



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Akumulace elektřiny z malé FVE**

**Energy storage from small PV**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Králík Ph.D.

**Stanislav Axman**

**Praha 2020**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Axman Jméno: Stanislav Osobní číslo: 474534  
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:

Akumulace elektřiny z malé FVE

Název bakalářské práce anglicky:

Accumulation of electricity from small PVE

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište dostupné technologie akumulace elektřiny vyrobené v malé FVE
- 2) Navrhněte akumulační systém a způsob jeho provozu pro vybraný případ
- 3) Vyhodnoťte ekonomiku akumulačního systému

Seznam doporučené literatury:

- 1) LUO, Xing, Jihong WANG, Mark DOONER a Jonathan CLARKE. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. Applied Energy
- 2) AKBARI, Hoda, Maria C. BROWNE, Anita ORTEGA, Ming Jun HUANG, Neil J. HEWITT, Brian NORTON a Sarah J. MCCORMACK. Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems. Solar Energy

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: 27.01.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.05.2020

Platnost zadání bakalářské práce: 30.09.2021

Ing. Tomáš Králík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis otkana(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 předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“**

**V Praze dne**

**podpis**

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Tomášovi Králíkovi Ph.D. za vynaložený čas, cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

**Abstrakt**

Bakalářská práce se nejdříve zabývá popisem dostupných technologií umožňujících akumulaci elektrické energie z fotovoltaické elektrárny v měřítku rodinného domu. Dále je v práci popsán konkrétní objekt s již realizovanou fotovoltaickou elektrárnou, pro který je následně vybrán a optimalizován akumulací systém.

**Klíčová slova**

fotovoltaická elektrárna, akumulace, baterie, tepelné zásobníky

**Abstract**

This bachelor thesis deals with available technologies that enable to store electricity produced by a small photovoltaic power station. Next part of the thesis is dedicated to analyzing a specific object with existing photovoltaic power station and the last part deals with the choice and optimisation of an accumulation system suitable for the analysed object.

**Key words**

photovoltaic power plant, accumulation, battery, boilers

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Dostupné technologie akumulace elektřiny pro rodinný dům .....	8
2.1	Akumulátorové baterie .....	9
2.1.1	Různé technologie baterií.....	9
2.1.2	Olověné .....	11
2.1.3	Lithiové .....	12
2.1.4	Porovnání technologií.....	13
2.2	Tepelné zásobníky .....	13
2.2.1	Ohřev vody .....	13
2.2.2	Dostupné varianty tepelných zásobníků .....	13
3	Dotační program Nová zelená úsporám.....	15
4	Návrh akumulačního systému pro konkrétní rodinný dům .....	16
4.1	Popis objektu .....	16
4.1.1	Denní diagram .....	17
4.2	Optimalizační model.....	19
4.2.1	Vstupní parametry modelu .....	19
4.2.2	Spotřeba a výroba elektrické energie.....	20
4.3	Cena za odebranou kWh z akumulátoru .....	21
4.4	Optimální velikost akumulátoru.....	23
4.5	Tepelné zásobníky .....	25
4.6	Návrh .....	28
5	Ekonomické vyhodnocení akumulačního systému .....	28
5.1	Citlivostní analýzy .....	28
5.1.1	Nákupní a výkupní cena elektřiny .....	28
5.1.2	Celková investice .....	30
5.1.3	Diskont.....	31
5.2	Kritéria efektivnosti .....	32
5.3	Porovnání s již realizovaným systémem bez akumulace.....	33
6	Závěr .....	33
7	Seznam použité literatury .....	36
8	Seznam použitých obrázků.....	39
9	Seznam tabulek .....	39
10	Seznam příloh.....	39
11	Přílohy.....	40

# 1 Úvod

Cena fotovoltaických panelů klesla od roku 2010 o přibližně 80 % a tím klesly i pořizovací náklady na solární elektrárny, které se tak stávají dostupnými pro více lidí a domácností. Dále také každoročně roste cena silové elektřiny[1]. Díky těmto změnám v cenách a také díky dotacím vzrostl podíl instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren na celkovém instalovaném výkonu v ČR. V roce 2009 byl instalovaný výkon fotovoltaických elektráren 464,6 MW a do roku 2018 vzrostl tento výkon na 2056,8 MW[2]. To činí 8 % celkového instalovaného výkonu v elektrizační soustavě ČR.

Fotovoltaické elektrárny však nejsou schopny dodávat konstantní množství energie. To závisí například na ročním období, oblačnosti nebo konkrétní hodině během dne. Malé fotovoltaické elektrárny vyrábí nejvíce elektrické energie během dne, kdy nejsou obyvatelé domů přítomni a nemohou ji využít.[3] Tento přebytek energie může být prodán zpět do sítě dodavateli, avšak za nižší cenu než je cena nákupní.[4] V době nedostatku elektrické energie je naopak nutné ji nakoupit ze sítě zpět. Druhé řešení je přebytečnou energii uchovat a použít ji v době, kdy je spotřeba elektrické energie nejvyšší. K tomu je potřeba doplnit fotovoltaickou elektrárnu o systém akumulace. Ten dokáže uchovat přebytečnou elektrickou energii k pozdějšímu využití.

Systém akumulace řeší více problémů najednou. S první výhodou se investoři setkají už při realizaci elektrárny s akumulací. Jedná se o výši dotace. Do roku 2013 nabízel stát na fotovoltaické elektrárny dotace v podobě provozní podpory. Od roku 2014 do konce roku 2021 nabízí stát pouze investiční dotace v rámci programu Nová zelená úsporám. Nabízená investiční dotace pro systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem dosahuje maximální výše 35 000 Kč. Při volbě varianty s akumulací je maximální možná výše dotace až 150 000 Kč, při splnění dalších podmínek[5]. Nové investory do fotovoltaických elektráren podpoří i fakt, že od 1.1.2016 díky novele energetického zákona není potřeba k připojení fotovoltaické elektrárny do elektrizační soustavy s instalovaným výkonem do 10 kW vlastnit licenci od Energetického regulačního úřadu.

Další výhodou akumulačního systému je částečná nezávislost na dodané energii ze sítě. V modelovém scénáři, kdy nebude dostupná energie ze sítě z důvodu poruchy na vedení, může domácnost s instalovanou solární elektrárnou se systémem akumulace dále využívat elektrickou energii. Během dne se do tohoto systému akumulovala elektrická energie vyrobená pomocí fotovoltaiky, a v případě výpadku proudu ze sítě je tato energie připravena ke spotřebě. Jde pouze o částečnou nezávislost na síti, protože systémy akumulace mají určitou kapacitu a mohou tak zásobovat domácnost energií po omezenou dobu.

Podle Energetického regulačního úřadu nákupní cena elektřiny pro domácnosti po celé ČR v roce 2020 vzroste o 1,3 % oproti roku 2019 [6]. Naopak výkupní cena přebytků z malé fotovoltaické elektrárny s výkonem do 100 kW se pohybuje mnohem níže, konkrétně okolo 500 Kč/MWh [4]. Navíc například u společnosti ČEZ je tato nízká výkupní cena podmíněna dodávkou elektřiny. Výhodnější variantou by mohl být právě systém akumulace, který uchovává energii vyrobenou během dne k pozdějšímu užití. V takovém případě by odběratel minimalizoval množství energie, kterou by musel zakoupit od svého dodavatele. Naopak by maximalizoval využití energie, kterou vyrobí solární elektrárna, a kterou by jinak prodal za nižší cenu.

Cílem této práce je popsat a porovnat způsoby akumulace elektrické energie z malé fotovoltaické elektrárny v měřítku rodinného domu. Dále vybrat z těchto technologií nejvhodnější pro již realizovanou a funkční solární elektrárnu v areálu konkrétního rodinného domu. Dílčím cílem je dále zjistit, zda by bylo ekonomicky výhodné do takového projektu investovat a nadále ho provozovat.

## 2 Dostupné technologie akumulace elektřiny pro rodinný dům

Přebytečnou elektrickou energii je možné skladovat dvěma způsoby. První možnost je skladování přímo ve formě elektrické energie, kterou je možné následně využít. Druhá možnost je přeměna na jinou formu energie, která se snadněji uchovává. Tato energie může být využita ve své formě, jako například teplo, nebo přeměněna zpět na energii elektrickou.

Elektrickou energii můžeme skladovat bez jakékoliv přeměny na jinou formu energie pomocí superkapacitorů. Toto zařízení dokáže uchovat velké množství energie, ale pouze po krátký čas z důvodu samovybíjení. Za měsíc se vybije až 60 % kapacity, což činí tuto technologii nevhodnou pro účely skladování elektrické energie z fotovoltaické elektrárny pro domácí užití.[7]

Jedna z dalších možností je uchování pomocí přeměny na mechanickou energii. Využívanou technologií jsou například setrvačnický nebo technologie CAES. CAES neboli compressed air energy storage, využívá uchování energie pomocí stlačeného vzduchu. Kompresor přemění elektrickou energii na mechanickou stlačením vzduchu do nádoby, ve které je stlačený vzduch uchován. V případě nedostatku energie se stlačený vzduch z nádoby vypustí, ohřeje a pohání turbínu, která přemění mechanickou energii zpět na elektrickou. Toto řešení je z důvodu nutnosti velkých nádob na vzduch a turbín na přeměnu energie nevhodné pro použití v domácnostech. Setrvačnický využívají hybnosti, kterou jim dodá elektrický motor v době přebytku energie, aby poháněly generátor v době nedostatku energie. Setrvačnický jsou stejně jako superkapacitory používány ke krátkodobému uchování energie, protože za hodinu ztratí až 20 % skladované energie.[8]

Elektrickou energii také lze uchovat pomocí přeměny na tepelnou energii. Existuje více způsobů uchování tepelné energie, ale pro použití s malou fotovoltaickou elektrárnou se používá technologie SHS neboli sensible heat storage. Tato technologie využívá přebytečnou elektřinu k ohřátí média, nejčastěji vody, které je uschováno v tepelně izolovaných nádobách nad zemí nebo v jámách v zemi. Když je potřeba, tepelné médium je vyčerpáno zpět a je možné využívat jeho tepelnou energii například na vytápění nebo jako užitkovou vodu.[8]

Často užívaným způsobem akumulace jsou bateriové systémy. Akumulace elektrické energie v bateriích je založená na principu vratných chemických procesů, pomocí kterých se elektrická energie přeměňuje na snadněji skladovatelnou chemickou energii a opačně. Různé typy baterií se mezi sebou liší hlavně použitými materiály. V závislosti na těchto materiálech se mění parametry baterií jako například cena, počet nabíjecích cyklů, hustota energie nebo pracovní teplota. Tato metoda akumulace je v domácnostech často využívána, protože má vysokou účinnost a oproti ostatním systémům akumulace je prostorově méně náročná.



## 2.1 Akumulátorové baterie

Baterie jsou vhodným způsobem akumulace elektřiny z malé fotovoltaické elektrárny z více důvodů. Baterie jsou prostorově nenáročné a lze je umístit téměř kamkoliv. Vyrábějí se v různých velikostech a kapacitách, takže je lze snadno kombinovat pro dosažení požadovaných parametrů. Tato technologie už se na trhu pohybuje déle, takže její vývoj je pokročilý. Mají vysokou energetickou účinnost dosahující až 95 %. Existuje ovšem více typů baterií odlišujících se hlavně použitými materiály. Tyto baterie mají rozdílné parametry, pomocí kterých je lze srovnávat. Mezi tyto parametry se řadí následující.

**Měrná energie [Wh/kg]** – Nominální energie akumulátoru vztažená na jednotku hmotnosti. Závisí na chemických procesech uvnitř baterie a na velikosti článku. Čím vyšší je tento poměr, tím nižší hmotnost baterie a požadované energii.

**Počet cyklů [-]** – Počet vybíjecích cyklů, který dokáže baterie absolvovat a splnit požadované parametry. Nejvíce závisí na hloubce vybití DOD a provozní teplotě. Hloubka vybití DOD je procentuální hodnota kapacity baterie, o kterou byla z plného nabití vybita během vybíjecího cyklu. Čím vyšší hloubka vybití, tím menší počet cyklů. V tabulce je počítáno s hodnotou 80 %.

**Samovybití [%/měsíc]** – Procentuální hodnota ztracené energie z původní hodnoty za jednotku času. Měří se ve stavu, kdy se energie z baterie nevyužívá. Růst tohoto poměru je nežádoucí.

**Účinnost [%]** – Celková účinnost baterie v procentech. Zahrnuje účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu a ztráty.

**Pracovní teplota [°C]** – Rozsah teplot, při kterých je baterie schopná splnit požadované výkonové a bezpečnostní parametry. Při provozu mimo danou oblast může dojít ke zhoršení vlastností nebo k trvalému poškození baterie.

