice do akumulčního systému uvažujeme tedy tři akumulátory Winston o jednotkové ceně 16 899 Kč včetně DPH a hybridní měnič o ceně 50 236 Kč včetně DPH. Ve výpočtu investice do akumulčního systému nebyly zohledněny ceny kabelů a spojky pro akumulátory. Investice do akumulčního systému činí 100 933 Kč. Celková investice do systému, včetně investice na FVE o instalovaném výkonu 2,5 kWp, skládající se z desíti 250 Wp panelů a nosné konstrukce, činí 160 933 Kč.

Cena panelů	50 000 Kč
Cena konstrukce	10 000 Kč
Cena měniče	50 236 Kč
Cena baterií	50 697 Kč
Počáteční investice investice	160 933 Kč
Dotační podpora	70 000 Kč
<b>NPV bez dotační podpory</b>	- 379 343 Kč
<b>NPV s dotační podporou</b>	- 309 343 Kč
<b>NPV nulové varianty</b>	- 284 530 Kč

Tab.č. 6 Porovnání hodnot NPV pro 2,5 kWp FVE s 3,24 kWh akumulčním systémem

Čistá současná hodnota vypočtená po dobu životnosti FVE bez započtení dotační podpory, dosahuje hodnoty – 379 343 Kč. Pokud zahrneme možnost získání dotační podpory ve výši 70 000 Kč, bude NPV projektu dosahovat hodnoty – 309 343 Kč. Tato hodnota NPV však stále dosahuje horší hodnoty než hodnota NPV nulové varianty – 284 530 Kč. Z důvodu, že se výstavba akumulčního systému jeví jako ekonomicky nevýhodná investice, byly provedeny v následující kapitole citlivostní analýzy pro jednotlivé vstupní parametry modelu.

## 8. Citlivostní analýza

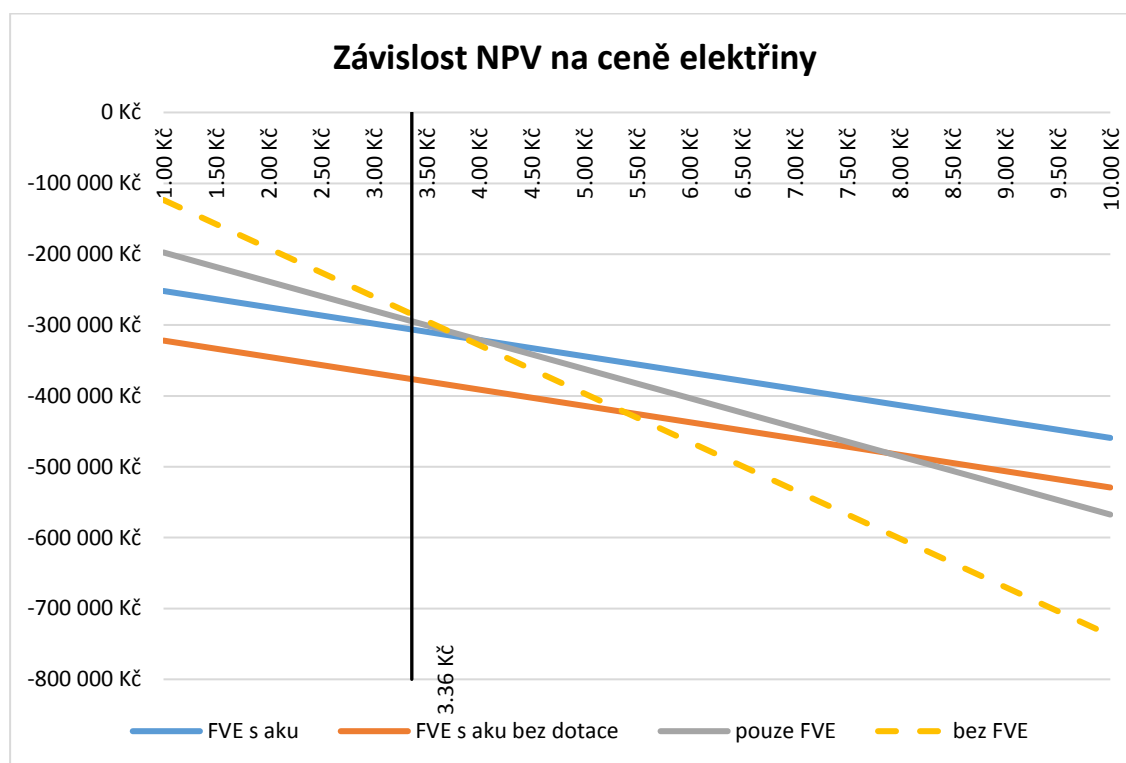
V citlivostních analýzách jsou zobrazeny varianty s dotační podporou a bez ní pro FVE s akumulacním systémem o velikosti 3,24 kWh a instalovaným výkonem 2,5 kW. Zároveň je zahrnuta nulová varianta a varianta s výstavbou FVE o stejném instalovaném výkonu s možností prodeje přebytků elektrické energie. V grafech jsou zobrazeny základní hodnoty pomocí černě zbarvené přímky tak, aby bylo možné varianty vzhledem ke změnám vstupních parametrů v rámci citlivostních analýz porovnat.

### 8.1. Cena elektřiny

Cena elektřiny za spotřebovanou kWh v dané domácnosti dosahuje hodnoty 3,40 Kč/kWh, což je způsobeno vysokým tarifem D02d. Díky tomu jsou všechny tři varianty projektu na podobné úrovni.

Výdaje za celkovou odebranou elektrickou energii se díky akumulacnímu systému a FVE snižují. Pokud by cena vzrostla na přibližně 4 Kč/kWh bylo by vhodné investovat do FVE a přebytečnou energii prodávat. V situaci, kdyby cena rostla až nad hodnotu okolo 4,50 Kč/kWh, bylo by vhodné investovat do akumulacního systému a využívat tak větší množství získané elektrické energie.

Naopak pokud by se cena za odebranou kWh snižovala pod 3,40 Kč/kWh, tedy hodnotu současné ceny, a narůstala by třeba naopak cena fixní části výdajů za elektřinu, bylo by správnou ekonomickou variantou neinstalovat žádný systém. Podobný scénář je možný předpokládat při změně dodavatele elektrické energie za dodavatele s nižší cenou za dodanou kWh.



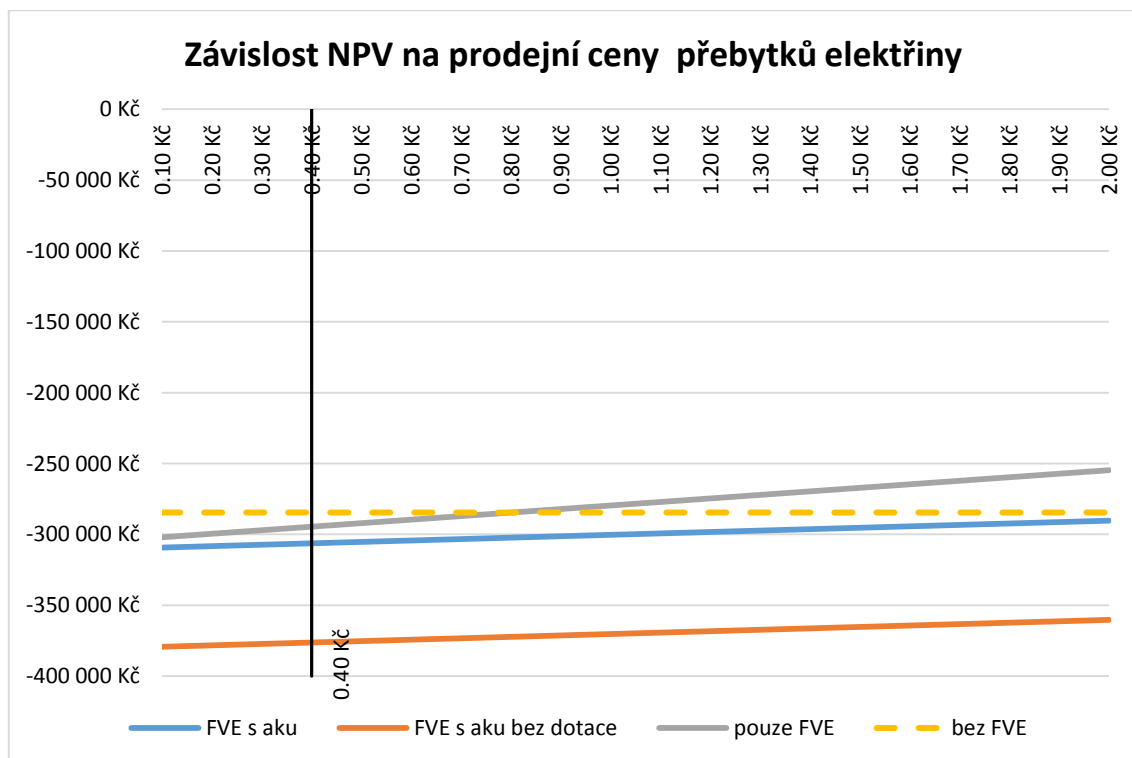
Obr.č. 21 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na ceně elektřiny

## 8.2. Prodejní cena elektřiny

Pro vlastníky klasických fotovoltaických elektráren je prodejní cena přebytků elektřiny nejpodstatnějším údajem, avšak v případě malých fotovoltaických elektráren s akumulacním systémem sloužícím pro pokrývání vlastní spotřeby elektrické energie není cena primárním faktorem ovlivňujícím rozhodování.

V našem případě byla ve výpočetním modelu uvažována cena 0,40 Kč/kWh, poskytnutá na vyžádání od společnosti PRE a.s. Pokud se pohybujeme v rozsahu obvyklých prodejních cen elektřiny 0,25 - 0,50 Kč/kWh, nemá tento parametr na výsledné investiční kritérium příliš velký vliv, v tomto rozmezí ceny není vhodné do FVE systému investovat. U akumulacního systému s přiznanou dotační podporou, totiž musí celkové množství využitě vyrobené elektřiny přesáhnout hodnotu 70 %. Prodávané přebytky tak mohou tvořit pouze 30 % z celkového množství vyrobené energie.

Pokud by však prodejní cena přebytků vzrostla přibližně nad hodnotu 0,80 Kč/kWh, pak by dle investičního kritéria bylo správné investovat do FVE bez akumulacního systému. Tuto variantu umožňovaly dřívější výkupní ceny. Nejvyšší cenu 0,525 Kč/kWh nabízí společnost Ampérmarket a.s., avšak pro získání této ceny je nutné současně elektřinu od společnosti odebírat.

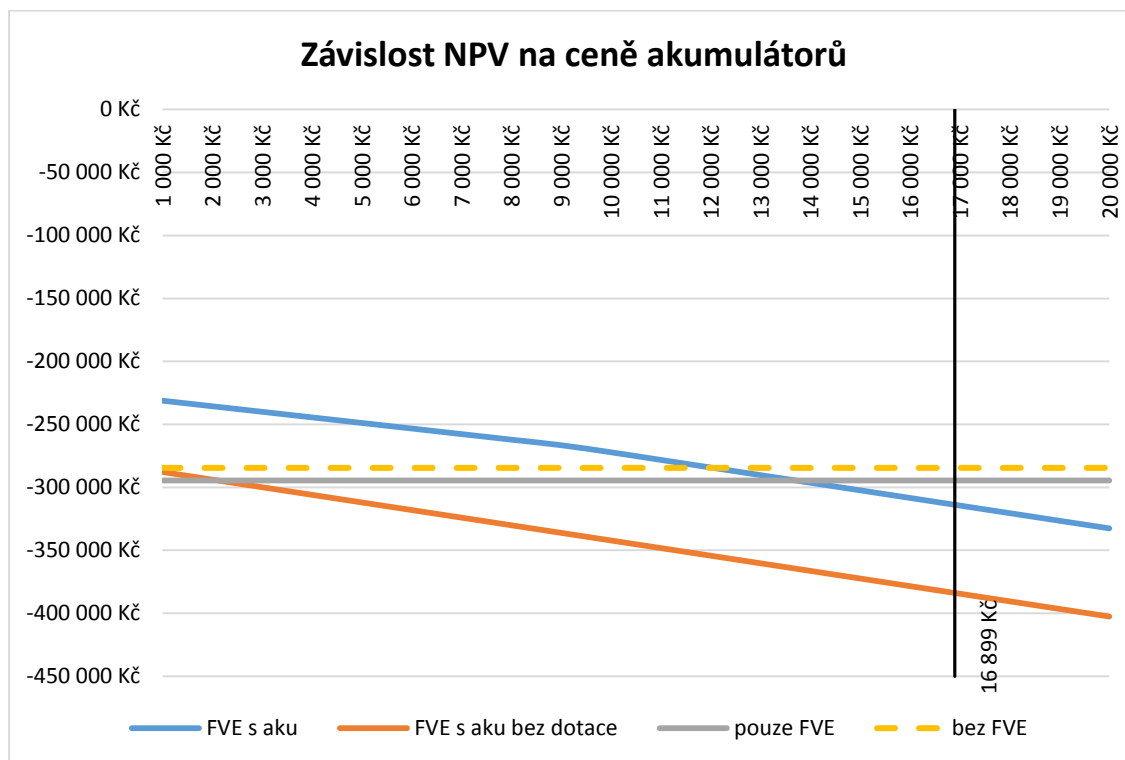


Obr.č. 22 Porovnání vlivu ceny přebytků elektřiny na NPV jednotlivých variant

### 8.3. Cena akumulátorů

Velmi zajímavou hodnotou pro daný projekt je pořizovací cena akumulátorů. Cena akumulátorů ovlivňuje pouze variantu s akumulacním systémem, pak nulová varianta a varianta s výstavbou FVE svou hodnotu nemění.

Při současné ceně akumulátorů se investice do projektu s akumulacním systémem nevyplatí, tudíž logickou volbou je neinstalovat FVE. Pokud by však cena akumulátoru klesala pod hodnotu 12 000 Kč, byla by investice do akumulacního systému správnou variantou, ale jen v případě, že projekt dosáhne na dotační podporu. Bez dotační podpory není investice do akumulacního systému z ekonomického hlediska proveditelná, pokud ceny akumulátoru neklesnou pod hodnotu 1 000 Kč.

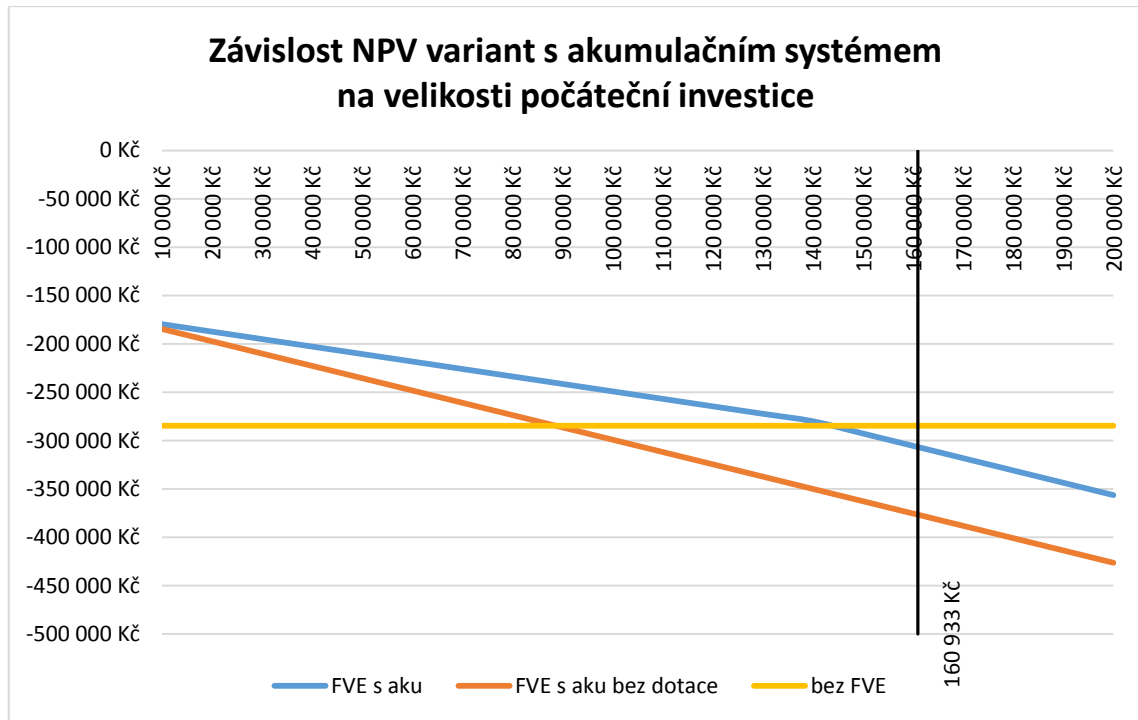


Obr.č. 23 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na ceně akumulátorů

### 8.4. Celková investice

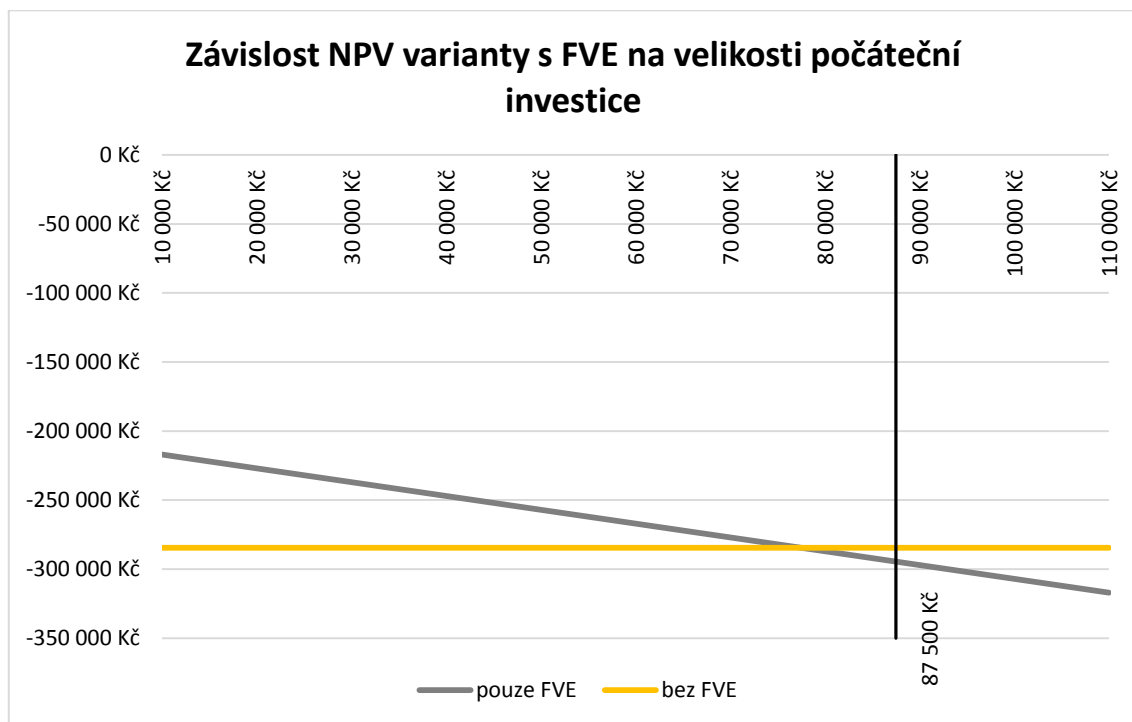
Rozhodujícím faktorem pro investiční kritérium NPV všech variant s instalovanou FVE je celková investice do systému. Předpokládáme-li, že cena fotovoltaických panelů bude dle trendu nadále klesat a bude docházet k výrobě stále efektivnějších panelů, budou varianty s instalací FVE dosahovat lepší hodnoty než nulová varianta.

Pokud budeme varianty projektu s FVE srovnávat vzhledem k nulové variantě, tak pro zvolený akumulacní systém s uvažovanou dotační podporou o pořizovací ceně 160 430 Kč by tato cena musela klesnout pod hodnotu okolo 140 000 Kč. Rozdílný sklon křivky je způsoben dotační podporou, která od hodnoty 140 000 Kč odpovídá vždy polovině počáteční investice.



Obr.č. 24 Porovnání závislosti NPV variant s akumulačním systémem na velikosti počáteční investice

Variantu s FVE bez akumulačního systému je nutné srovnávat s nulovou variantou samostatně, jelikož počáteční investice do jednotlivých variant jsou značně rozdílné. Pro uvažovanou 2,5 kWp FVE byla dle vstupních parametrů vypočtena počáteční investice 87 500 Kč. Pokud by teda cena komponentů klesla a počáteční investice by se tak dostala pod hodnotu 80 000 Kč, dosahovala by FVE lepší hodnoty NPV než nulová varianta.

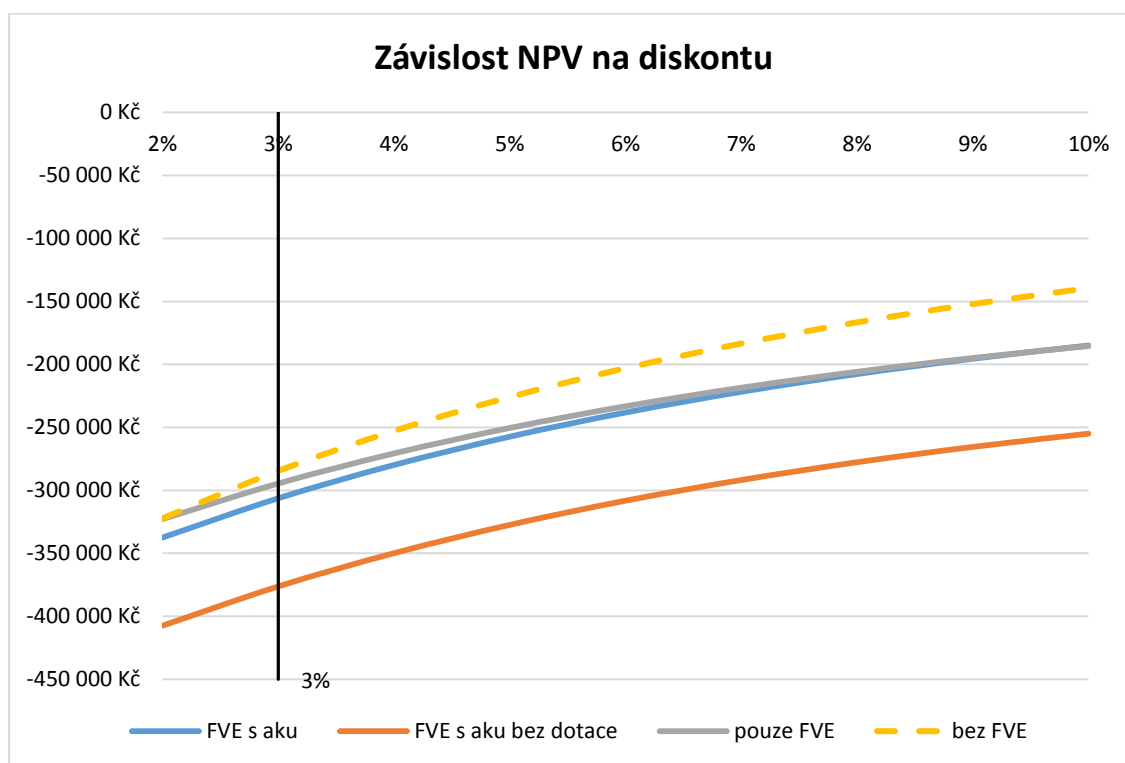


Obr.č. 25 Porovnání závislosti NPV varianty pouze s FVE na velikosti počáteční investice

## 8.5. Diskont

Hodnota diskontu zohledňuje časovou hodnotu peněz. Citlivostní analýza byla provedena i pro různé diskontní sazby a byly tak sledovány hodnoty NPV jednotlivých variant při její změně. Vzhledem k odlišným nákladům jednotlivých variant má diskont rozdílný vliv. Hodnota diskontu na volbu optimální varianty nemá však příliš velký vliv. Nejlepších hodnot dosahuje stále nulová varianta, s rostoucí hodnotou diskontu se její odstup od variant s investicemi do FVE zvyšuje. Čím více roste hodnota diskontu, tím je rozumnější neinvestovat do FVE.