**Jmenovité napětí [V]** – Nominální hodnota napětí, která popisuje baterii. Závisí na elektrochemických vlastnostech baterie.[9]

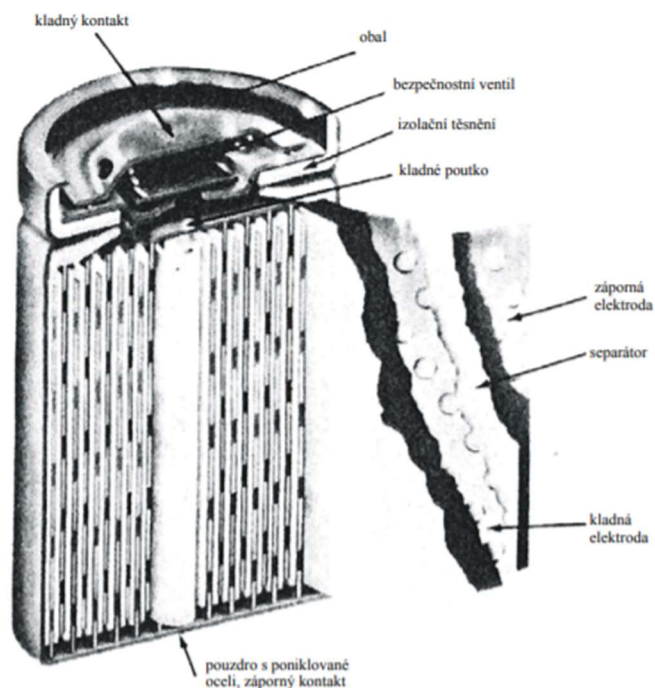
**Cena za kWh [\$/kWh]** – Průměrná investiční náklady vztažená na energii

### 2.1.1 Různé technologie baterií

Existuje více typů baterií, které se liší hlavně použitými materiály elektrod a elektrolytů. Různé typy baterií mají rozdílné parametry a tím pádem i rozdílné vlastnosti. Následuje stručný popis vybraných typů baterií, které by mohly být vhodné pro použití ve spolupráci s malou fotovoltaickou elektrárnou.

#### NiCd

Nikl kadmiové baterie je jeden z typů baterií, které jsou ovlivněny paměťovým efektem. Paměťový efekt je jev, při kterém si baterie „pamatuje“ do jaké míry byla vybita v předchozích vybíjecích cyklech a v následujícím cyklu ji lze vybit o stejnou nebo menší energii, ne však větší. Tento jev je nežádoucí a lze mu předejít periodickým plným vybíjením, které ale zkracuje dobu životnosti. Další nevýhodou nikl kadmiových baterií je relativně velká míra samovybití, až 20 % kapacity za měsíc. Jmenovité napětí je naopak nízké, pouhých 1,2 V. V porovnání s ostatními typy baterií mají nikl kadmiové baterie také nízkou měrnou energii. Nejsou ani ekologické, protože kadmium je vysoce toxický kov. Výhodou tohoto typu baterií je například vysoká odolnost vůči prostředí a také fakt, že kromě periodického plného vybíjení z důvodu zamezení paměťového efektu nevyžadují téměř žádnou údržbu. [10]



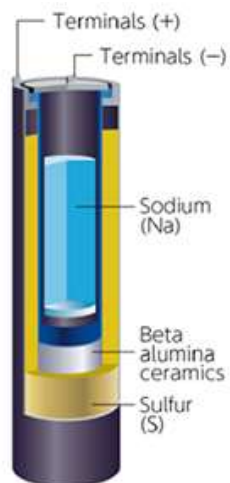
Obrázek č. 1 Konstrukce nikel kadmiového článku [11]

## NiMH

Nikel metalhydridové baterie jsou velmi podobné nikel kadmiovým. Oproti nikel kadmiovým bateriím mají vyšší měrnou energii. Nikel metalhydridová baterie má tedy větší kapacitu než nikel kadmiová baterie o stejné hmotnosti. Je také náchylná k paměťovému jevu, ale méně než baterie typu NiCd. Je více ekologická, protože obsahuje méně toxické materiály. Nevýhodou tohoto typu baterie je špatná tepelná odolnost, krátká životnost, nízké napětí a velmi vysoká hodnota samovybíjení.[10]

## NaS

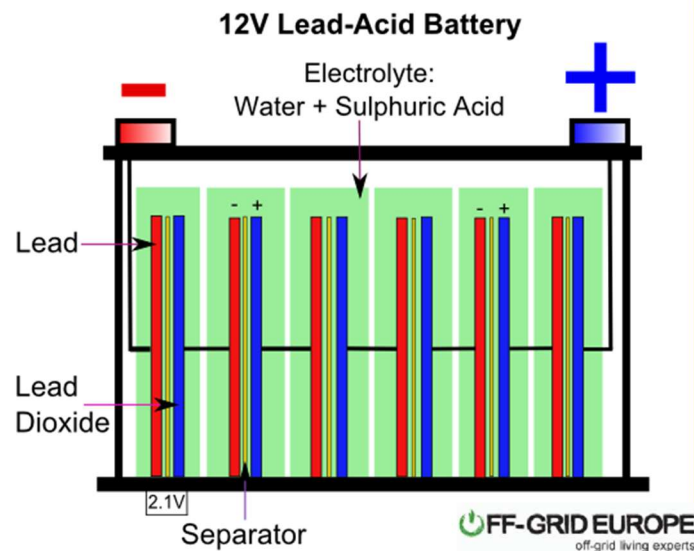
Sodík-sírová baterie se od ostatních liší hlavně tím, že obě její elektrody jsou v tekutém stavu. Vzhledem k tekutému stavu obou elektrod musí NaS baterie pracovat za vysokých teplot, typicky více než 300 °C. Nevýhodou je, že se musí udržovat vysoká provozní teplota, aby elektrody zůstaly v tekutém stavu. Výhodou je naopak vysoký počet vybíjecích cyklů, takže baterie má dlouhou dobu životnosti. Také má vysokou měrnou energii a téměř vůbec se sama nevybíjí, když není v provozu.[12]



Obrázek č. 2 Schéma NaS článku [13]

### 2.1.2 Olověné

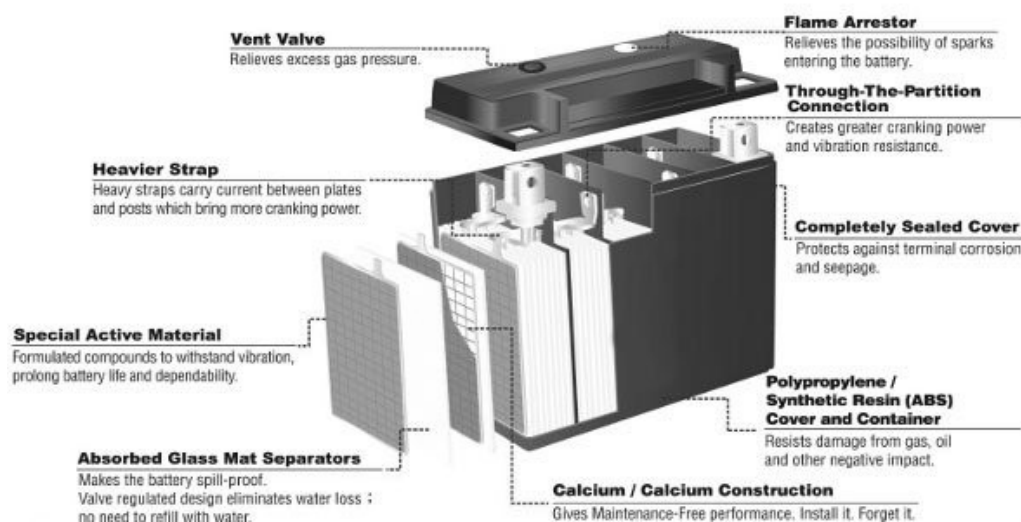
Olověné akumulátory jsou jedny z nejpoužívanějších baterií. Dále se dělí na bezúdržbové a tzv. zaplavené. Zaplavené baterie se vyznačují tím, že elektrody jsou plně ponořeny do kapalného elektrolytu. Během chemických reakcí při nabíjení se elektrolyt pomalu přeměňuje na plyny, které jsou z baterie vypouštěny. Tento elektrolyt je tedy třeba často doplňovat. Pro snížení provozních nákladů se používá destilovaná voda. Vzhledem ke kapalině uvnitř baterie ji nelze skladovat v jiné než vertikální poloze, aby nedošlo k úniku kapaliny.[14]



Obrázek č. 3 Konstrukce zaplavené olověné baterie [15]

Bezúdržbové olověné baterie využívají gelu nebo skelných vláken. Baterie typu AGM, neboli absorbent glass mat, využívá velmi jemný materiál ze skelných vláken, který nasákne elektrolyt. Výsledkem je, že elektrolyt se nemůže z baterie vylít a ta tak může být skladována i ve vodorovné poloze. Oproti zaplaveným bateriím mají baterie typu AGM navíc delší dobu životnosti, méně elektrolytu, větší tepelnou odolnost a není potřeba dolévat elektrolyt. Jejich pořizovací náklady jsou ale vyšší, musí být skladovány ve stadiu plného nabití, jsou citlivé přebíjení a jejich kapacita postupně klesá i před koncem doby životnosti.[16]

### ► Maintenance-Free AGM Battery

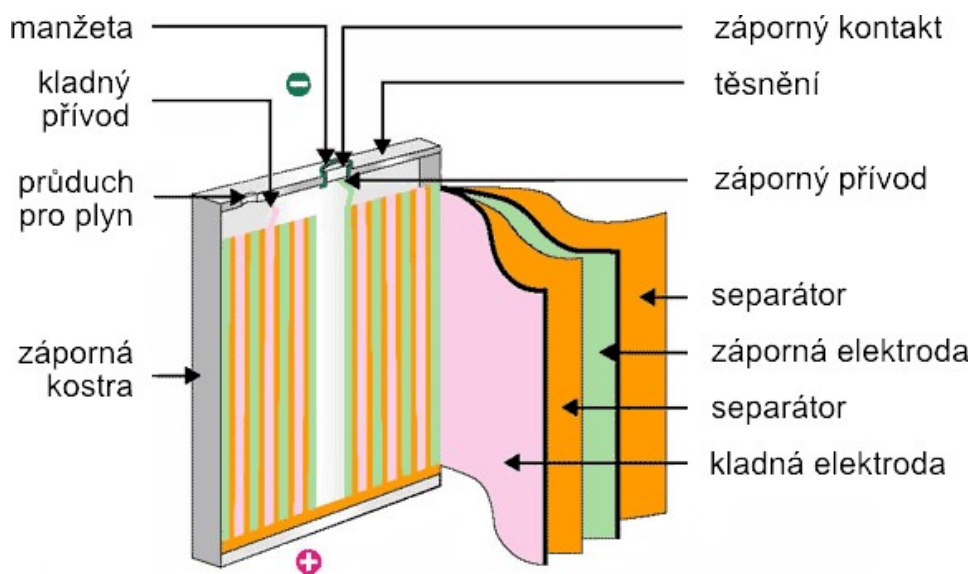


Obrázek č. 4 Konstrukce baterie typu AGM [17]

Druhý typ bezúdržbových olověných baterií používá jako elektrolyt gel místo kapaliny. Stejně jako baterie AGM nevyžaduje doplňování elektrolytu a může být skladován ve vodorovné poloze. Baterie je tepelně odolná, takže až do konce doby životnosti zůstává výkon stejný. Stejně jako typ AGM, jsou gelové baterie citlivé na přebíjení, jejich pořizovací náklady jsou vysoké a musí být skladovány plně nabitě. Kvůli bezpečnosti musí být skladovány v dobře ventilovaném prostředí. Konstrukce gelové baterie je velmi podobná baterii typu AGM.[18]

### 2.1.3 Lithiové

Li-ion je souhrnný název pro baterie, které mají kladnou elektrodu z oxidu lithia. Podle tohoto oxidu se lithium iontové baterie dělí. Komerčně dostupné jsou 4 varianty, z nichž první jsou Li-ion články s kapalným elektrolytem. Tento typ akumulátoru má kovový plášť s tlakovou pojistkou, takže je mechanicky velmi odolný. Měrná energie těchto akumulátorů se pohybuje od 150 do 200 Wh/kg, jmenovité napětí je 3,6 V.



Obrázek č. 5 Konstrukce lithiového akumulátoru [19]

Dalším typem jsou články s katodou vyrobenou z  $\text{LiFePO}_4$  nebo  $\text{LiFeYPO}_4$ . Yttrium zlepšuje vodivost a stabilitu oxidu. Tento typ bývá často souhrnně označován LFP. Tyto články mají nižší jmenovité napětí i měrnou energii než první typ. Konkrétně jmenovité napětí 3,2 V a měrnou energii v rozmezí od 90 do 120 Wh/kg. Baterie LFP mají oproti ostatním typům vyšší proudovou zatížitelnost vzhledem ke kapacitě baterie a větší odolnost vůči hlubokému vybití.

Třetím typem jsou lithium polymerové baterie označované Li-Pol. Místo kapalného elektrolytu se zde používá vodivá polymerní sloučenina. Tyto články jsou méně mechanicky odolné než články s kapalným elektrolytem, protože jsou obaleny pouze v hliníkové fólii. Elektrody mají jiné uspořádání než u ostatních typů, takže celá baterie může mít jiný tvar než klasický kvádr. Li-Pol baterie mají jmenovité napětí 3,6 V a kvůli nižší hmotnosti mají vyšší měrnou energii než ostatní typy lithiových baterií.