Varianta FVE s akumulacím systémem ročně více snižuje výdaje za elektřinu, než varianta bez akumulacního systému, tudíž s rostoucím diskontem se více kompenzuje velikost pořizovací investice a reinvestice. Při nízké hodnotě diskontu ušetřené výdaje nikde lépe nezhodnotíme.



Obr.č. 26 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na diskontu

## 8.6. Doporučení pro daný objekt

Z hodnocených variant při daných vstupních parametrech, odpovídajících současnému stavu, vychází nejlépe nulová varianta, tedy nainstalovat žádný fotovoltaický systém. Na základě citlivostních analýz pro jednotlivé varianty projektu se dá říci, že výslednou volbu by podstatně ovlivnila cena za odebíranou elektřinu, počáteční investice a související cena komponentů. Pokud cena elektřiny významně naroste, stane se projekt s instalací FVE s akumulacím systémem ekonomicky provozu schopný. Očekávat se dá spíše ale jiný průběh, v současné době ERÚ diskutuje vytvoření nového tarifu pro samovýrobce. V rámci nového tarifu by se zvýšily fixní poplatky tak, aby došlo k uhrazení nákladů, které tito odběratelé vyvolávají využíváním distribuční sítě jako záložního prvku.



---

Druhým zajímavým parametrem jsou ceny komponentů ovlivňující počáteční investici. Aby byl projekt s akumulacním systémem ekonomicky výhodnou investicí, musí cena zvoleného typu akumulátoru významně poklesnout ze současné ceny 16 899 Kč, pod hodnotu 12 000 Kč. U projektu s FVE bez akumulacního systému se při daných cenách komponentů hodnota NPV velmi blíží hodnotě nulové varianty. Vzhledem k tomu, že předpokládáme pokles ceny panelů, mohla by tato varianta nulovou variantu předčít. Pokud by ale došlo ke změně tarifu zmíněné v předchozím odstavci, byla by i v tomto případě volba instalace nelogická.

Za současného stavu bych doporučil do akumulacního systému neinvestovat. Pokud však cena elektřiny stoupne nad hodnotu 4,50 Kč/kWh nebo pokud dojde k poklesu cen akumulátorů a dalších komponentů FVE, tak aby celkové investiční výdaje klesly pod hodnotu 140 000 Kč, doporučil bych investici do projektu přehodnotit.

Z celého modelu při současných podmínkách vyplývá, že investice do projektu FVE s akumulacním systémem nemá z ekonomického hlediska bez dotační podpory žádný logický důvod. FVE s akumulacním systémem se přibližuje hranici realizace investice jen díky dotační podpoře. Dotační program zohledňující parametry vstupní investice je dobře nastaven pro podporu projektů malých FVE. Pokud by bylo rozhodnuto investovat do akumulacního systému je nezbytné dosáhnout dotační podpory.

## 9. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda je akumulace v malém měřítku rodinného domu ekonomicky provozuschopná a technologicky proveditelná. Identifikovat a popsat jednotlivé technologie akumulace. A následně vyhodnotit z hlediska pořizovacích a provozních výdajů optimální technologii akumulace pro konkrétní objekt.

První část se práce je věnována analýze spotřeby a zásobování konkrétního domu. V rámci zásobování je popsán tarif, v jakém je dům připojen k distribuční síti, a lokalizace objektu, s níž úzce souvisí předpokládané zásobování elektrickou energií z fotovoltaické elektrárny. Predikce dlouhodobé výroby z FVE byla vypočtena pomocí webového portálu PVGIS v závislosti na umístění rodinného domu.

Popis spotřeby elektrické energie v daném objektu byl vytvořen na základě analýzy chování členů domácnosti a s ním souvisejícího využívání spotřebičů. Na základě tohoto popisu byly vytvořeny modelové denní diagramy pro typické pracovní a víkendové dny v závislosti na ročním období. Tyto diagramy byly v rámci kapitoly porovnány s typizovanými denními diagramy využívanými pro daný tarif. Byly zde zdůvodněny odlišnosti a nevhodnost použití typizovaných denních diagramů pro analýzu spotřeby konkrétní domácnosti.

Část práce je věnována identifikaci a popisu technologie akumulace pro malou FVE. Z důvodu instalace nového kondenzačního kotle s akumulací nádobou a vyloučení tak možné akumulace přebytků do teplé vody, byly v této části podrobně popsány způsoby akumulace elektrické energie do baterií. Jednotlivé způsoby akumulace do baterií jsou podrobně rozebrány popsáním jejich vlastností z hlediska principu funkce a konstrukce. Následně jsou porovnány technické parametry jednotlivých bateriových článků a jsou uvedeny v přehledné tabulce pro srovnání možných variant akumulace.

Porovnání technických parametrů jednotlivých typů baterií bylo využito pro volbu konkrétního typu akumulátoru. V závislosti na hloubce vybití byly porovnány výdaje na akumulaci u akumulátorů podporovaných dotačním programem Nová zelená úsporám, na jehož výsledcích byl zvolen jako optimální typ akumulátoru LiFePo<sub>4</sub> od firmy Winston. U tohoto akumulátoru při DOD 50 % dosahovala cena 1 kWh elektřiny odebrané z akumulátoru 4,50 Kč a při DOD 80 % dosahovala 3,90 Kč.

V poslední části práce byl pomocí výpočetního modelu volen optimální poměr velikosti akumulčního systému a instalovaný výkon FVE. Dle zvolených vstupních parametrů se jako optimální varianta pro konkrétní objekt jeví nulová varianta, tedy neinstalovat žádný systém. Pokud by domácnost i přesto zvažovala do systému investovat, byla by zvolena varianta s instalovaným výkonem 2,5 kWp a velikostí akumulčního systému 3,24 kWh, který je z technologického hlediska z akumulátorů vytvořitelný. Celková pořizovací investice na takový systém včetně hybridního měniče, FVE a potřebné konstrukce by byla 160 433 Kč. Model ukázal, že realizace takového projektu bez dotační podpory není možná. Jelikož takový systém splňuje požadavky dotační podoby C.3.5, dosahuje při daném způsobu používání na podporu ve výši 70 000 Kč. Díky této podpoře hodnota investičního kritéria NPV dosahuje hodnoty - 309 343 Kč, avšak tato hodnota je stále nižší než u nulové varianty - 281 530 Kč, proto byly pro vstupní parametry modelu vytvořeny citlivostní analýzy.

Z citlivostních analýz vyplývá, že projekt velmi ovlivňuje cena za kWh hodinu odebírané elektřiny bez poplatků. Pokud by tato hodnota ze současné hodnoty 3,40 Kč/kWh vzrostla skokově alespoň na hodnotu 4,50 Kč/kWh, byl by projekt schopný nulové variantě konkurovat. Projekt zároveň velmi úzce souvisí s cenou použitých komponentů, především s cenou

akumulátorů. Aby byl projekt jednoznačně ekonomicky výhodnou investicí, musí cena za zvolený typ akumulátoru klesnout přibližně o třetinu ze své současné ceny 16 899 Kč. Celková pořizovací investice by tak musela klesnout ze současné hodnoty 160 433 Kč až na hodnotu pod 140 000 Kč.

Oba výše zmíněné scénáře jsou však v blízké době nepravděpodobné. Naopak v současné době ERÚ diskutuje změny v tarifní struktuře, které uvažují zavedení nového tarifu pro samozásobitele, jehož cílem je zajištění úhrady nákladů, které tito odběratelé vyvolávají. Proto je teď v konkrétním objektu malého rodinného domu nelogickou variantou investovat do podobného systému. Malá fotovoltaická elektrárna je v součinnosti s akumulacím systémem z technologického hlediska při dané spotřebě provozu schopná, avšak z ekonomického hlediska nikoliv. FVE s akumulacím systémem se přibližuje hranici realizace investice jen díky dotační podpoře.

## 10. Seznam použité literatury

- [1] IEA. CO2 emissions from fuel combustion [online]. 2015 [vid. 2016-11-14]. Dostupné z: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2015.pdf>
- [2] *World Energy Statistics - Energy Supply & Demand - Enerdata* [online]. 2015 [vid. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://www.enerdata.net/enerdatauk/press-and-publication/publications/world-energy-statistics-supply-and-demand.php>
- [3] *PVX spot market price index solar PV modules - SolarServer* [online]. 2016 [vid. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.solarserver.com/service/pvx-spot-market-price-index-solar-pv-modules.html>
- [4] *Přepočtené typové diagramy dodávek pro rok 2017* [online]. [vid. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektřiny/normalizovane-tdd>
- [5] *PVGIS* [online]. [vid. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- [6] ING.JAN BENEŠ. Metodika TDD [online]. 2012 [vid. 2017-04-29]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~benesj/MMEE/CV5\\_obchod2.pdf](http://home.zcu.cz/~benesj/MMEE/CV5_obchod2.pdf)
- [7] STÁTNÍ FOND ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR. Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám [online]. 2016 [vid. 2016-12-21]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz>
- [8] IEA. Technology Roadmap - Energy storage [online]. 2014 [vid. 2016-11-15]. Dostupné z: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyStorage.pdf>
- [9] DOC. ING. JIŘÍ HAMMERBAUER, Ph.D. Olověné akumulátory [online]. 2009 [vid. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://canov.jergym.cz/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [10] EASE. Electrochemical LeadAcid [online]. 2012, s. 1–2 [vid. 2016-11-07]. Dostupné z: [http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/07/EASE\\_TD\\_Electrochemical\\_LeadAcid.pdf](http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/07/EASE_TD_Electrochemical_LeadAcid.pdf)
- [11] MARCONI. Skoro vše o akumulátorech a nabíjení [online]. 2008 [vid. 2016-11-06]. Dostupné z: [http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni\\_clanky/akumulatory.pdf](http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf)
- [12] MGR. JAROSLAV KOŘENEK. *Akumulátory s elektrodami tvaru desek* [online]. 2007 [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://projektysipvz.gytool.cz/projektysipvz/Default.aspx?uid=845>
- [13] PETR KŘIVÁK, (Petr Bača). Současné možnosti akumulace elektrické energie ve fotovoltaických aplikacích [online]. 2006 [vid. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://old.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2007/11/Krivak.pdf>
- [14] MANIMEKALAI, P. An Overview of Batteries for Photovoltaic ( PV ) Systems [online]. 2013 [vid. 2016-11-05]. Dostupné z: [citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=00C47BEB31109763055AA51CCA461EA4?doi=10.1.1.401.7780&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=00C47BEB31109763055AA51CCA461EA4?doi=10.1.1.401.7780&rep=rep1&type=pdf)
- [15] BERNABÉ, Javier a Mohedano MARTÍNEZ. BATTERIES IN PV SYSTEMS [online]. 2011 [vid. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/12628>

- [16] ING. JIŘÍ TICHÝ. *Lithiové akumulátory Přehled základních typů a jejich vlastností* [online]. [vid. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [17] LINDEN, David. *Lithium-Ion Batteries* [online]. 2002 [vid. 2016-12-04]. ISBN 0071359788. Dostupné z: [www.tec.ch.tum.de/uploads/media/2012-05-22\\_AMS\\_Battery\\_\\_FC\\_Lectures\\_-\\_Battery\\_\\_Michele\\_P.\\_for\\_Hubert\\_G.\\_.pdf](http://www.tec.ch.tum.de/uploads/media/2012-05-22_AMS_Battery__FC_Lectures_-_Battery__Michele_P._for_Hubert_G._.pdf)
- [18] DOC. ING. JIŘÍ HAMMERBAUER, Ph.D. *1. Akumulátory NiFe a NiCd I. I.* [online]. 2005 [vid. 2016-11-18]. Dostupné z: [http://www.malavoda.cz/akum\\_nife\\_nicd.pdf](http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf)
- [19] BATTEX. *NiCd akumulátory* [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>
- [20] VUTETAKIS, David G. *Digital Avionics Handbook - Batteries* [online]. 2001 [vid. 2016-11-18]. Dostupné z: [http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook\\_Cap\\_10.pdf](http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook_Cap_10.pdf)
- [21] EASE. *Sodium Sulphur Battery* [online]. 2012, s. 1–2 [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: [http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE\\_TD\\_NaS.pdf](http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE_TD_NaS.pdf)
- [22] *Sodium Sulfur (NAS) Batteries | Energy Storage Association* [online]. 2015 [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries>
- [23] TOMÁŠ REICHL. *Sodíkové baterie – konstrukce, princip činnosti a aplikace* [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/sodikove-baterie-konstrukce-princip-cinnosti-a-aplikace/>
- [24] TARASCON, J M a P SIMON. *Electrochemical Energy Storage- Flow battery* [online]. 2015 [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: [http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE\\_TD\\_FlowBattery.pdf](http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/03/EASE_TD_FlowBattery.pdf)
- [25] ING.DAVID PLÉHA. *Vanadové redoxní baterie* [online]. 2011 [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/vanadove-redoxni-baterie>
- [26] *Redox Flow Batteries - Energy Storage Association* [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/redox-flow-batteries>
- [27] *Vanadium Redox (VRB) Flow Batteries | Energy Storage Association* [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/vanadium-redox-vrb-flow-batteries>
- [28] MIT ELECTRIC VEHICLE TEAM. *A Guide to Understanding Battery Specifications* [online]. 2008, č. December, s. 1–3 [vid. 2016-12-06]. Dostupné z: [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)
- [29] BATTERY UNIVERSITY. *Secondary (Rechargeable) Batteries* [online]. [vid. 2016-12-08]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries)
- [30] ING. PAVEL TOŠER. *Náklady na akumulaci elektriny v sekundárních člancích - TZB-info* [online]. [vid. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elektriny-v-sekundarnich-clancich>
- [31] ČNB. *Akuální prognóza inflace* [online]. 2017 [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: [https://www.cnb.cz/cs/menova\\_politika/prognoza/index.html](https://www.cnb.cz/cs/menova_politika/prognoza/index.html)
- [32] *e-shop akumulátorů* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.obchodsolar.cz/solarni-baterie>

- [33] *e-shop akumulátorů* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68835/lithium.html>
- [34] *e-shop akumulátorů* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.battery-import.cz/baterie-6-12v/>
- [35] *e-shop akumulátorů* [online]. [vid. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/>

## 11. Seznam použitých obrázků

Obr.č. 1 Podíl obnovitelných zdrojů na světové výrobě elektřiny, vlastní tvorba na základě dat z [2].....	13
Obr.č. 2 Vývoj ceny fotovoltaických modulů v Evropě v 2010-2016, vlastní tvorba na základě dat z [3] .....	14
Obr.č. 3 Průměrná měsíční výroba 1kWp systému v dané lokalitě, vytvořeno na základě dat z [5] .....	17
Obr.č. 4 Denní diagram spotřeby během zimního víkendového dne .....	19
Obr.č. 5 Denní diagram spotřeby během letního pracovního dne.....	19
Obr.č. 6 Typizovaný denní diagram pro zimní víkendový den, vytvořený na základě dat z [4] .....	20
Obr.č. 7 Typizovaný denní diagram pro letní pracovní den, vytvořený na základě dat z [4] .....	20
Obr.č. 8 Konstrukce olověného akumulátoru, převzato z [12] .....	22
Obr.č. 9 Princip funkce lithiového akumulátoru, převzato z [16].....	25
Obr.č. 10 Konstrukce NiCd akumulátoru, převzato z [19] .....	26
Obr.č. 11 Schéma sodíkové baterie a chemická reakce, převzato z [23] .....	29
Obr.č. 12 Konstrukce průtokové baterie, převzato z [25] .....	30
Obr.č. 13 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z 12 V baterii olověného typu při DOD 50 %.....	36
Obr.č. 14 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z baterii typu LiFePo4 při DOD 50 % .....	36
Obr.č. 15 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z 12 V baterii olověného typu při DOD 80 %.....	37
Obr.č. 16 Porovnání ceny 1 kWh odebrané z baterie typu LiFePo4 při DOD 80 %.....	37
Obr.č. 17 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní víkendový den.....	38
Obr.č. 18 Porovnání spotřeby a výroby pro letní víkendový den.....	39
Obr.č. 19 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV bez zahrnutí nároku na dotační podporu .....	42
Obr.č. 20 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV zahrnující dotační podporu ...	42
Obr.č. 21 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na ceně elektřiny .....	44
Obr.č. 22 Porovnání vlivu ceny přebytků elektřiny na NPV jednotlivých variant.....	45
Obr.č. 23 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na ceně akumulátorů .....	46
Obr.č. 24 Porovnání závislosti NPV variant s akumulacním systémem na velikosti počáteční investice .....	47
Obr.č. 25 Porovnání závislosti NPV varianty pouze s FVE na velikosti počáteční investice.....	47
Obr.č. 26 Porovnání závislosti NPV jednotlivých variant na diskontu.....	48

## 12. Seznam tabulek

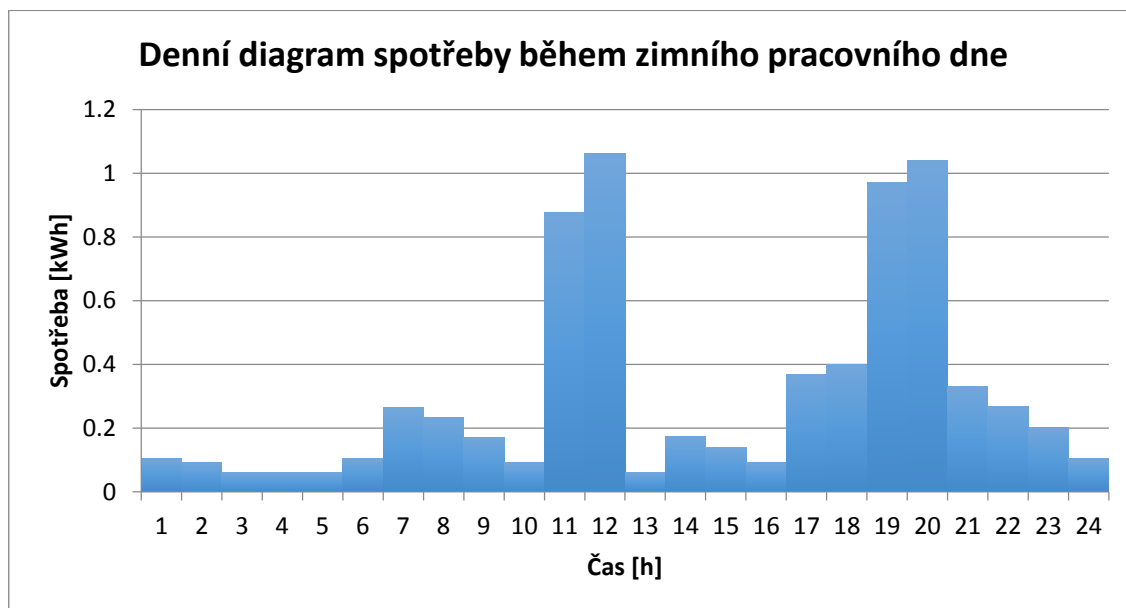
Tab.č. 1 Teoretické roční produkce elektrické energie, vytvořená na základě dat z [5] .....	17
Tab.č. 2 Seznam spotřebičů využívaných v domácnosti.....	18
Tab.č. 3 Tabulka porovnání parametrů bateriových článků [25, 29] .....	33
Tab.č. 4 Požadované parametry v podoblastech dotační podpory Nová zelená úsporám [7] .....	34
Tab.č. 5 Vstupní parametry modelu pro 2,5 kWp FVE s akumulacním systémem o velikosti 3,5 kWh.....	41
Tab.č. 6 Porovnání hodnot NPV pro 2,5 kWp FVE s 3,24 kWh akumulacním systémem.....	43

## 13. Seznam příloh

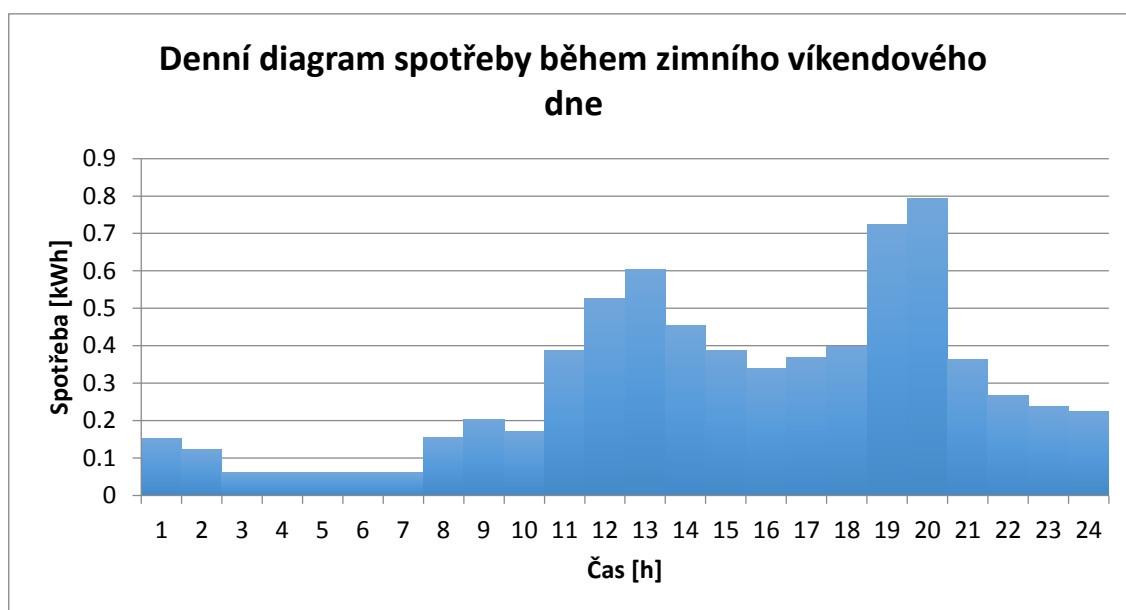
Příloha 1 Denní diagram spotřeby během zimního pracovního dne .....	57
Příloha 2 Denní diagram spotřeby během zimního víkendového dne.....	57
Příloha 3 Denní diagram spotřeby během jarního pracovního dne .....	58
Příloha 4 Denní diagram spotřeby během jarního víkendového dne.....	58
Příloha 5 Denní diagram spotřeby během letního pracovního dne .....	59
Příloha 6 Denní diagram spotřeby během letního víkendového dne.....	59
Příloha 7 Denní diagram spotřeby během podzimního pracovního dne .....	60
Příloha 8 Denní diagram spotřeby během podzimního víkendového dne.....	60
Příloha 9 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z olověných akumulátorů při DOD 50 %.....	61
Příloha 10 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z akumulátorů typu LiFePo4 při DOD 50 % .....	62
Příloha 11 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z olověných akumulátorů při DOD 80 %.....	63
Příloha 12 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z akumulátorů typu LiFePo4 při DOD 80 % .....	64
Příloha 13 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní pracovní den .....	65
Příloha 14 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní víkendový den .....	65
Příloha 15 Porovnání spotřeby a výroby pro jarní pracovní den.....	66
Příloha 16 Porovnání spotřeby a výroby pro jarní víkendový den .....	66
Příloha 17 Porovnání spotřeby a výroby pro letní pracovní den .....	67
Příloha 18 Porovnání spotřeby a výroby pro letní víkendový den .....	67
Příloha 19 Porovnání spotřeby a výroby pro podzimní pracovní den .....	68
Příloha 20 Porovnání spotřeby a výroby pro podzimní víkendový den .....	68
Příloha 21 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV bez zahrnutí nároku na dotační podpory.....	69
Příloha 22 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV zahrnující dotační podporu..	70