Posledním typem jsou baterie označované jako LTO, tedy lithium titanové. Tento typ má ze zmíněných nejmenší měrnou energii, pouze 70-80 Wh/kg. Také má nejmenší jmenovité napětí, 2,4 V, a nejvyšší investiční náklady. Naopak vydrží nejvíce vybíjecích cyklů, až 7000, a je nejvíce tepelně odolný. U tohoto typu je také možné rychlé nabíjení a vybíjení.[19, 20]

## 2.1.4 Porovnání technologií

Typ baterie	Měrná energie [Wh/kg]	Počet cyklů [-]	Samovybitení [%/měsíc]	Účinnost [%]	Pracovní teplota [°C]	Jmenovité napětí [V]	Cena za kWh [\$/kWh]
Pb	30-50	200-300	5	až 90	-20 až 50	2	100-200
Li-ion	100-200	až 2000	< 5	až 95	-20 až 60	až 3,7	700-1000
NiCd	45-80	1000	20	70-90	-20 až 65	1,2	300-600
NiMh	60-120	300-500	30	70-90	-20 až 65	1,2	300-600
NaS	150-240	2500	Velmi malé	75-90	300-350	2	525

Tabulka č. 1 Porovnání parametrů baterií [13, 14, 21–25]

## 2.2 Tepelné zásobníky

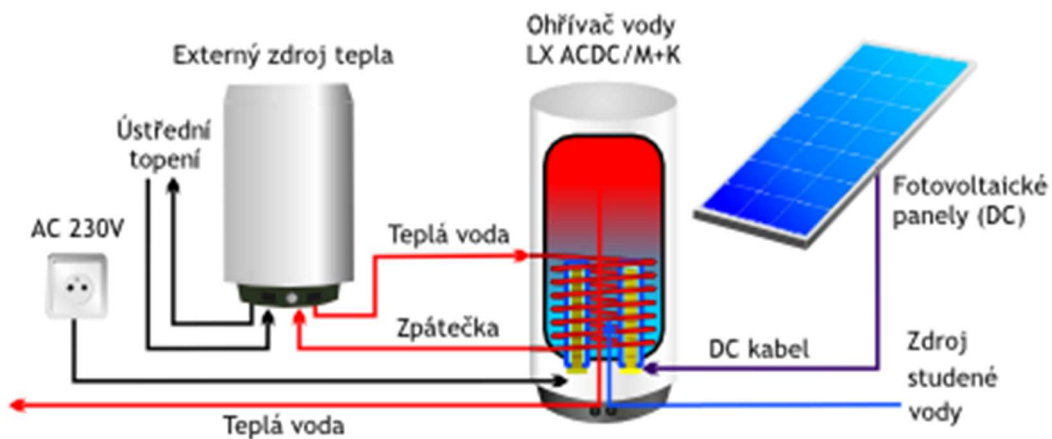
Na trhu je kromě baterií dostupná ještě jedna technologie akumulace elektrické energie z fotovoltaické elektrárny a tou je tzv. akumulace do teplé vody. Přebytečná elektrická energie je v tomto případě přeměněna na teplenou pomocí odporových spirál a uskladněna v tepelných zásobnících. Tato teplá voda může být následně použita jako užitková a v případě dostatečně velké elektrárny a tepelného zásobníku může být využita i na vytápění objektu. Tepelné zásobníky jsou velmi dobře tepelně izolované z důvodu minimalizace tepelných ztát. Nejdůležitější parametry tepelných zásobníků jsou investiční náklady a objem. Při případné instalaci akumulace do vody je objem zásobníku rozhodujícím parametrem, který výrazně ovlivňuje výši úspor.

### 2.2.1 Ohřev vody

Tepelné zásobníky vhodné pro akumulaci přebytečné energie z fotovoltaiky obsahují dvě odporové topné spirály. Jsou to tzv. hybridní fotovoltaické ohřivače. V tomto ohřivači jsou dva samostatné elektrické okruhy. První okruh se skládá z DC spirály, která je připojena na výstup z fotovoltaické elektrárny. V druhém okruhu je AC topná spirála, která je připojena na síť. Oba okruhy mohou pracovat společně nebo každý samostatně. Okruh připojený na síť ohřívá vodu uvnitř ohřivače jen do dosažení přednastavené teploty. Výrobci doporučují teplotu 45 °C. Po dosažení této teploty vodu ohřívá jen okruh připojený na solární elektrárnu až do maximální teploty stanovené výrobcem. Hybridní fotovoltaické ohřivače mají také vestavěný výměník tepla, takže je možné je připojit k externímu zdroji tepla jako je například plynový kotel, krb nebo tepelné čerpadlo.[26]

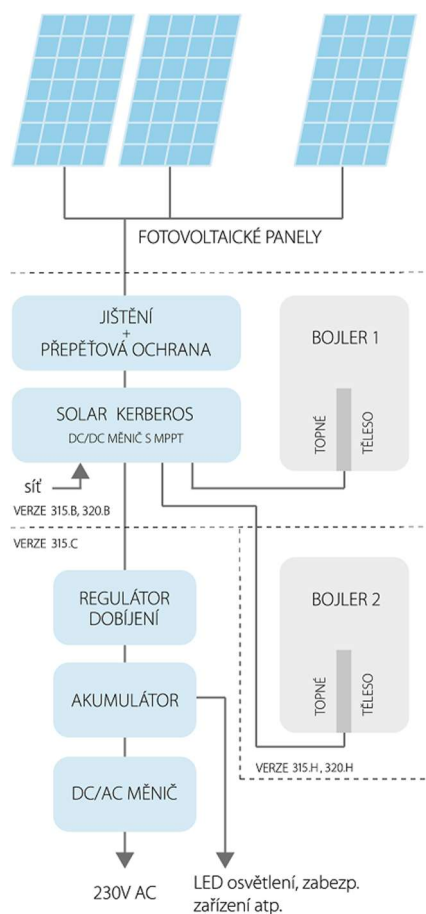
### 2.2.2 Dostupné varianty tepelných zásobníků

Na českém trhu jsou momentálně dostupné dvě varianty hybridních fotovoltaických ohřivačů. Jedná se o systémy Kerberos a Logitex. Systém Logitex nabízí ve spolupráci s firmou DZ Dražice fotovoltaické ohřivače o různých objemech, které fungují spolu se zařízením pro optimalizaci výkonu pro ohřev teplé vody. Toto zařízení optimalizuje výkon při různých ročních obdobích a oblačnosti. Je zapojeno mezi fotovoltaické panely a DC spirálu v ohřivači a je nutné pro získání dotace Nová zelená úsporám. Tento optimalizér ale funguje jen se spirálami Logitex, které jsou ve fotovoltaických ohřivačích firmy DZ Dražice. Pro provoz je potřeba elektřina, takže systém při výpadku proudu není funkční.



Obrázek č. 6 Schéma ohřevu vody systémem Logitex v kombinaci s externím zdrojem tepla [27]

Druhou dostupnou variantou je systém Kerberos. Tento systém disponuje DC/DC měničem s technologií MPPT, neboli maximum power point tracking, díky které dosahuje vysoké účinnosti. Díky měniči může poté napájet běžnou topnou spirálu, která se nachází v každém elektrickém bojleru. Při koupi tohoto systému tedy není nutné pořizovat speciální fotovoltaický ohřivač, ale stačí ho připojit k jakémukoliv bojleru. Také není potřeba dokupovat optimalizér pro získání dotace jako v případě systému Logitex. Celý systém je na rozdíl od předchozí varianty plně autonomní, takže zůstane funkční i po výpadku proudu. Tento systém je možné zakoupit ve variantě s výstupy na 2 topná tělesa, takže k němu lze připojit dva bojleru. V takovém případě je ovšem sekundární topné těleso napájeno výhradně z fotovoltaiky.



Obrázek č. 7 Schéma zapojení systému Kerberos se 2 bojleru [28]



Výhodou hybridních fotovoltaických ohřivačů oproti bateriím je například použití netoxických materiálů. Vzhledem k velmi dobré tepelné izolaci nádrží ztrácí během času nevyužívání velmi málo energie a mají měrnou energii 80-250 Wh/kg. Při použití společně s tepelným čerpadlem prodlužují jeho dobu životnosti až o 30 %.[27] Mezi nevýhody patří nevratnost přeměny energie. Jakmile se elektrická energie přemění pomocí odporových spirál na tepelnou, už se nemůže přeměnit zpět. [8]

### 3 Dotační program Nová zelená úsporám

Stát v současné době nabízí dotace na fotovoltaické systémy v rámci programu Nová zelená úsporám. Na rozdíl od předchozích dotačních programů, nabízí tento pouze investiční podporu, nikoliv provozní. V rámci solárních zdrojů energie lze žádat o dotaci na solární termický systém, fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem a na fotovoltaické systémy propojené s distribuční soustavou. Podpora je poskytována nejen na výstavbu nových systémů, ale i na rozšíření stávajících za určitých podmínek. K dosažení dotace na rozšíření stávajícího systému musí konkrétně dojít ke zvýšení využitelného zisku soustavy minimálně o 20 % nebo k zvýšení míry využití vyrobené elektřiny v místě výroby minimálně o 10 % z celkové vyrobené energie.

Výše podpory se odvíjí od instalovaného systému a pohybuje se v mezích od 35 000 Kč do 150 000 Kč. Například pro případně uvažovaný fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem poskytuje stát dotaci ve výši 35 000 Kč. Pro dosažení na tuto podporu je ale nutné splňovat následující důležité podmínky. Systém také musí splňovat parametry uvedené v tabulce č.2.

- Instalovaný fotovoltaický systém musí být vybaven technologií pro účinnou optimalizaci systému v závislosti na zátěži (např. MPPT)
- Minimální účinnost při standartních testovacích podmínkách je 15 % pro panely a moduly složené z mono- a polykrystalických článků
- Instalovaný systém nesmí být propojen s distribuční soustavou

Sledovaný parametr	Označení [Jednotky]	C.3.3
Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody	[%]	50
Minimální měrný objem akumulačního zásobníku tepla vztažený k instalovanému výkonu solárního systému	[ $l \cdot kW_p^{-1}$ ]	$\geq 80$

Tabulka č. 2 Parametry dosažení na dotaci pro přímý ohřev teplé vody [29]

Při případné volbě akumulace elektrické energie do baterií s celkovým využitelným ziskem  $\geq 1\,700$  kWh/rok je maximální výše dotace 70 000 Kč. Pro dosažení na podporu v této podoblasti je nutné splnit následující důležité podmínky.

- Maximální instalovaný výkon systému nesmí být vyšší než 10 kWp
- Systém musí být vybaven měničem s minimální účinností 94 % (Euro účinnost). Měniče a nabíječe připojené přímo k fotovoltaickým panelům musí být navíc vybaveny technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %
- Minimální účinnost při standartních testovacích podmínkách je 15 % pro panely a moduly složené z mono- a polykrystalických článků
- Není dovoleno použití olověných startovacích akumulátorů a Ni-Cd akumulátorů.
- Míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku systému.

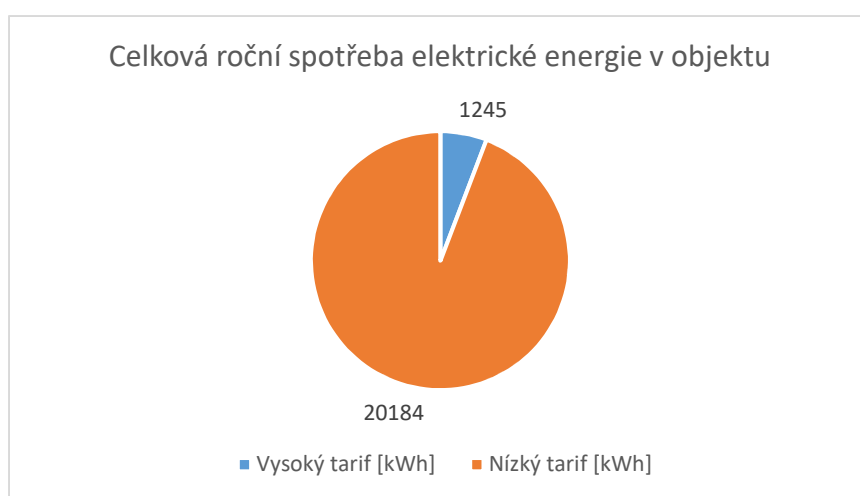
- Minimální měrná kapacita akumulátoru je 1,75 kWh·kWp-1 instalovaného výkonu. Jsou-li v systému použity akumulátory využívající moderních technologií umožňující využít vysoký počet hlubokých vybíjecích cyklů bez výrazné ztráty kapacity, lze uvažovat se sníženým požadavkem na minimální měrnou kapacitu akumulátorů, nejméně však 1,25 kWh/kWp. Za tyto technologie jsou považovány zejména akumulátory na bázi lithia.[29]

## 4 Návrh akumulačního systému pro konkrétní rodinný dům

### 4.1 Popis objektu

Rodinný dům se nachází v obci Bosyně, přibližně 10 km severovýchodně od Mělníka. Dům má 3 obývaná patra a sklep. V přízemí je velká hala, odkud vedou dveře do kuchyně, obývacího pokoje, ložnice a koupelny. První patro je koncipováno velmi podobně. V druhém patře se nacházejí pouze samostatné pokoje. Dům obývají nepřetržitě 2 osoby, o víkendech 3 až 4. Vytápění je řešeno tepelným čerpadlem typ země/voda. Celková roční spotřeba elektrické energie se pohybuje okolo 22 MWh.

Smlouva o nákupu elektrické energie je uzavřena se společností ČEZ Distribuce. Platba za elektrickou energii z celého rodinného domu je rozdělena do 2 účtů. Distribuční sazba v první smlouvě je stanovena jako D25d z důvodu využívání bojleru. V této sazbě je nízký tarif aktivní 8 hodin denně. Tato energie je využívána na provoz prvního patra a její roční spotřeba se pohybuje okolo 4,5 MWh. Elektrická energie je přibližně ze 75 % odebírána při aktivním nízkém tarifu. Sazba D25d spadá do třídy 5 typových diagramů dodávek (TDD).



Obrázek č. 8 Celková roční spotřeba elektrické energie v objektu

Energie z druhého účtu je využívána na provoz přízemí a vytápění celého domu pomocí tepelného čerpadla. Z tohoto důvodu je distribuční sazba stanovena jako D56d, ve které je nízký tarif aktivní 22 hodin denně. Tato sazba spadá do třídy TDD 7. Roční spotřeba této energie se pohybuje okolo 17 MWh a je téměř ze 100 % odebírána při aktivním nízkém tarifu.