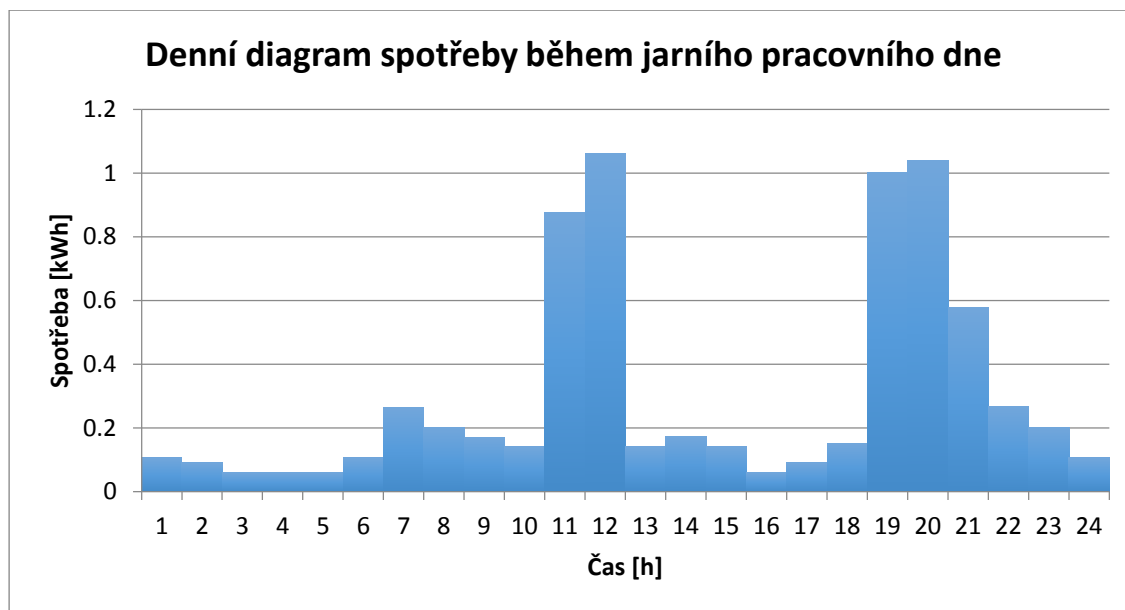
## 14. Přílohy



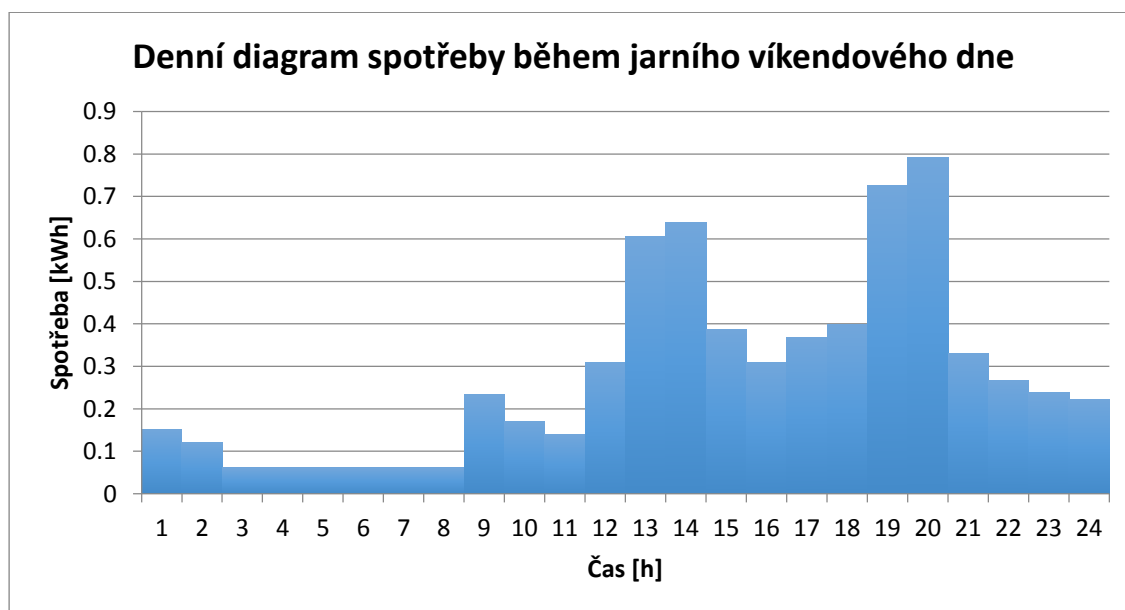
*Příloha 1 Denní diagram spotřeby během zimního pracovního dne*



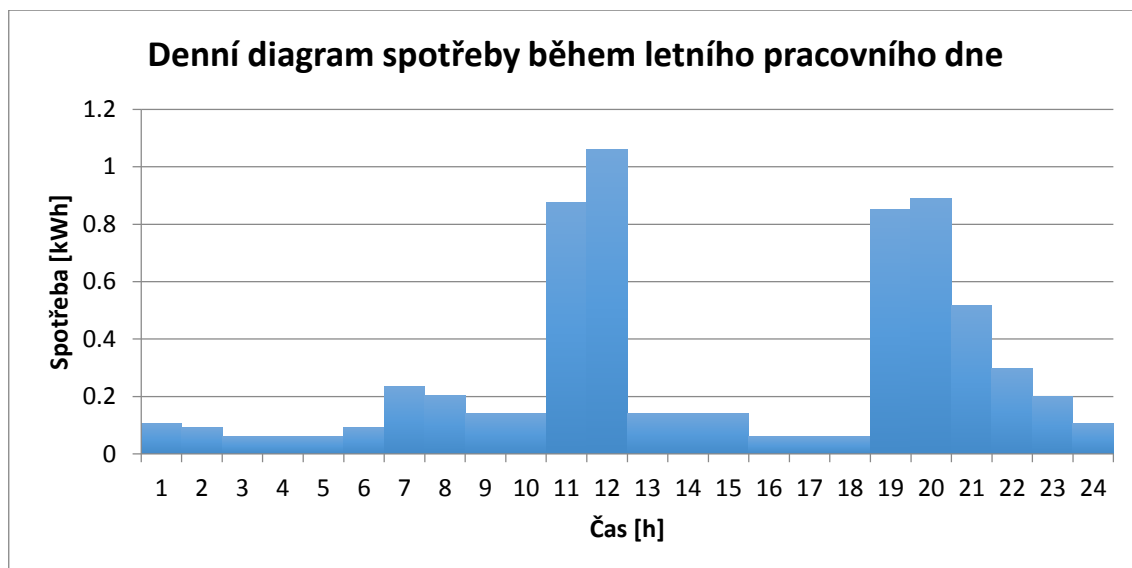
*Příloha 2 Denní diagram spotřeby během zimního víkendového dne*



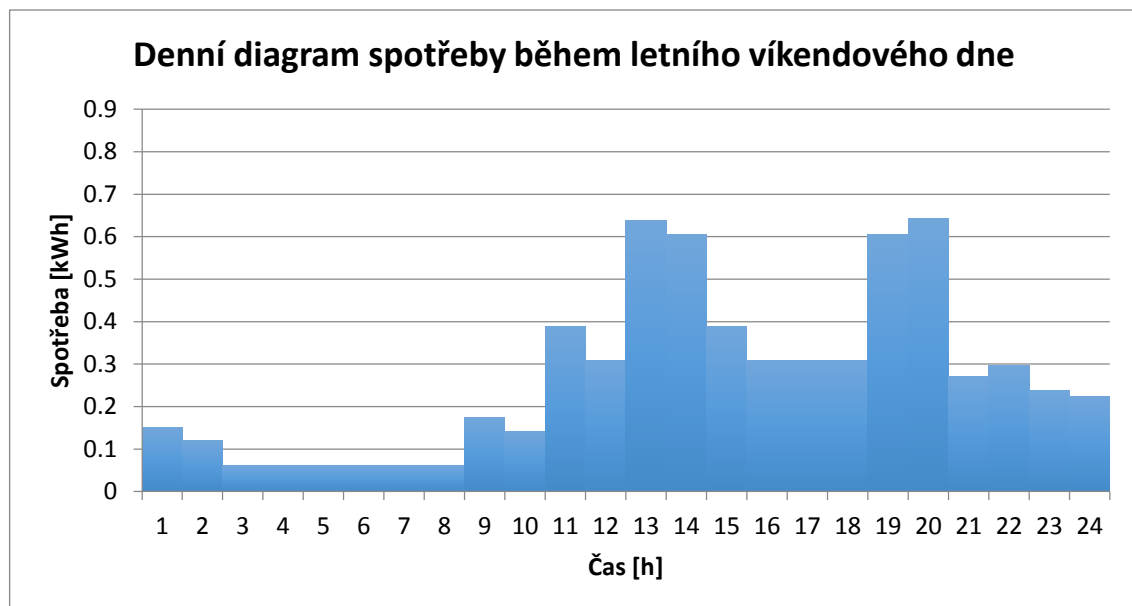
Příloha 3 Denní diagram spotřeby během jarního pracovního dne



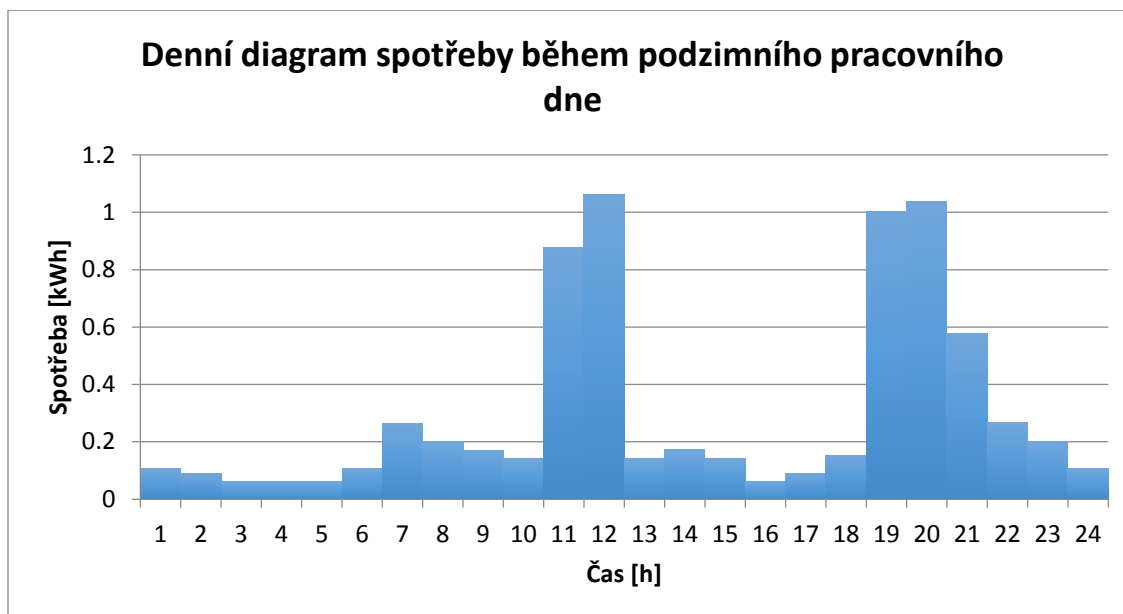
Příloha 4 Denní diagram spotřeby během jarního víkendového dne



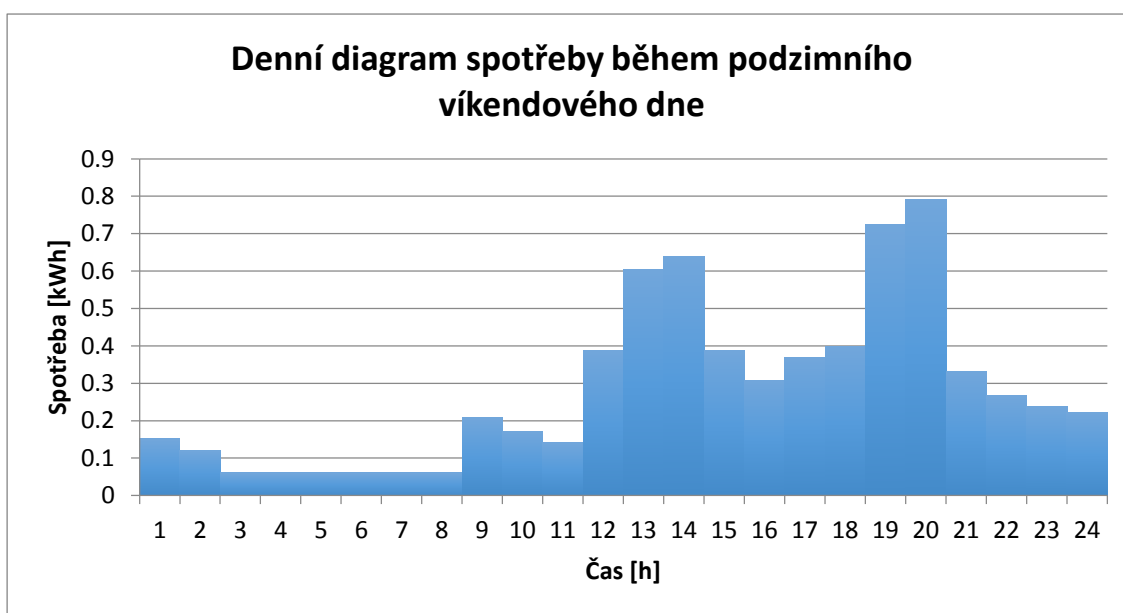
Příloha 5 Denní diagram spotřeby během letního pracovního dne



Příloha 6 Denní diagram spotřeby během letního víkendového dne



Příloha 7 Denní diagram spotřeby během podzimního pracovního dne



Příloha 8 Denní diagram spotřeby během podzimního víkendového dne

Název	Typ	Napětí [V]	Kapacita [Ah]	Cena [Kč]	Počet cyklů DOD 50 %	Cena za 1 kWh [Kč]	Zdroj
Victron 60 Ah	PB-Gel	12	60	5 098.00 Kč	1800	7.87 Kč	[32]
Victron 110 Ah	PB-Gel	12	110	8 485.00 Kč	1800	7.14 Kč	[32]
Victron 130 Ah	PB-Gel	12	130	9 960.00 Kč	1800	7.09 Kč	[32]
Victron 165 Ah	PB-Gel	12	165	12 798.00 Kč	1800	7.18 Kč	[32]
Hoppecke 100 Ah	Pb-AGM	12	100	9 293.00 Kč	2500	6.20 Kč	[35]
Hoppecke 150 Ah	Pb-AGM	12	150	12 098.00 Kč	2500	5.38 Kč	[35]
Hoppecke 200 Ah	Pb-AGM	12	200	14 558.00 Kč	2500	4.85 Kč	[35]
Hoppecke 250 Ah	Pb-AGM	12	250	18 818.00 Kč	2500	5.02 Kč	[35]
Banner 80 Ah	Pb-trakční	12	80	2 889.00 Kč	300	20.06 Kč	[32]
Banner 100 Ah	Pb-trakční	12	100	3 632.00 Kč	300	20.18 Kč	[32]
Banner 130 Ah	Pb-trakční	12	130	4 639.00 Kč	300	19.82 Kč	[32]
Banner 180 Ah	Pb-trakční	12	180	5 925.00 Kč	300	18.29 Kč	[32]
Banner 230 Ah	Pb-trakční	12	230	7 705.00 Kč	300	18.61 Kč	[32]

*Příloha 9 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z olověných akumulátorů při DOD 50 %*

Název	Typ	Napětí [V]	Kapacita [Ah]	Cena [Kč]	Počet cyklů DOD 50 %	Cena za 1 kWh [Kč]	Zdroj
Victron 60 Ah	LiFePO4	12	60	19 100.00 Kč	7000	7.11 Kč	[33]
Victron 90 Ah	LiFePO4	12	90	27 000.00 Kč	7000	6.70 Kč	[33]
Victron 160 Ah	LiFePO4	12	160	44 150.00 Kč	7000	6.16 Kč	[33]
Victron 200 Ah	LiFePO4	12	200	59 500.00 Kč	7000	6.64 Kč	[33]
Victron 300 Ah	LiFePO4	12	300	86 400.00 Kč	7000	6.43 Kč	[33]
Winston 40 Ah	LiFePO4	12	40	7 529.00 Kč	7000	4.48 Kč	[34]
Winston 60 Ah	LiFePO5	12	60	11 279.00 Kč	7000	4.48 Kč	[34]
Winston 90 Ah	LiFePO4	12	90	16 899.00 Kč	7000	4.47 Kč	[34]

*Příloha 10 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z akumulátorů typu LiFePo4 při DOD 50 %*

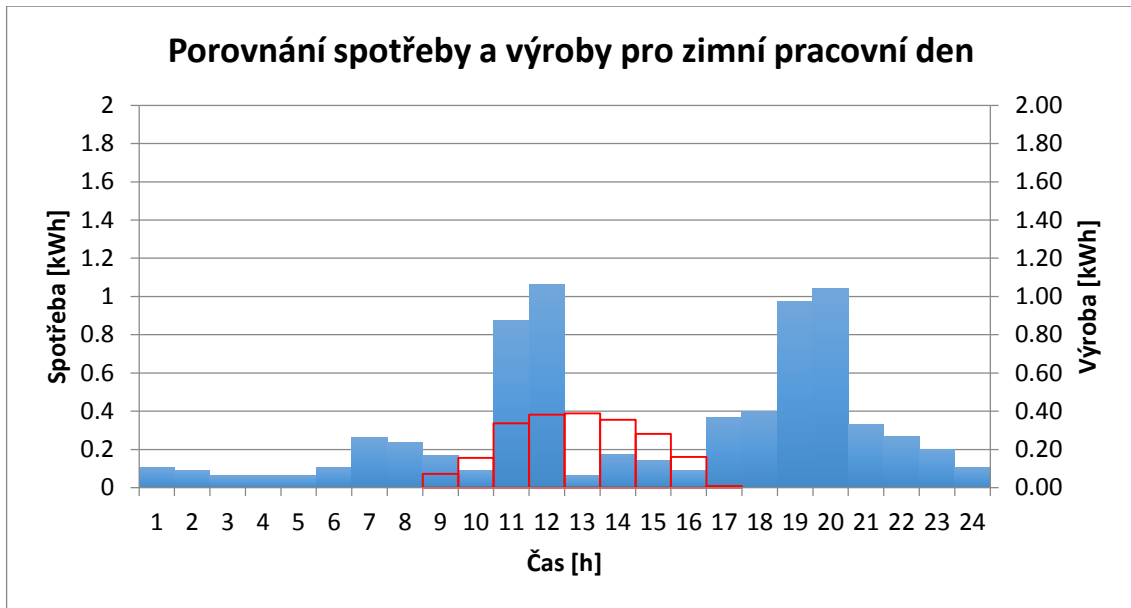
Název	Typ	Napětí [V]	Kapacita [Ah]	Cena [Kč]	Počet cyklů DOD 80 %	Cena za 1 kWh [Kč]	Zdroj
Victron 60 Ah	PB-Gel	12	60	5 098.00 Kč	500	6.22 Kč	[32]
Victron 110 Ah	PB-Gel	12	110	8 485.00 Kč	500	5.60 Kč	[32]
Victron 130 Ah	PB-Gel	12	130	9 960.00 Kč	500	5.39 Kč	[32]
Victron 165 Ah	PB-Gel	12	165	12 798.00 Kč	500	5.81 Kč	[32]
Hoppecke 100 Ah	Pb-AGM	12	100	9 293.00 Kč	1000	5.63 Kč	[35]
Hoppecke 150 Ah	Pb-AGM	12	150	12 098.00 Kč	1000	3.92 Kč	[35]
Hoppecke 200 Ah	Pb-AGM	12	200	14 558.00 Kč	1000	3.92 Kč	[35]
Hoppecke 250 Ah	Pb-AGM	12	250	18 818.00 Kč	1000	3.91 Kč	[35]
Banner 80 Ah	Pb-trakční	12	80	2 889.00 Kč	150	6.22 Kč	[32]
Banner 100 Ah	Pb-trakční	12	100	3 632.00 Kč	150	5.60 Kč	[32]
Banner 130 Ah	Pb-trakční	12	130	4 639.00 Kč	150	5.39 Kč	[32]
Banner 180 Ah	Pb-trakční	12	180	5 925.00 Kč	150	5.81 Kč	[32]
Banner 230 Ah	Pb-trakční	12	230	7 705.00 Kč	150	5.63 Kč	[32]

*Příloha 11 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z olověných akumulátorů při DOD 80 %*

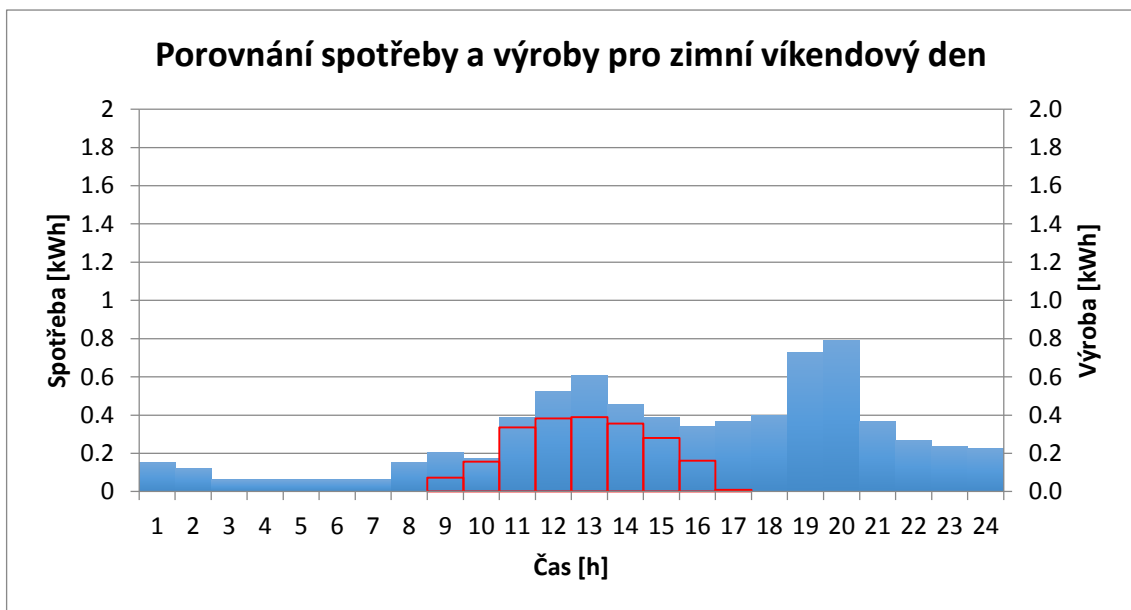
Název	Typ	Napětí [V]	Kapacita [Ah]	Cena [Kč]	Počet cyklů DOD 80 %	Cena za 1 kWh [Kč]	Zdroj
Victron 60 Ah	LiFePO4	12	60	19 100.00 Kč	5000	6.22 Kč	[33]
Victron 90 Ah	LiFePO4	12	90	25 800.00 Kč	5000	5.60 Kč	[33]
Victron 160 Ah	LiFePO4	12	160	44 150.00 Kč	5000	5.39 Kč	[33]
Victron 200 Ah	LiFePO4	12	200	59 500.00 Kč	5000	5.81 Kč	[33]
Victron 300 Ah	LiFePO4	12	300	86 400.00 Kč	5000	5.63 Kč	[33]
Winston 40 Ah	LiFePO4	12	40	7 529.00 Kč	5000	3.92 Kč	[34]
Winston 60 Ah	LiFePO5	12	60	11 279.00 Kč	5000	3.92 Kč	[34]
Winston 90 Ah	LiFePO4	12	90	16 899.00 Kč	5000	3.91 Kč	[34]