V areálu rodinného domu je již instalovaná a funkční solární elektrárna. Nachází se na střeše budovy, která je primárně využívána jako garáž. Elektrárna se skládá ze 24 panelů, které jsou orientované na jihozápad. Byla dostavena na konci roku 2013. Stát nabízí provozní dotace na elektrárny postavené do konce roku 2013. Jedná se o garantovanou výši výkupní ceny elektřiny nebo o zelené bonusy. Zelené bonusy vyplácí OTE a jejich výše je závislá na roční výrobě fotovoltaické elektrárny.



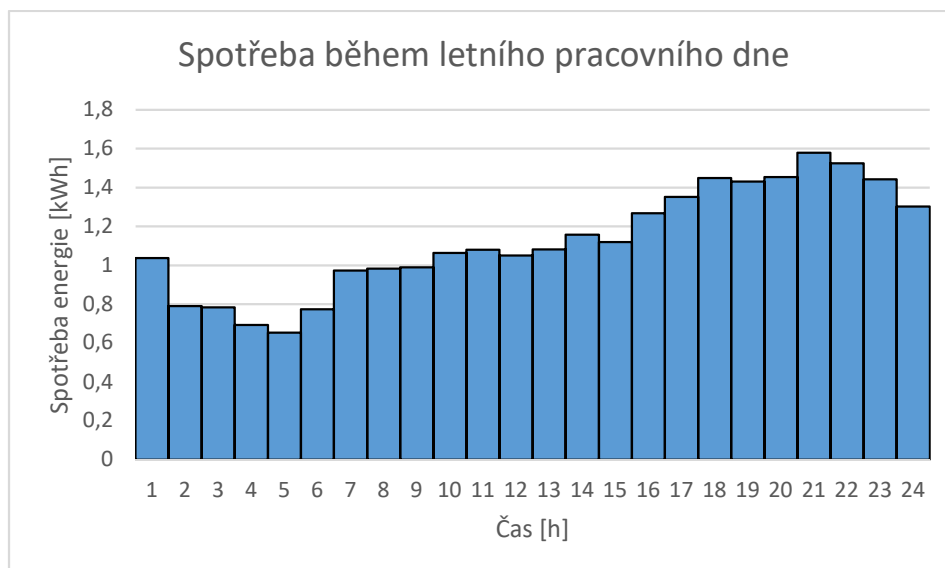
Tato solární elektrárna využívá právě zelené bonusy V případě přebytku výkonu je elektrická energie dodávána do distribuční soustavy ČEZ Distribuce.

#### 4.1.1 Denní diagram

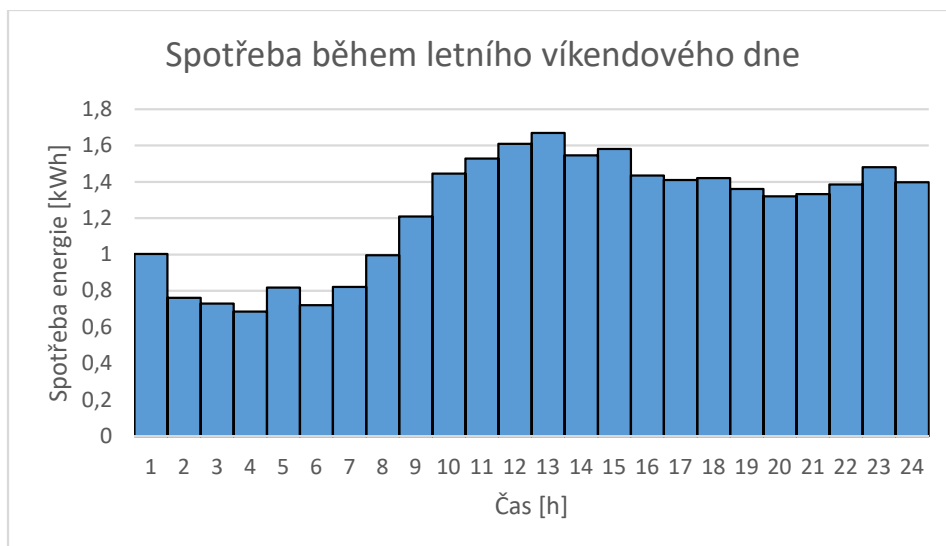
K přesnějšímu popsání spotřeby elektrické energie během dne lze použít denní diagram. Spotřeba energie ovšem není každý den stejná. Pro co nejpřesnější data by bylo nutné použít 365 diagramů pro každý den v roce. To je ale extrémně zdlouhavé a náročné, a proto se pro roční analýzu spotřeby energie používá zjednodušení ve formě volby pouze několika typických denních diagramů. Z těchto diagramů je možné odhadnout spotřebu energie i v ostatních dnech během roku. Volba a počet těchto diagramů je tedy k dostatečně přesnému popisu odběru energie zásadní.

Vzhledem k faktu, že přibližně 11 MWh z celkových 22 MWh je spotřebováno na vytápění, je nutné vybrat jeden denní diagram v době vyššího vytížení zdroje vytápění a druhý v době nečinnosti zdroje vytápění. O víkendech objekt obývají 3 až 4 osoby, zatímco během týdne pouze 2. Je tedy vhodné jako dva další diagramy vybrat jeden den v týdnu a jeden den o víkendu. Když oba tyto faktory zkombinujeme, jsou výsledkem 4 typické denní diagramy. Letní pracovní den, letní víkendový den, zimní pracovní den a zimní víkendový den. Bylo by možné navíc zvolit ještě denní diagram s využitím tepelného zdroje, které není maximální, jako například vybraný jarní nebo podzimní den. Tento krok už by ale přinesl mnohem menší zpřesnění analýzy odběru než předchozí kroky, takže byl vypuštěn.

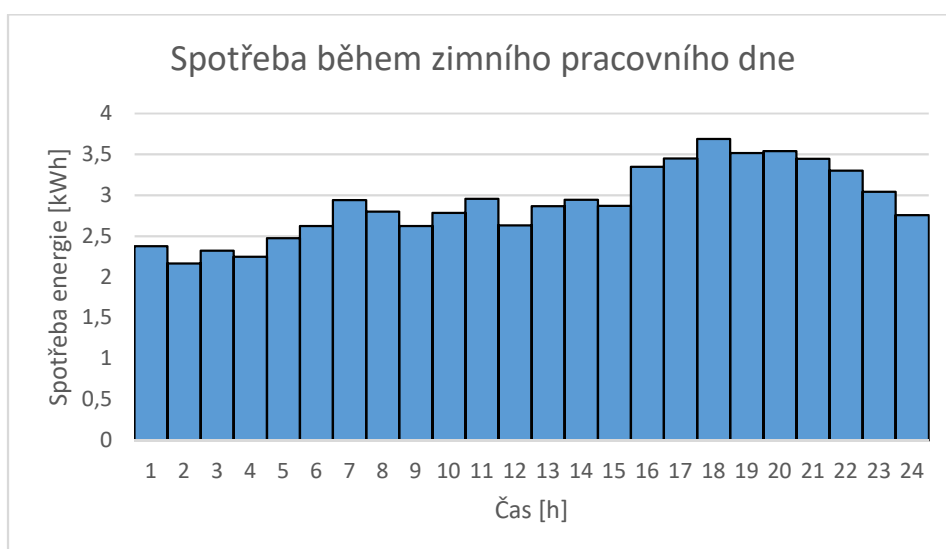
V objektu se nenachází pokročilé elektroměry s funkcí průběžného odečtu spotřeby elektrické energie, takže jako denní diagramy budou využity tzv. TDD, tedy typové diagramy dodávek elektřiny. Tyto diagramy zveřejňuje každoročně OTE. Jedná se o odhadovanou spotřebu energie během každé hodiny každého dne roku. Diagram se rozděluje do více tříd podle distribučních sazeb. Celková energie v objektu je rozdělena na dvě distribuční sazby, a to D25d a D56d. Tyto sazby spadají do třídy TDD 5, respektive 7. Vzhledem k tomu, že 79 % celkové energie je v rámci distribuční sazby D56d, bude pro analýzu pro zjednodušení použit TDD třídy 7.



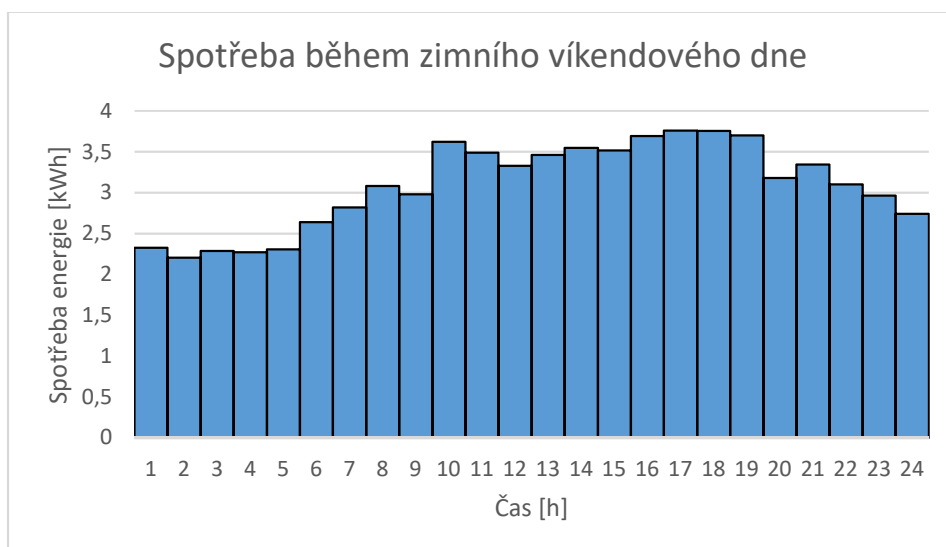
Obrázek č. 9 TDD během letního pracovního dne



Obrázek č. 10 TDD během letního víkendového dne



Obrázek č. 11 TDD během zimního pracovního dne



Obrázek č. 12 TDD během zimního víkendového dne

Po porovnání grafů spotřeby během zimního pracovního a víkendového dne a letního pracovního a víkendového dne vidíme, že rozdíl ve spotřebách energie mezi těmito dny je minimální. Předpoklad značného rozdílu se tedy nepotvrdil a pro snazší manipulaci s těmito daty se dále využívají pouze hodnoty zimních a letních pracovních dnů.

## 4.2 Optimalizační model

Model na základě několika vstupních parametrů vypočte jednu výstupní veličinu. Jako výstupní veličina bylo zvoleno kritérium NPV. Model NPV vypočte pro více variant na základě zadaných vstupních veličin. Výsledné NPV lze využít k určení výhodnosti projektu, doporučení pro daný projekt a k porovnávání různých variant mezi sebou.

### 4.2.1 Vstupní parametry modelu

Vstupní parametry modelu jsou následující. Změnu výstupní veličiny NPV na změně těchto vstupních parametrů dokumentují citlivostní analýzy v podkapitole 5.1.

#### **Diskont**

Diskont vyjadřuje tzv. cenu ušlé příležitosti. Jinými slovy hodnota diskontu vyjadřuje procentuální zhodnocení při investici do jiného projektu. Při takovémto porovnávání je vhodné zvolit projekt s co nejmenším rizikem. V tomto případě je investorem domácnost, takže cena ušlé příležitosti může být například diskontní sazba, kterou poskytuje banka na běžný spořicí účet.

#### **Doba životnosti**

Další vstupní veličinou je doba životnosti celého systému. Různé části akumulčního systému, jako například fotovoltaické panely, akumulční baterie atd., mají různou dobu životnosti. Je nutné stanovit celkovou dobu životnosti tak, aby respektovala doby životnosti všech důležitých komponent. V tomto konkrétním případě nejsou všechny části systému nové. Fotovoltaické panely s měničem jsou v objektu instalovány od konce roku 2013.

#### **Nákupní a výkupní cena elektřiny**

Pro výpočet ročních cash flow a tedy i celkového NPV je nutné znát nákupní cenu elektřiny, tedy cenu, za kterou spotřebitel nakupuje elektřinu od dodavatele. Tato cena byla vypočtena z předešlých faktur za energii v daném objektu. Součet složek celkové roční platby za elektřinu závislých na celkovém množství odebraných kWh byl následně vydělen počtem odebraných kWh. Výsledná nákupní cena elektřiny je 2,16 Kč/kWh. Tato hodnota zároveň respektuje poměr odebrané energie v nízkém a ve vysokém tarifu.

Důležitá je také výkupní cena elektřiny, tedy cena, za kterou dodavatel vykupuje přebytečnou energii. Na stávající fotovoltaickou elektrárnu není čerpána podpora ve formě vyšší výkupní ceny. Výkupní cena je tedy stanovena dodavatelem ČEZ na 0,6 Kč/kWh.

#### **Požizovací cena akumulčního systému**

Další vstupní veličinou do modelu je pořizovací cena konkrétního akumulčního systému. Tato cena byla pro všechny varianty převzata z českých e-shopů, které nabízely konkrétní produkt na trhu nejlevněji. Instalace stávající fotovoltaické elektrárny byla provedena obyvateli objektu a nebyla placena. Z tohoto důvodu ani do cen akumulčního systému nebyly zahrnuty poplatky za instalaci.

## Dotace

Na nově postavené solární elektrárny a na rozšíření stávajících poskytuje stát za splnění určitých podmínek investiční podporu. Dosažení na tuto podporu a její případná výše je dalším vstupním parametrem, pomocí kterého lze značně snížit investici.

## Inflace

Model zohledňuje hodnotu inflace, která byla stanovena jako 2 %. Tuto hodnotu uvádí Česká národní banka jako dlouhodobý inflační cíl měnové politiky ČR.