*Příloha 12 Tabulka porovnání ceny 1 kWh elektřiny odebrané z akumulátorů typu LiFePo4 při DOD 80 %*

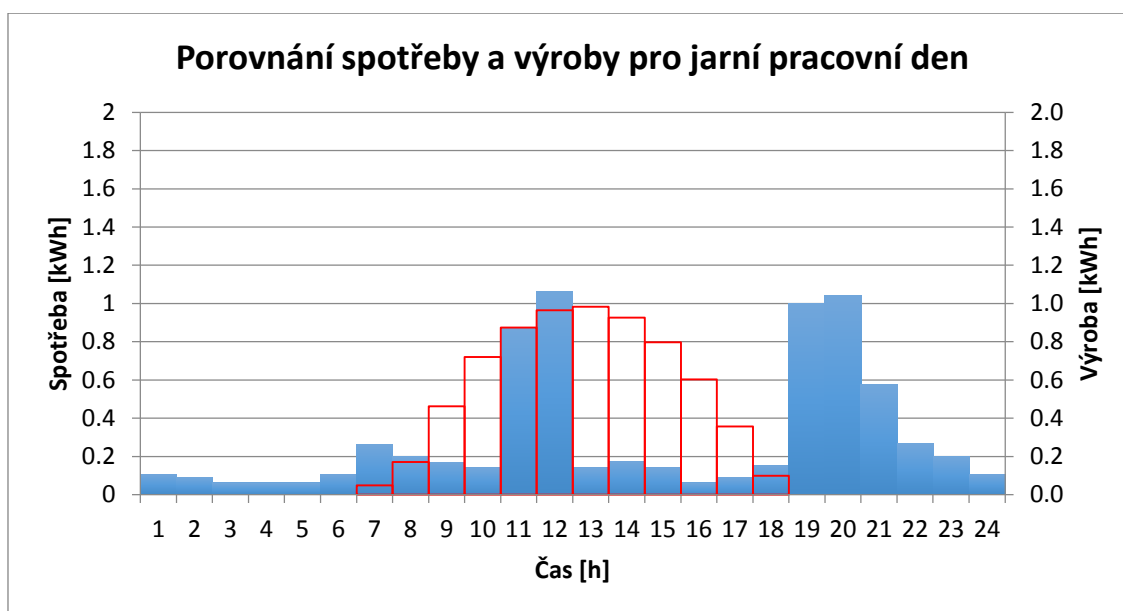




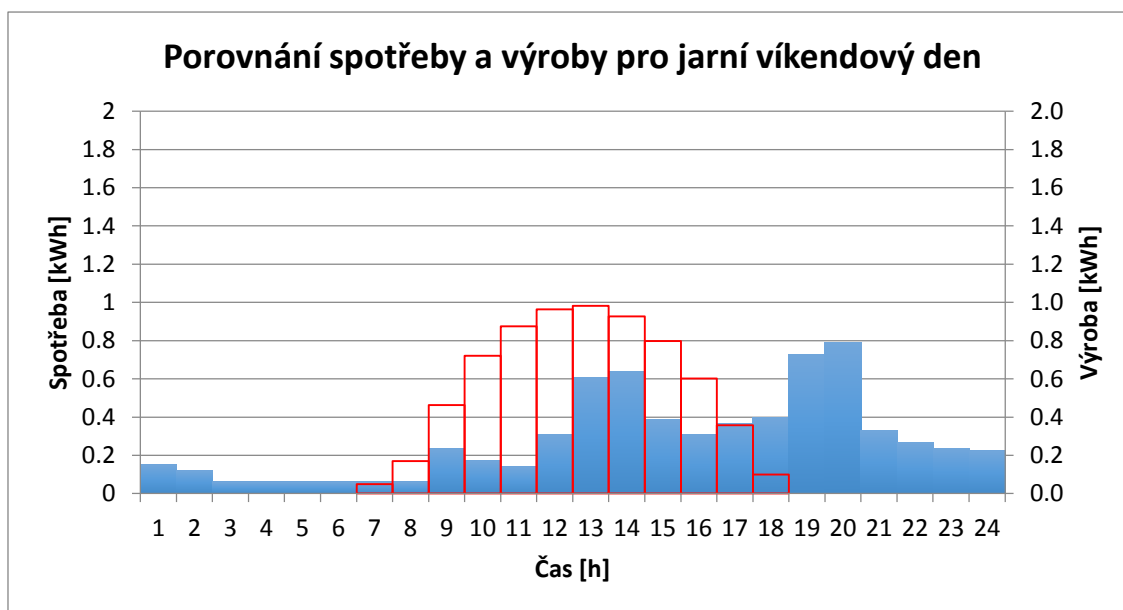
Příloha 13 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní pracovní den



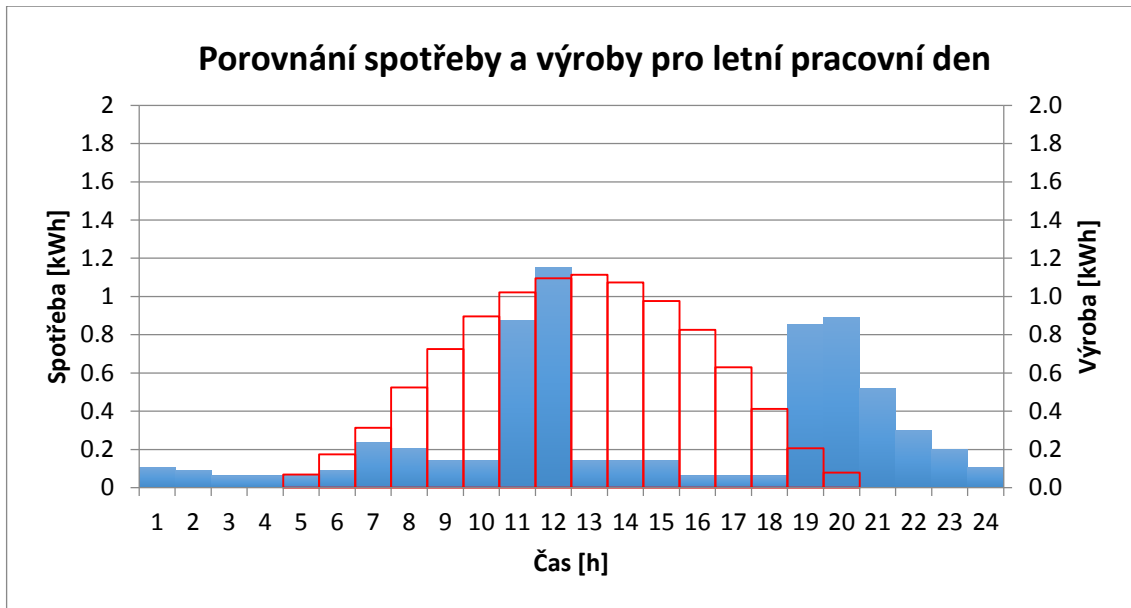
Příloha 14 Porovnání spotřeby a výroby pro zimní víkendový den



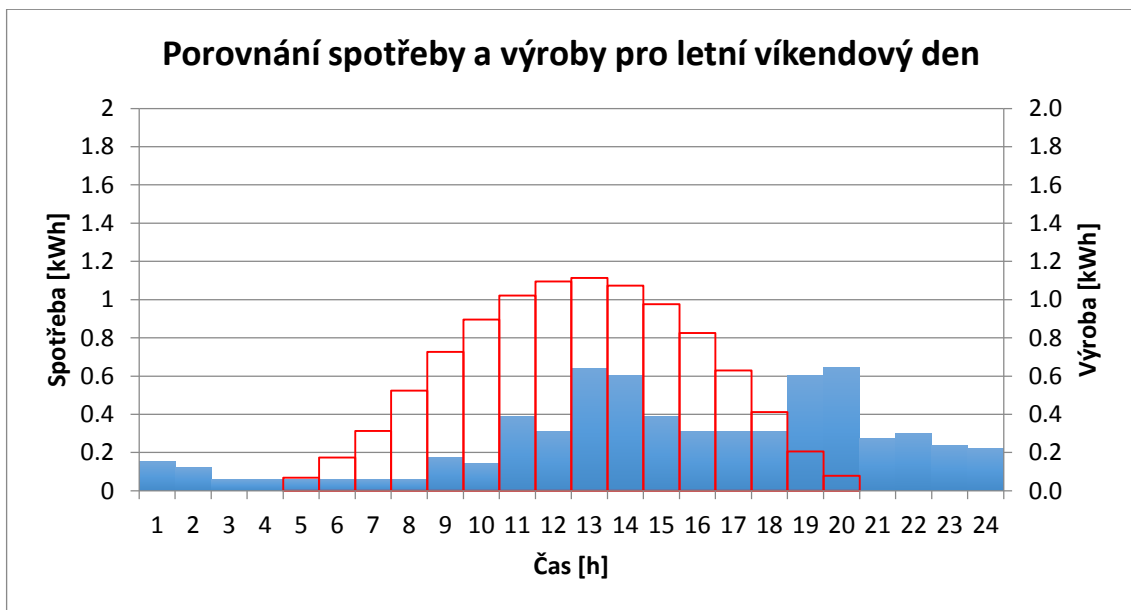
Příloha 15 Porovnání spotřeby a výroby pro jarní pracovní den



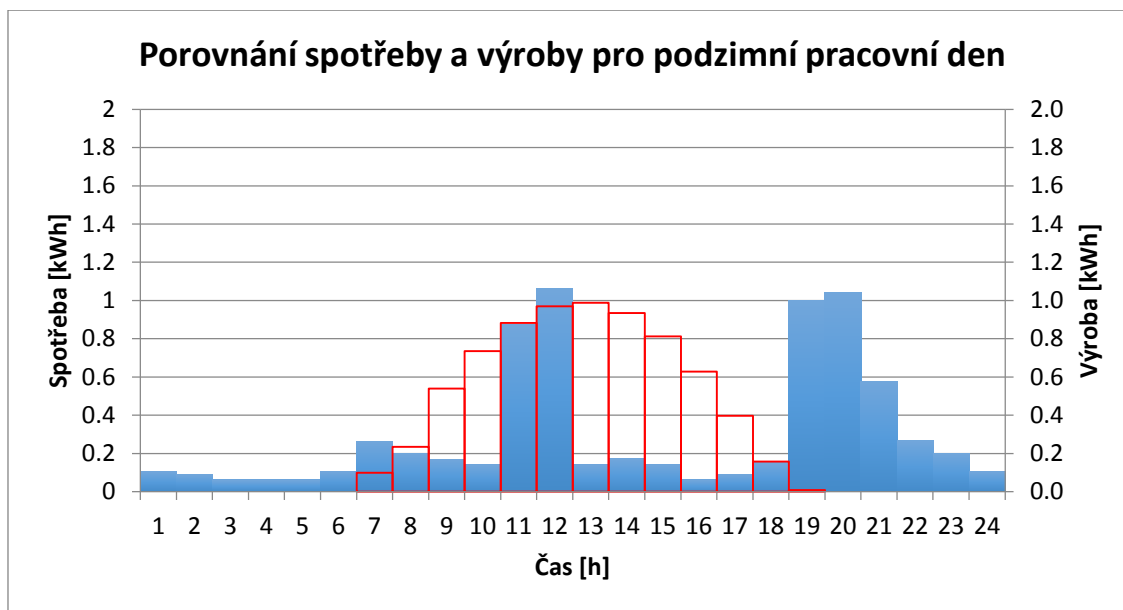
Příloha 16 Porovnání spotřeby a výroby pro jarní víkendový den