### 4.2.2 Spotřeba a výroba elektrické energie

Pro zjištění optimální velikosti akumulčního systému je potřeba znát množství energie, která do systému bude ukládána. Vzhledem k absenci pokročilých elektroměrů byla spotřeba a výroba odhadnuta. Spotřebovaná energie byla odhadnuta pomocí typových diagramů dodávky a výroba instalované FVE byla aproximována s pomocí tzv. Photovoltaic Geographical Information System, neboli PVGIS.[30] Pomocí této služby byl zjištěn odhadovaný průběh slunečního záření během dne ve všech měsících roku.

Pro odhadnutí slunečního záření vyžaduje systém PVGIS souřadnice GPS, úhel naklonění fotovoltaických panelů, azimut a měsíc. Po zadání těchto údajů systém vyexportuje data ve formátu csv. Z těchto dat je následně možné vypočítat odhadovaný výkon fotovoltaické elektrárny podle následujícího zjednodušeného vzorce.[31]

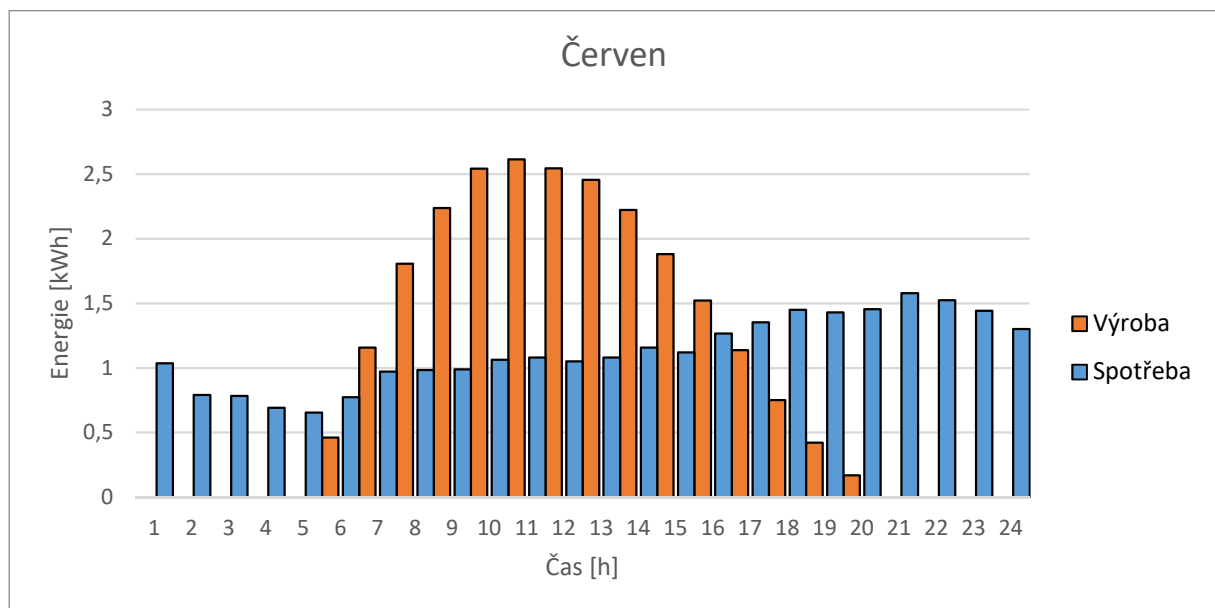
$$P = W \cdot S \cdot M \quad (1)$$

, kde P je výkon FVE [W]

W je intenzita slunečního záření [W/m<sup>2</sup>]

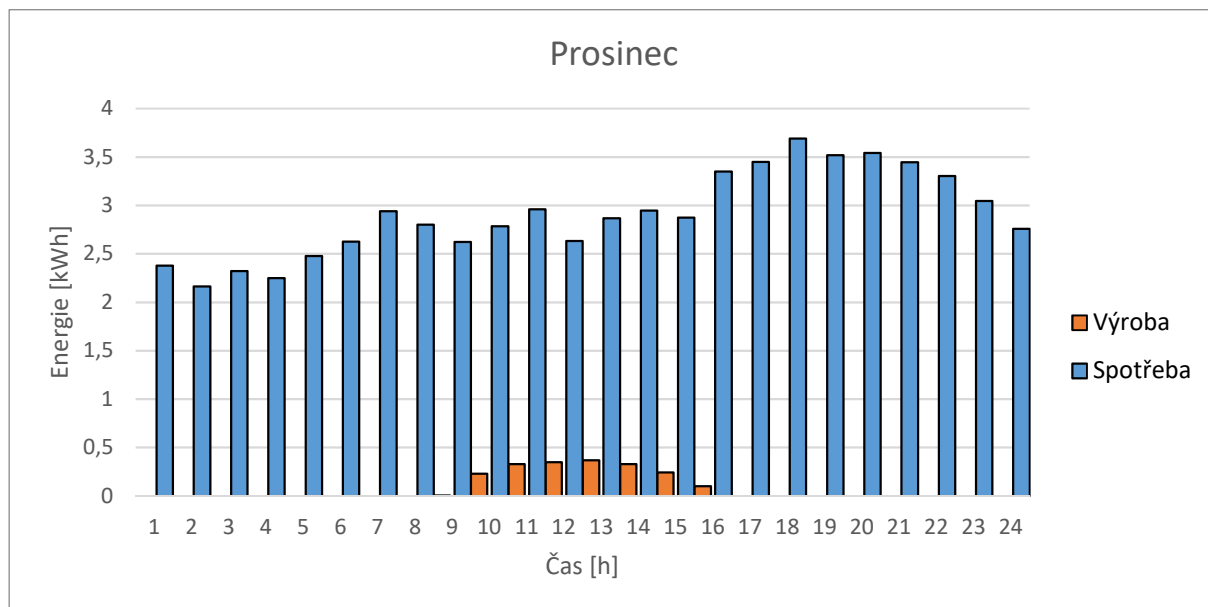
S je plocha fotovoltaických panelů [m<sup>2</sup>]

M je účinnost fotovoltaických panelů [-]



Obrázek č.13 Výroba a spotřeba během jednoho dne v červnu

Z výkonu byla dále vypočtena odhadovaná výroba, která byla zanesena do stejného grafu, jako odhadovaná spotřeba pro názornost. Účinnost panelů byla zvolena jako 12 %. Následují grafy pro prosinec a červen pro názornější porovnání mezi „letním“ a „zimním“ období. Grafy pro ostatní měsíce jsou v příložených souborech.



Obrázek č.14 Výroba a spotřeba během jednoho dne v prosinci

Z grafů spotřeby a výroby pro zimní a letní období je vidět, že v letním období výroba velmi výrazně převyšuje spotřebu a myšlenka akumulace energie v rámci tohoto objektu je tedy správná. Naopak v zimním období spotřeba převyšuje výrobu ve 100 % času. Akumulace by tedy v tomto období nebyla využívána. Při volbě akumulace do baterií by tedy klesl počet nabíjecích a vybíjecích cyklů a prodloužila by se životnost systému. Celková roční výroba byla touto metodou odhadnuta na hodnotu přibližně 4 450 kWh. Reálné roční hodnoty výroby se pohybují v rozmezí od 4,2 MWh do 4,8 MWh. Reálné hodnoty nebylo možné použít z důvodu jejich malého počtu. Byla zapisována pouze jedna hodnota měsíčně, a to pro následné určení optimální velikosti akumulátoru není vhodné množství dat.

#### 4.3 Cena za odebranou kWh z akumulátoru

Velmi důležitým faktorem při vybírání technologie a při její optimalizaci je cena za odebranou kWh. Parametry pro výpočet jsou následující.

Požizovací cena akumulátoru [Kč]

Kapacita akumulátoru [Ah]

Hloubka vybití (DOD) [%]

Nominální napětí [V]

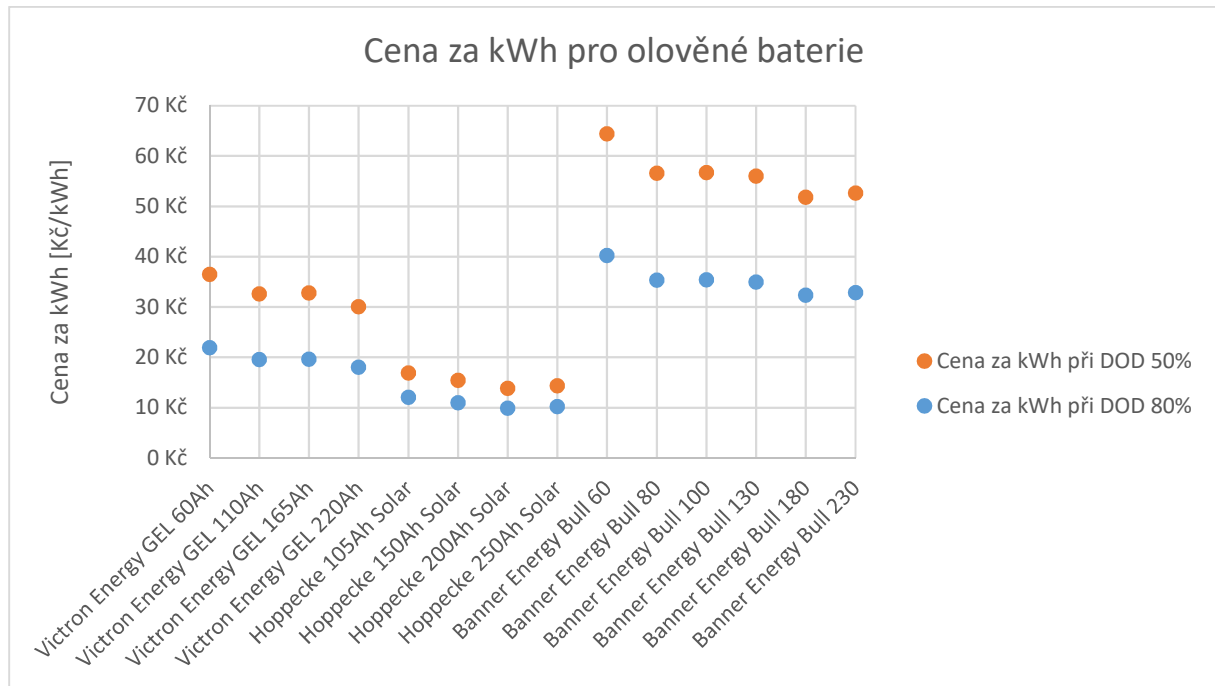
Počet cyklů [-]

Pro zjednodušený výpočet ceny za 1 odebranou kWh z akumulátoru byl použit následující vzorec.[32]

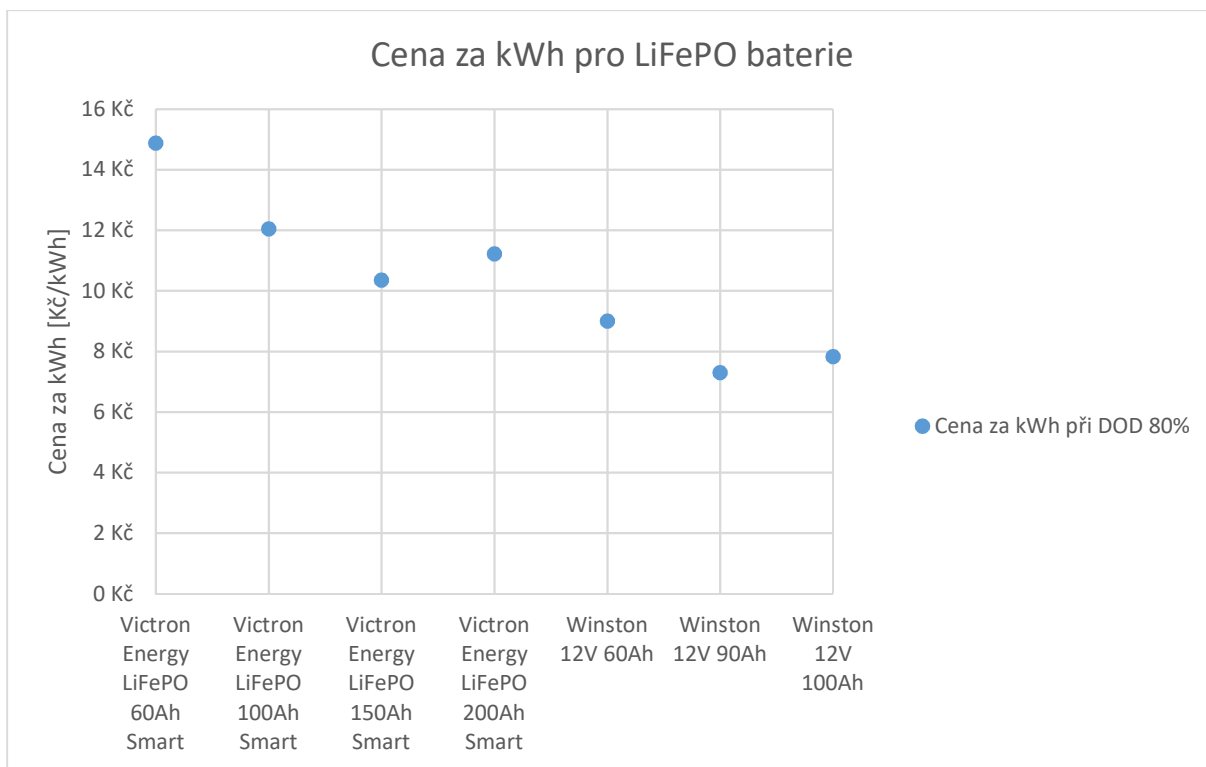
$$Cena\ za\ 1\ kWh = \frac{Pořizovací\ cena}{Kapacita \cdot Nominální\ napětí \cdot \frac{Počet\ cyklů \cdot \mu_{SH}}{1000 \cdot 100}} \quad (2)$$

, kde  $\mu_{SH}$  je spodní mez energetické účinnosti nabíjecího/vybíjecího procesu [-]

Spodní mez energetické účinnosti nabíjecího/vybíjecího cyklu byla pro olověné baterie určena jako 60 % a pro lithiové jako 85 %.[32]



Obrázek č.15 Cena za kWh pro olověné baterie[33, 34]



Obrázek č.16 Cena za kWh pro lithiové baterie[35, 36]

Pro olověné baterie byly do grafu zaneseny ceny za kWh pro DOD 50 % a 80 % a pro lithiové baterie jen pro DOD 80 %. Životnost olověných baterií je výrazně ovlivněná hloubkou vybití, a proto se i cena za odebranou kWh liší. Naopak u lithiových baterií se životnost s měnící se hloubkou vybití nemění, je proto zbytečné vynášet do grafu i cenu za kWh pro DOD 50 %. V uvažovaném případě případu se jedná o krátkodobou akumulaci s vysokým počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů, a proto byla v grafu lithiových baterií zvolena varianta s hloubkou vybití 80 %. Do grafů byly vyneseny pouze olověné a lithiové baterie, protože ostatní baterie jako například NiCd a NiMH nejsou podporovány v rámci dotačního programu Nová zelená úsporám.

Z obou grafů je patrné, že nejnižší cenu za odebranou kWh mají lithiové baterie, konkrétně 90Ah a 100Ah baterie od firmy Winston. Cena za odebranou kWh u těchto baterií je podle výpočtů 7,30 Kč/kWh, respektive 7,80 Kč/kWh.

#### 4.4 Optimální velikost akumulátoru

Vybraný akumulční článek Winston 12 V 90 Ah lze kombinovat pro dosažení vyšší kapacity. Parametry 12 V a 90 aH odpovídají 1,08 kWh energie, které je možné do baterie uložit. Při uschování přebytečné energie do akumulátoru a jejímu pozdějšímu využití dojde ke snížení množství energie prodané do sítě za nevýhodnou cenu. Zároveň se sníží množství energie, které je nutné zakoupit od distributora za cenu, která je značně vyšší než cena, za kterou by distributor vykoupil stejné množství energie. Čím více přebytečné energie je do akumulátoru uloženo a následně využito, tím vyšší jsou následné úspory na nákupu energie z distribuční soustavy.

Pro zjištění vhodné velikosti kombinace akumulátorů je tedy nutné znát množství přebytečné energie, které by bylo možné do baterií uložit v době přebytku a následně využít v době nedostatku. Pro zjištění těchto hodnot byly využity data odhadované výroby FVE a spotřeby objektu během dne pro všechny měsíce v roce. Pro porovnání možných kapacit akumulátorů a její následnou volbu bylo využito čisté současné hodnoty neboli NPV.

Čistá současná hodnota projektu, v tomto případě pořízení akumulátoru s určitou kapacitou, vyjadřuje celkovou současnou hodnotu všech peněžních toků během doby životnosti projektu a spočítá se podle vzorce

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \cdot (1 + r)^{-t} \quad (3)$$

, kde T je doba životnosti projektu

CF je hotovostní tok za dané období

r je diskontní sazba.

Vstupními veličinami pro výpočet NPV jsou tedy doba životnosti projektu, diskontní sazba a hotovostní toky za dobu životnosti. Pro zjištění hotovostních toků je dále nutné znát pořizovací cenu akumulátorů a roční úsporu na nákupu energie ze sítě. Doba životnosti akumulátoru i panelů uvádí výrobce jako 20 let. Panely byly instalovány na konci roku 2013 a na začátku roku 2020 jim tedy zbývá doba životnosti alespoň 14 let. Doba životnosti projektu byla stanovena jako nejnižší doba životnosti obou komponent, tedy 14 let. Diskontní sazba byla zvolena jako 3 %, tedy 1 % nad dlouhodobou hodnotou inflace. Roční úspora byla spočtena součtem úspor za všechny měsíce, které byly vypočteny pomocí dat denní výroby a spotřeby pro všechny měsíce. Při výpočtu byly použity reálné ceny pro výkup a nákup elektřiny, a to konkrétně 0,60 Kč/kWh pro výkup a 2,16 Kč/kWh pro nákup. Úspory na nákupu energie oproti variantě bez akumulace pro všechny uvažované kapacity dokumentuje tabulka č.3. V prvním roce je v cash flow započítána pořizovací cena baterií a ve všech následujících pouze roční úspora na nákupu elektrické energie. Výsledné NPV pro všechny uvažované kapacity akumulátoru jsou znázorněny v tabulce č.4.

1 den v měsíci

	Kapacita akumulátoru [kWh]	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Roční cena za elektřinu	Roční úspora za elektřinu
Výkup energie [Kč]	0	0,00	0,00	0,00	2,84	5,14	6,14	5,67	4,10	1,21	0,00	0,00	0,00	-30 498 Kč	0 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-35,24	-30,44	-28,78	-29,25	-32,71	-38,43	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	1,08	0,00	0,00	0,00	2,20	4,49	5,49	5,02	3,45	0,56	0,00	0,00	0,00	-30 195 Kč	303 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-32,91	-28,10	-26,44	-26,92	-30,38	-36,10	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	2,16	0,00	0,00	0,00	1,55	3,85	4,84	4,37	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	-29 898 Kč	600 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-30,58	-25,77	-24,11	-24,59	-28,04	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	3,24	0,00	0,00	0,00	0,90	3,20	4,19	3,72	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	-29 645 Kč	853 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-28,25	-23,44	-21,78	-22,25	-25,71	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	4,32	0,00	0,00	0,00	0,25	2,55	3,54	3,07	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	-29 393 Kč	1 105 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,91	-21,11	-19,45	-19,92	-23,38	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	5,4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	2,90	2,43	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	-29 171 Kč	1 327 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-18,77	-17,11	-17,59	-21,05	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	2,25	1,78	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	-28 969 Kč	1 529 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-16,44	-14,78	-15,26	-18,71	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	7,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	1,60	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-28 801 Kč	1 697 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-14,11	-12,45	-12,92	-17,96	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-28 652 Kč	1 846 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-11,93	-10,11	-10,59	-17,96	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	9,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-28 564 Kč	1 934 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-11,93	-7,78	-8,86	-17,96	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		
Výkup energie [Kč]	10,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-28 540 Kč	1 958 Kč
Nákup energie [Kč]		-145,35	-140,15	-132,20	-25,01	-11,93	-6,68	-8,86	-17,96	-34,07	-138,32	-144,38	-146,44		

Tabulka č.3 Porovnání ročních úspor za elektřinu pro uvažované kapacity akumulátoru



Kapacita akumulátoru [kWh]	Roční úspora za elektřinu	Cena baterie	NPV
0	0 Kč	0 Kč	0 Kč
1,08	303 Kč	-33 517 Kč	-29 216 Kč
2,16	600 Kč	-67 034 Kč	-58 502 Kč
3,24	853 Kč	-100 551 Kč	-88 271 Kč
4,32	1 105 Kč	-134 068 Kč	-118 040 Kč
5,4	1 327 Kč	-167 585 Kč	-148 148 Kč
6,48	1 529 Kč	-201 102 Kč	-178 472 Kč
7,56	1 697 Kč	-234 619 Kč	-209 169 Kč
8,64	1 846 Kč	-268 136 Kč	-240 083 Kč
9,72	1 934 Kč	-301 653 Kč	-271 659 Kč
10,8	1 958 Kč	-335 170 Kč	-303 937 Kč

Tabulka č.4 Porovnání NPV pro uvažované kapacity akumulátoru

Z tabulky č.4 je vidět, že bez dotační podpory není výhodné investovat do akumulátorů jakékoliv kapacity. Instalace systému o vyšší kapacitě by neměla smysl, protože již baterie o celkové kapacitě 10,8 kWh by pojmulí veškerou přebytečnou energii. Pro dosažení na podporu pro rozšíření stávající fotovoltaické elektrárny na fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie je nutné, aby celkový využitelný zisk z instalace akumulčního systému byl větší nebo roven 1 700 kWh za rok. Roční přebytečná energie v uvažovaném objektu, stanovená pomocí odhadované výroby solární elektrárny a spotřeby objektu, dosahuje necelých 1 300 kWh. Tedy ani při akumulaci a využití veškeré přebytečné energie by nebylo možné na finanční podporu dosáhnout. Investice do akumulčního systému využívající baterií tedy není pro tento objekt s již instalovanou fotovoltaikou za zadaných vstupních parametrů ekonomicky výhodná.

#### 4.5 Tepelné zásobníky

Druhá dostupná varianta akumulace elektrické energie vyrobené v malé fotovoltaické elektrárně je akumulace do teplé vody, která vyžaduje tepelné zásobníky. Na českém trhu jsou momentálně dostupné výrobky firem Logitex a Kerberos. Jak již bylo dříve řečeno, tak systém Logitex nelze připojit ke všem topným spirálám v běžných tepelných zásobnících. Systém vyžaduje koupi speciálního zásobníku, který obsahuje dvě topné spirály. Jedna spirála je připojená na elektrickou energii ze sítě a druhá spirála je připojená na elektrickou energii z fotovoltaických panelů. Výrobce uvádí, že topnou spirálu pro připojení k fotovoltaickým panelům lze připojit k solární elektrárně o třech různých výkonech. Tyto výkony jsou konkrétně 1 kW, 1,5 kW a 2 kW.[37] Fotovoltaika v objektu má instalovaný výkon 6 kW a tedy není vhodná pro spolupráci se systémem Logitex.

Druhou tržně dostupnou variantou v ČR je výše zmiňovaný systém Kerberos. Tento systém je navržen pro kombinaci 6 až 8 panelů, nicméně výrobce uvádí, že je možné použít jiný počet panelů, ale je potřeba striktně dodržet vstupní napětí za jakéhokoliv osvit a teploty. Solární elektrárna v objektu sestává z 24 panelů o celkovém instalovaném výkonu 6 kWp, přičemž panely jsou spojeny do série po dvanácti. V technické dokumentaci je uvedeno, že maximální možné výstupní napětí z elektrárny, tedy teoretické vstupní napětí do systému Kerberos, je 400 V. Maximální vstupní napětí do systému je 340 V. Při teoretické investici do dvou kusů systému Kerberos by tedy bylo možné ke každému připojit 12 fotovoltaických panelů, které by splňovaly vstupní požadavky.

Tento akumulční systém tedy lze použít v kombinaci s instalovanou fotovoltaikou. V objektu se již nacházejí 2 bojler, které jsou s tímto řešením kompatibilní, čímž se snižují investiční náklady na realizaci projektu.

Firma Kerberos nabízí 6 možných variant tohoto systému. Produkty mají označení 315.B, 315.C, 315.H, 320.B, 320.C a 320.H. Klíčové vlastnosti těchto produktů zachycuje následující tabulka.

Označení produktu	Maximální vstupní napětí	Doporučený objem bojleru	Výstup lze využít pro nabíjení akumulátorů	Výstup lze využít pro ohřev vody v sekundárním bojleru	Cena
315.B	280 V	100 - 160 l	NE	NE	19 870 Kč
315.C	280 V	100 - 160 l	ANO	NE	20 650 Kč
315.H	280 V	100 - 160 l	NE	ANO	21 100 Kč
320.B	340 V	100 - 200 l	NE	NE	22 200 Kč
320.C	340 V	100 - 200 l	ANO	NE	23 110 Kč
320.H	340 V	100 - 200 l	NE	ANO	23 880 Kč

Tabulka č.5 Vlastnosti produktových řad systému Kerberos

V objektu se již nacházejí 2 shodné bojler o velikosti 200 l. Tomu odpovídají produkty s označením 320. Pro investici je zvažována koupě 2 produktů, vlastnost využitelnosti výstupu pro ohřev vody v sekundárním bojleru z toho důvodu není relevantní. Větší investice do modelové řady končící písmenem H by tedy byla zbytečná. Modelová řada končící písmenem C nabízí oproti řadě končící písmenem B pouze připojitelnost výstupu pro nabíjení akumulátorů a dalších zařízení. Pro využití této vlastnosti by bylo nutné dále investovat do dostatečně velkého akumulátoru, jeho regulátoru nabíjení a případně i DC/AC měniče. Instalované bojler Dražice OKC 200 dle výrobce ročně spotřebují 4 403 kWh. Výroba fotovoltaické elektrárny byla odhadnuta v kapitole 3.2.1 a rovnala se přibližně 4 450 kWh za rok. Bojler lze nastavit tak, aby ohříval vodu v zadaných hodinách a maximálně tak využíval energii vyrobenou ve fotovoltaické elektrárně. Nevyužitá množství energie by se ta pohybovalo v řádech desítek, maximálně stovek kWh ročně. Investice do DC/AC měniče, regulátoru nabíjení a nejvýhodnějšího dostupného akumulátoru o nejmenší možné kapacitě 1,08 kWh by přesahovala 40 000 Kč, které by bylo nutné přičíst k investici do samotného systému Kerberos. Řada 320.C tedy nebude uvažována z důvodu zjevné nevýhodnosti pro daný objekt. Pro další výpočty byl zvolen produkt Kerberos 320.B z důvodu odpovídající kapacity tepelného zásobníku, nižší ceny oproti variantě 320.H a zjevné nevýhodnosti řady 320.C pro uvažovaný objekt.