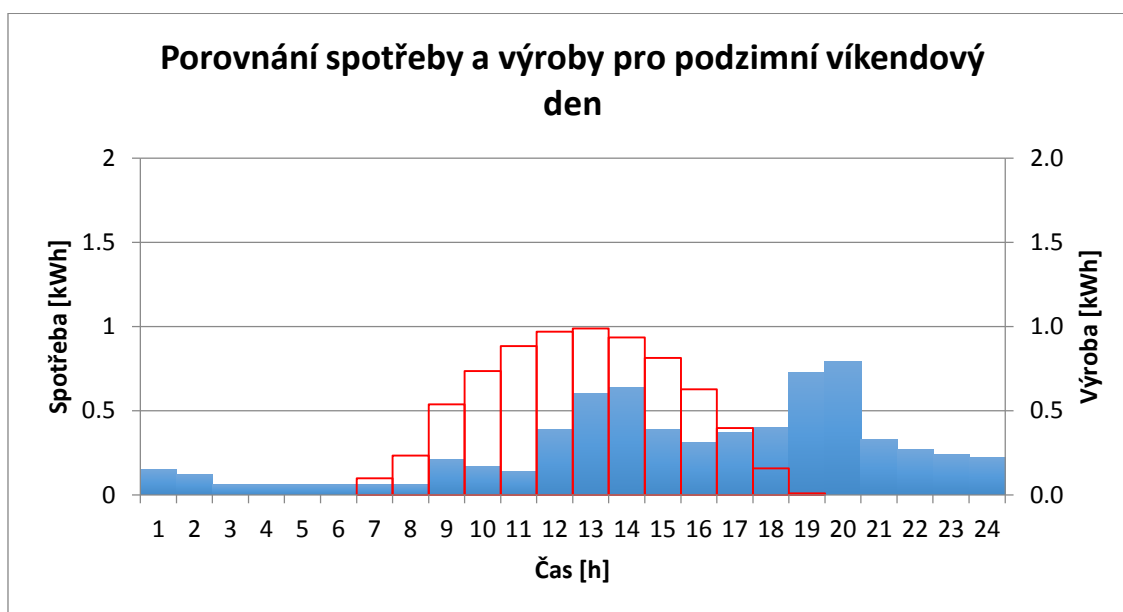
Příloha 17 Porovnání spotřeby a výroby pro letní pracovní den



Příloha 18 Porovnání spotřeby a výroby pro letní víkendový den



*Příloha 19 Porovnání spotřeby a výroby pro podzimní pracovní den*



*Příloha 20 Porovnání spotřeby a výroby pro podzimní víkendový den*

		Instalovaný výkon FVE [kWp]										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Akumulační systém [kWh]	0	- 284 530 Kč	- 301 207 Kč	- 293 549 Kč	- 290 954 Kč	- 291 790 Kč	- 294 531 Kč	- 300 099 Kč	- 307 683 Kč	- 316 031 Kč	- 324 970 Kč	- 334 318 Kč
	0.5		- 329 194 Kč	- 322 767 Kč	- 325 279 Kč	- 331 688 Kč	- 340 293 Kč	- 352 109 Kč	- 366 157 Kč	- 380 867 Kč	- 396 119 Kč	- 411 809 Kč
	1		- 343 581 Kč	- 332 949 Kč	- 332 425 Kč	- 337 919 Kč	- 345 954 Kč	- 356 817 Kč	- 370 261 Kč	- 384 616 Kč	- 399 624 Kč	- 415 123 Kč
	1.5		- 357 968 Kč	- 345 522 Kč	- 341 045 Kč	- 344 990 Kč	- 352 226 Kč	- 362 833 Kč	- 375 847 Kč	- 389 448 Kč	- 403 905 Kč	- 418 934 Kč
	2		- 372 355 Kč	- 360 172 Kč	- 351 597 Kč	- 352 988 Kč	- 359 338 Kč	- 369 156 Kč	- 381 888 Kč	- 395 358 Kč	- 409 412 Kč	- 423 851 Kč
	2.5		- 386 743 Kč	- 374 688 Kč	- 363 751 Kč	- 361 636 Kč	- 367 034 Kč	- 376 237 Kč	- 388 369 Kč	- 401 388 Kč	- 415 302 Kč	- 429 694 Kč
	3		- 401 130 Kč	- 389 205 Kč	- 378 193 Kč	- 371 770 Kč	- 374 972 Kč	- 383 864 Kč	- 395 419 Kč	- 407 942 Kč	- 421 360 Kč	- 435 539 Kč
	3.5		- 415 517 Kč	- 403 721 Kč	- 392 896 Kč	- 383 037 Kč	- 383 849 Kč	- 391 573 Kč	- 403 013 Kč	- 414 935 Kč	- 427 928 Kč	- 441 617 Kč
	4		- 429 904 Kč	- 418 238 Kč	- 407 478 Kč	- 396 643 Kč	- 393 720 Kč	- 399 645 Kč	- 410 830 Kč	- 422 309 Kč	- 434 806 Kč	- 448 103 Kč
	4.5		- 444 291 Kč	- 432 754 Kč	- 422 060 Kč	- 411 637 Kč	- 404 155 Kč	- 408 534 Kč	- 418 563 Kč	- 430 058 Kč	- 441 966 Kč	- 454 895 Kč
	5		- 458 678 Kč	- 447 271 Kč	- 436 642 Kč	- 426 309 Kč	- 416 356 Kč	- 418 126 Kč	- 426 634 Kč	- 437 853 Kč	- 449 479 Kč	- 461 883 Kč
	5.5		- 473 066 Kč	- 461 787 Kč	- 451 224 Kč	- 440 891 Kč	- 430 274 Kč	- 428 100 Kč	- 435 393 Kč	- 445 577 Kč	- 457 309 Kč	- 469 201 Kč
	6		- 487 453 Kč	- 476 304 Kč	- 465 806 Kč	- 455 473 Kč	- 445 416 Kč	- 438 920 Kč	- 444 668 Kč	- 453 518 Kč	- 465 099 Kč	- 476 834 Kč
	6.5		- 501 840 Kč	- 490 820 Kč	- 480 389 Kč	- 470 055 Kč	- 460 254 Kč	- 451 232 Kč	- 454 617 Kč	- 462 106 Kč	- 472 822 Kč	- 484 708 Kč
	7		- 516 227 Kč	- 505 337 Kč	- 494 971 Kč	- 484 637 Kč	- 474 837 Kč	- 464 705 Kč	- 464 690 Kč	- 471 168 Kč	- 480 699 Kč	- 492 473 Kč
7.5		- 530 614 Kč	- 519 854 Kč	- 509 553 Kč	- 499 220 Kč	- 489 419 Kč	- 479 544 Kč	- 475 571 Kč	- 480 748 Kč	- 489 070 Kč	- 500 196 Kč	
8		- 545 002 Kč	- 534 370 Kč	- 524 135 Kč	- 513 802 Kč	- 504 001 Kč	- 494 865 Kč	- 487 811 Kč	- 490 758 Kč	- 497 935 Kč	- 508 002 Kč	
8.5		- 559 389 Kč	- 548 887 Kč	- 538 717 Kč	- 528 384 Kč	- 518 583 Kč	- 509 574 Kč	- 500 981 Kč	- 500 909 Kč	- 507 268 Kč	- 516 270 Kč	
9		- 573 776 Kč	- 563 403 Kč	- 553 299 Kč	- 542 966 Kč	- 533 165 Kč	- 524 156 Kč	- 515 397 Kč	- 511 766 Kč	- 517 074 Kč	- 524 964 Kč	

Příloha 21 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV bez zahrnutí nároku na dotační podporu

		Instalovaný výkon FVE [kWp]										
		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Velikost akumulčního systému [kWh]	0	- 284 530 Kč	- 301 207 Kč	- 293 549 Kč	- 290 954 Kč	- 291 790 Kč	- 294 531 Kč	- 300 099 Kč	- 307 683 Kč	- 316 031 Kč	- 324 970 Kč	- 334 318 Kč
	0.5		- 329 194 Kč	- 322 767 Kč	- 325 279 Kč	- 331 688 Kč	- 340 293 Kč	- 352 109 Kč	- 366 157 Kč	- 380 867 Kč	- 396 119 Kč	- 411 809 Kč
	1		- 343 581 Kč	- 332 949 Kč	- 332 425 Kč	- 337 919 Kč	- 345 954 Kč	- 356 817 Kč	- 370 261 Kč	- 384 616 Kč	- 399 624 Kč	- 415 123 Kč
	1.5		- 357 968 Kč	- 345 522 Kč	- 341 045 Kč	- 344 990 Kč	- 352 226 Kč	- 362 833 Kč	- 375 847 Kč	- 389 448 Kč	- 403 905 Kč	- 418 934 Kč
	2		- 372 355 Kč	- 360 172 Kč	- 351 597 Kč	- 352 988 Kč	- 359 338 Kč	- 369 156 Kč	- 381 888 Kč	- 395 358 Kč	- 409 412 Kč	- 423 851 Kč
	2.5		- 386 743 Kč	- 374 688 Kč	- 363 751 Kč	- 361 636 Kč	- 367 034 Kč	- 376 237 Kč	- 388 369 Kč	- 401 388 Kč	- 415 302 Kč	- 429 694 Kč
	3		- 401 130 Kč	- 389 205 Kč	- 378 193 Kč	- 371 770 Kč	- 374 972 Kč	- 383 864 Kč	- 395 419 Kč	- 407 942 Kč	- 421 360 Kč	- 435 539 Kč
	3.5		- 415 517 Kč	- 403 721 Kč	- 392 896 Kč	- 383 037 Kč	- 313 849 Kč	- 391 573 Kč	- 403 013 Kč	- 414 935 Kč	- 427 928 Kč	- 441 617 Kč
	4		- 429 904 Kč	- 418 238 Kč	- 407 478 Kč	- 396 643 Kč	- 323 720 Kč	- 399 645 Kč	- 410 830 Kč	- 422 309 Kč	- 434 806 Kč	- 448 103 Kč
	4.5		- 444 291 Kč	- 432 754 Kč	- 422 060 Kč	- 411 637 Kč	- 334 155 Kč	- 338 534 Kč	- 418 563 Kč	- 430 058 Kč	- 441 966 Kč	- 454 895 Kč
	5		- 458 678 Kč	- 447 271 Kč	- 436 642 Kč	- 426 309 Kč	- 346 356 Kč	- 348 126 Kč	- 426 634 Kč	- 437 853 Kč	- 449 479 Kč	- 461 883 Kč
	5.5		- 473 066 Kč	- 461 787 Kč	- 451 224 Kč	- 440 891 Kč	- 360 274 Kč	- 358 100 Kč	- 435 393 Kč	- 445 577 Kč	- 457 309 Kč	- 469 201 Kč
	6		- 487 453 Kč	- 476 304 Kč	- 465 806 Kč	- 455 473 Kč	- 375 416 Kč	- 368 920 Kč	- 374 668 Kč	- 453 518 Kč	- 465 099 Kč	- 476 834 Kč
	6.5		- 501 840 Kč	- 490 820 Kč	- 480 389 Kč	- 470 055 Kč	- 390 254 Kč	- 381 232 Kč	- 384 617 Kč	- 462 106 Kč	- 472 822 Kč	- 484 708 Kč
	7		- 516 227 Kč	- 505 337 Kč	- 494 971 Kč	- 484 637 Kč	- 404 837 Kč	- 394 705 Kč	- 394 690 Kč	- 471 168 Kč	- 480 699 Kč	- 492 473 Kč
	7.5		- 530 614 Kč	- 519 854 Kč	- 509 553 Kč	- 499 220 Kč	- 419 419 Kč	- 409 544 Kč	- 405 571 Kč	- 410 748 Kč	- 489 070 Kč	- 500 196 Kč
8		- 545 002 Kč	- 534 370 Kč	- 524 135 Kč	- 513 802 Kč	- 434 001 Kč	- 424 865 Kč	- 417 811 Kč	- 420 758 Kč	- 497 935 Kč	- 508 002 Kč	
8.5		- 559 389 Kč	- 548 887 Kč	- 538 717 Kč	- 528 384 Kč	- 448 583 Kč	- 439 574 Kč	- 430 981 Kč	- 430 909 Kč	- 507 268 Kč	- 516 270 Kč	
9		- 573 776 Kč	- 563 403 Kč	- 553 299 Kč	- 542 966 Kč	- 463 165 Kč	- 454 156 Kč	- 445 397 Kč	- 441 766 Kč	- 417 074 Kč	- 524 964 Kč	

Příloha 22 Výstupní tabulka řešitele porovnávající hodnoty NPV zahrnující dotační podporu