Diskont a doba životnosti byla stanovena stejným způsobem jako ve výpočtech s akumulátory, tedy diskont 3 % a doba životnosti 14 let. Cena jednoho produktu Kerberos 320.B je 22 200 Kč. Pro ekonomické zhodnocení projektu bylo opět použito kritérium NPV. Podmínky pro dosažení na dotaci z programu Nová zelená úsporám jsou odlišné od varianty s akumulátory. V tomto případě se jedná o podoblast podpory C.3.3 fotovoltaické systémy pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem. Důležité podmínky pro dosažení na podporu jsou uvedeny v kapitole 3.

Systém Kerberos je vybaven systémem sledování maximálního bodu výkonu MPPT a pro dosažení na dotaci není nutné optimalizér MPPT dokupovat. Instalované panely jsou monokrystalické a jejich výrobce uvádí v technické dokumentaci účinnost za standardních podmínek nejméně 15,37 %. Fotovoltaická elektrárna připojená k distribuční soustavě je, ale její odpojení s sebou nese žádné další náklady. V poslední řadě je pro dosažení na dotaci nutné splňovat parametry uvedené v kapitole 3 v tabulce č.2.

Zvolený systém se dvěma bojlerů o celkovém objemu 400 l splňuje první parametr, ovšem minimální měrný objem akumulčního zásobníku tepla vztažený k instalovanému výkonu solárního systému je roven pouze necelým 67 l/kWp. Takto zvolený systém tedy na podporu nedosáhne. Použité parametry pro výpočet a výsledné NPV jsou zapsány v následující tabulce.

Solar Kerberos	-44 400 Kč
Doba životnosti	14 let
Diskont	0,03 %
Roční úspora	2015 Kč
Dotace	0 Kč
NPV	-21 008 Kč

Tabulka č.6 Parametry a NPV systému Kerberos bez dotace

Výsledné NPV tohoto projektu je záporné, a není tedy výhodné do takového systému investovat. Vypočtené NPV má sice vysokou zápornou hodnotu, ale nepřevyšuje výši případné dotace. Podpora nezávisí na dalších parametrech systému a je ve výši 35 000 Kč. Jediný parametr, který předchází varianta nesplňovala, je měrný objem akumulčního zásobníku vztažený k výkonu fotovoltaiky. Při navýšení objemu akumulčních zásobníků by tedy bylo možné na podporu dosáhnout. Hranice pro dosažení podpory je 80 l/kWp a instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny je 6 kWp. Pro splnění podmínky by tedy bylo nutné navýšit objem akumulčních zásobníků ze 400 litrů na nejméně 480 litrů. Instalace třetího bojleru by byla vzhledem k nedostatku místa konstrukčně téměř nemožná. Jediné proveditelné řešení je náhrada jednoho stávajícího bojleru o objemu 200 l novým bojlerem o objemu alespoň 280 l. 280 l není běžný objem a nejbližší vyšší běžně používaný objem je 300 l. Bojler se často prodávají bez topných těles, je tedy vhodné vybrat takový bojler, aby byl kompatibilní se stávajícím topným tělesem od firmy Dražice o výkonu 2 200 kW. Vhodný je například bojler Dražice OKCE 300S za cenu 14 575 Kč, který je kompatibilní se stávající topnou spirálou a jeho rozměry jsou dostatečně malé. Použité parametry a výsledné NPV jsou zaneseny v tabulce č.7.

Solar Kerberos	-44 400 Kč
Bojler	-14 575 Kč
Dotace	35 000 Kč
Doba životnosti	14 let
Diskont	0,03 %
Roční úspora	2015 Kč
NPV	-1 178 Kč

Tabulka č.7 Parametry a NPV systému Kerberos s dotací

NPV takto nastaveného projektu je opět záporné, jeho hodnota se ovšem na rozdíl od projektu bez dotace blíží kladným hodnotám. Pomocí malých změn některých parametrů by tedy pravděpodobně bylo možné dosáhnout kladné čisté současné hodnoty a do takového projektu by tedy bylo ekonomicky výhodné investovat.

## 4.6 Návrh

Výsledné NPV investice do bateriového akumulačního systému je záporné pro všechny uvažované kapacity. Z tabulky č.4 je vidět, že čím větší kapacita baterie, a tedy větší investice, tím vyšší záporná hodnota NPV. Nejmenší záporné hodnoty NPV dosahuje varianta o kapacitě 1,08 kWh a to konkrétně -29 216 Kč. Nejnižší NPV variant s tepelnými zásobníky je hodnota -1 178 Kč. Pro dosažení na dotaci bylo nutné koupit větší bojler, aby systém splňoval požadavky.

Při takto nastavených vstupních hodnotách není výhodné investovat do žádné ze zmiňovaných variant. Investice do systému s bojlerem, která splňuje požadavky pro získání dotace, se nejvíce blíží nulovému NPV a primárně pro tuto variantu budou v další kapitole provedeny citlivostní analýzy. Pro porovnání budou stejné analýzy provedeny i pro investice do systému s akumulací do baterií.

## 5 Ekonomické vyhodnocení akumulačního systému

Všechny uvažované varianty jsou porovnávány se současným stavem fotovoltaického systému v objektu. Tedy s funkční fotovoltaickou elektrárnou o instalovaném výkonu 6 kWp bez jakékoliv akumulace.

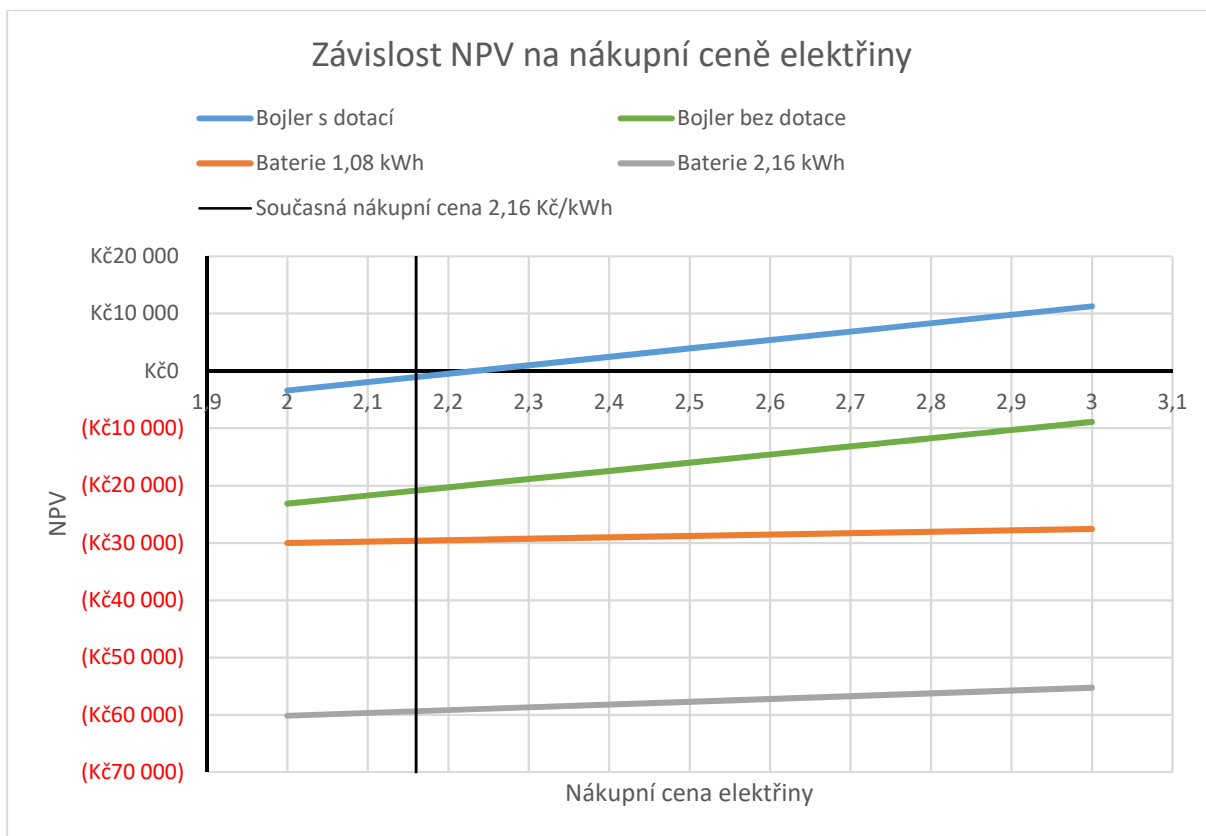
### 5.1 Citlivostní analýzy

Z důvodu uvedeném na konci podkapitoly 4.5 byly provedeny citlivostní analýzy. Vstupní veličiny, pro které byly provedeny citlivostní analýzy byly zvoleny jako nákupní a výkupní cena elektřiny, celková výše investice a diskont. Analýzy byly provedeny pro varianty bojleru bez dotace i s dotací a pro baterie o kapacitě 1,08 a 2,16 kWh. Tyto kapacity byly vybrány z důvodu znázornění trendu vývoje a přehlednosti grafů.

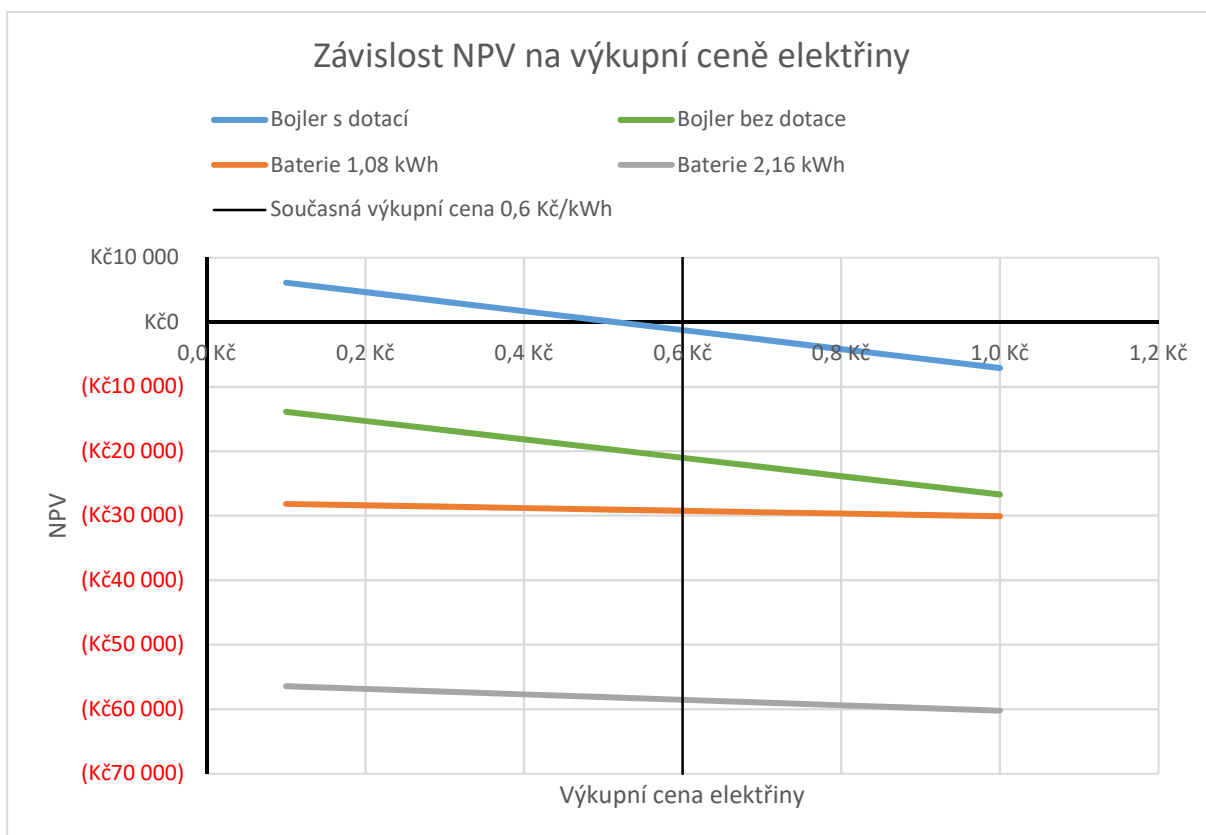
#### 5.1.1 Nákupní a výkupní cena elektřiny

Nákupní cena elektřiny (cena, za kterou spotřebitel nakupuje energii) v objektu je rovna 2,16 Kč/kWh. Tuto situaci znázorňuje na obrázku č.17 svislá černá úsečka. Při takto nastavené nákupní ceně není výhodné investovat do žádné z variant. Při nárůstu této ceny na hodnotu přibližně 2,23 Kč/kWh nebo vyšší, je výhodné investovat do varianty s tepelnými zásobníky, při které je dosaženo na dotaci. Při dosažení ceny vyšší než přibližně 3,62 Kč/kWh by bylo výhodné investovat i do varianty bojleru bez dotace. Investice do bojleru s dotací by při takovéto nákupní ceně ovšem byla mnohem výhodnější. Čisté současné hodnoty variant s bateriemi s rostoucí nákupní cenou také rostou, ovšem pomaleji než v případě bojlerů. To je způsobeno menším množstvím energie, které je možno do systémů akumulovat. Čím větší kapacita baterií, tím tato křivka roste rychleji, ale nulovým hodnotám NPV se neblíží.

Výkupní cena elektřiny (cena, za kterou dodavatel vykupuje přebytečnou energii) v objektu je rovna 0,6 Kč/kWh. Situaci opět znázorňuje svislá černá úsečka. S rostoucí výkupní cenou výsledné NPV všech variant klesá a investice se tak stává méně a méně výhodnou. Naopak při poklesu ceny přibližně pod hranici 0,5 Kč/kWh se investice do varianty s tepelnými zásobníky s dotací stává výhodnou. Ani změna výkupní ceny na 0,1 Kč/kWh nečiní varianty bojleru bez dotace ani baterie jakékoliv uvažované kapacity výhodnými.



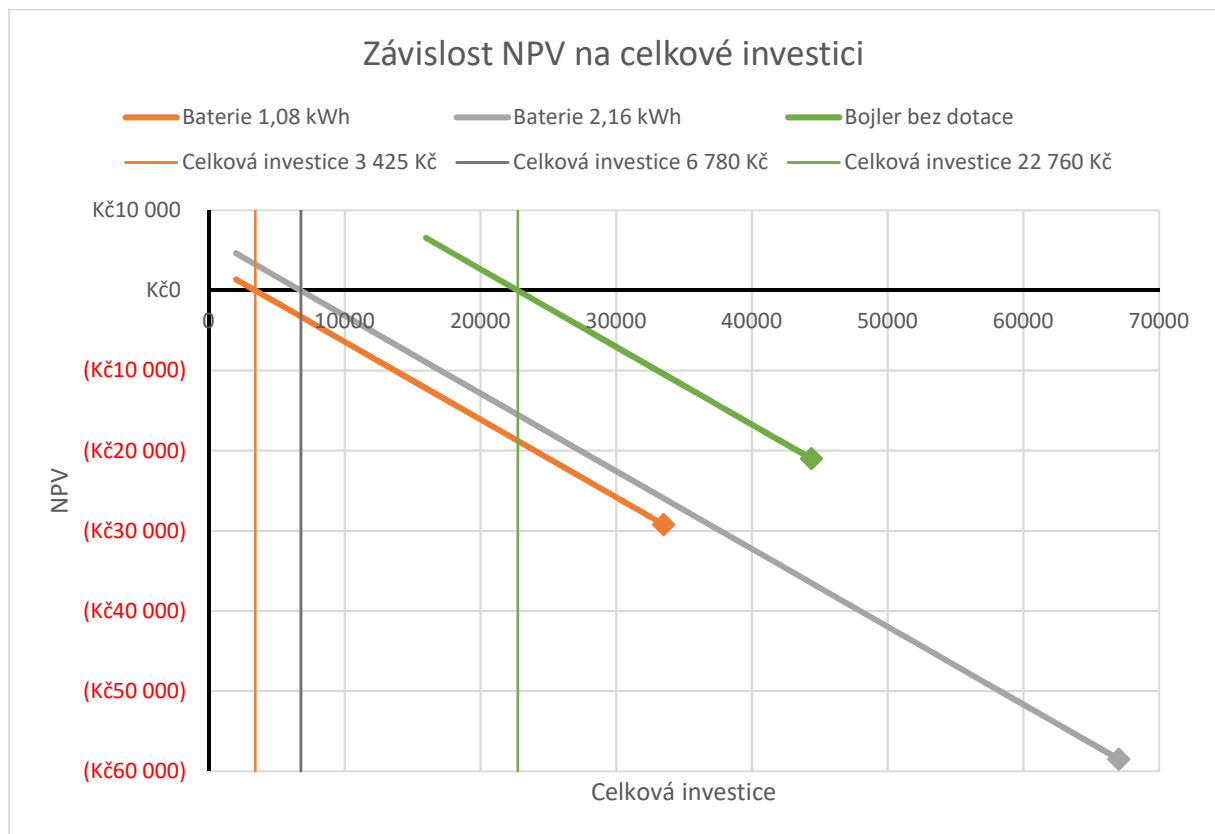
Obrázek č.17 Závislost NPV na nákupní ceně elektřiny



Obrázek č.18 Závislost NPV na výkupní ceně elektřiny

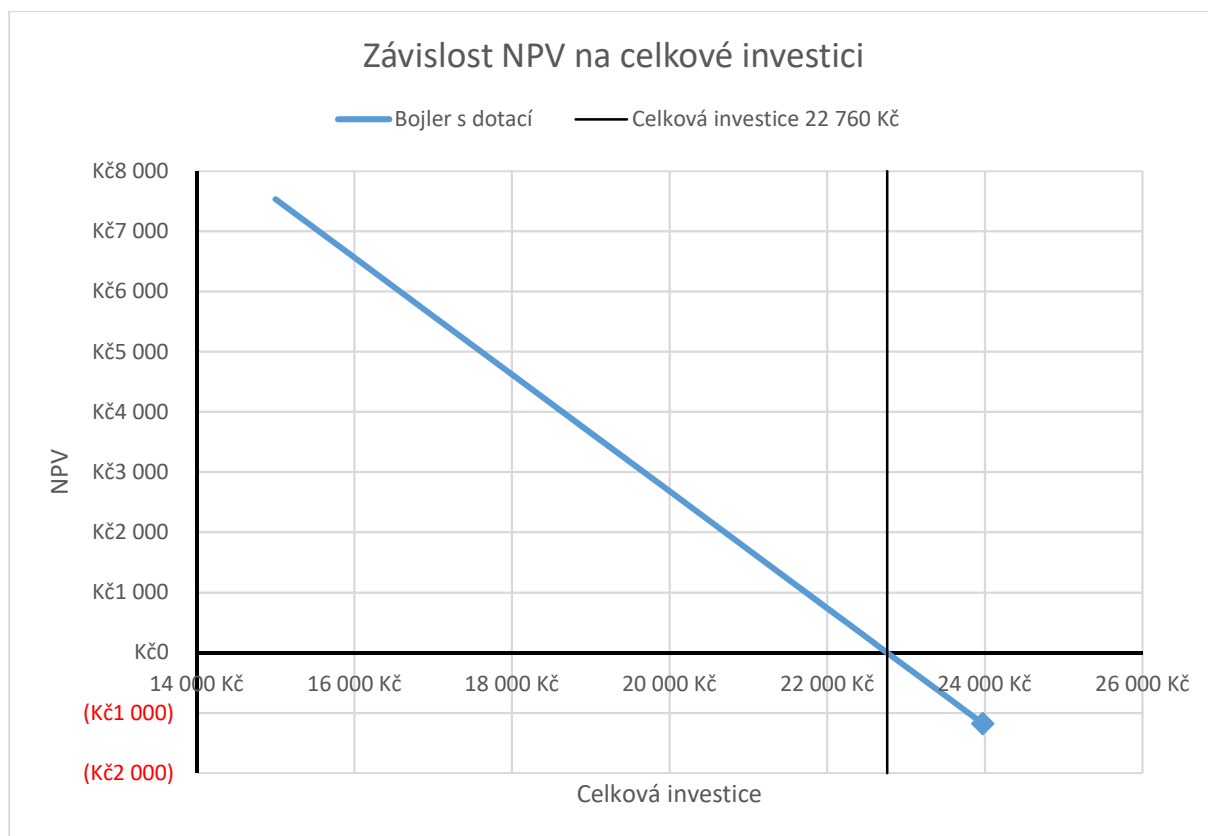
### 5.1.2 Celková investice

Další vstupní parametr, který ovlivňuje výsledné NPV, je celková investice. Závislosti byly vyneseny do dvou grafů z důvodu velkého rozdílu měřítek celkové investice. Žádná z variant s bateriemi by nedosáhla na dotace, a nejen z toho důvodu je investice do bateriového systému mnohem vyšší než do systému s tepelnými zásobníky. Při investici do bateriového systému při současných cenách by se NPV pohybovalo okolo -30 000 Kč pro variantu baterie s kapacitou 1,08 kWh a okolo -65 000 Kč při volbě varianty s kapacitou baterie 2,16 kWh. Tyto body jsou v grafech vyznačeny barevnými kosočtverci. Svislými úsečkami je v grafech vyznačena taková hodnota celkové investice, při které by bylo NPV nulové. Pro bateriové systémy se jedná o hodnoty 3 425 Kč pro variantu 1,08 kWh a 6 780 Kč pro variantu 2,16 kWh. V obou případech se tedy jedná o přibližně 10 % z původní investice. Takovéto snížení cen je velmi nepravděpodobné a tato varianta je tedy jen teoretická.



Obrázek č.19 Závislost NPV na výši celkové investice, varianta s bateriemi

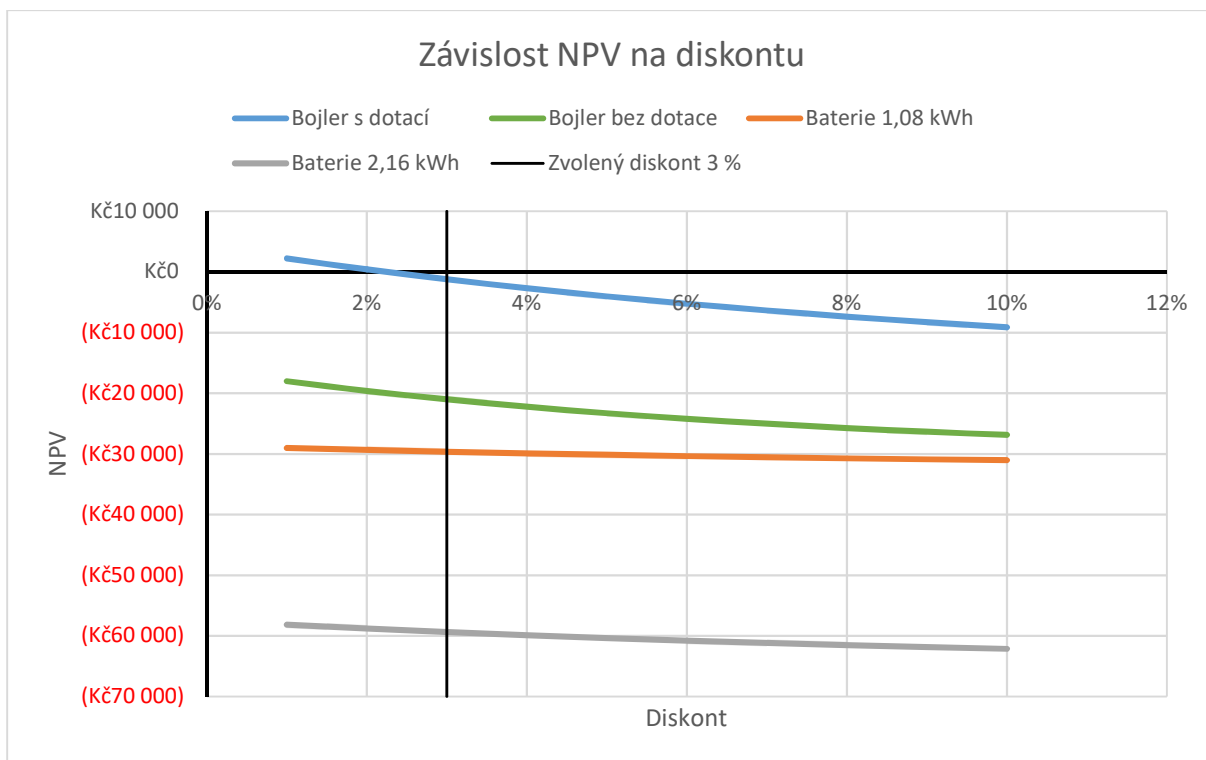
Křivky investic do bojleru bez dotace a do bojleru s dotací mají stejný sklon vůči vodorovné ose, ale rozdílné hodnoty investic při současně nastavených vstupních parametrech. Z důvodu přehlednosti byly tyto dvě křivky rozděleny do dvou grafů. Při volbě varianty bojleru s dotací se celková investice pohybuje okolo 24 000 Kč a NPV okolo -1 000 Kč. Při poklesu investice pod hodnotu 22 760 Kč je NPV kladné a do takového projektu by při těchto vstupních parametrech bylo výhodné investovat. V tomto případě se jedná o pokles ceny na přibližně 95 % původní hodnoty a tento scénář je tedy reálný.



Obrázek č.20 Závislost NPV na výši celkové investice, varianta se zásobníky

### 5.1.3 Diskont

Poslední diskutovanou vstupní veličinou je diskont. Diskont vyjadřuje cenu ušlé příležitosti a jeho volba záleží na investoroři. Diskont by tedy mohl být investorem stanoven na jinou hodnotu, než jsou 3 %. 3% diskont opět znázorňuje svíslá černá úsečka. Při poklesu diskontu pod hodnotu přibližně 2,25 % by se varianta investice do bojleru s dotací stávala výhodnou. NPV investice do bateriového systému a do bojleru bez dotace se se změnou diskontu nemění dostatečně rychle, aby dosáhlo kladných hodnot.



Obrázek č.21 Závislost NPV na diskontu

## 5.2 Kritéria efektivnosti

Nejjednodušší kritérium efektivnosti je prostá doba návratnosti. Vyjadřuje dobu, za kterou se investice splatí z vygenerovaných příjmů. V tomto případě se nejedná o příjmy, ale o úspory na nákupu energií. Doby návratnosti jednotlivých uvažovaných investic jsou uvedeny v následující tabulce.

Investice	Doba návratnosti
Baterie 1,08 kWh	167 let
Baterie 2,16 kWh	169 let
Bojler bez dotace	33 let
Bojler s dotací	18 let

Tabulka č.8 Doba návratnosti investic

Doba životnosti projektu byla stanovena jako 14 let. Doba návratnosti žádného z projektů není kratší než jeho doba životnosti, takže se jedná jen o teoretické doby návratnosti. Investice do takovýchto projektů by se nikdy nesplatila, protože projekt po uplynutí své doby životnosti negeneruje další příjmy. Toto kritérium tedy potvrdilo předchozí volbu založenou na NPV do žádného z projektů neinvestovat.

Efektivnost investice je možné zhodnotit také pomocí vnitřního výnosového procenta neboli IRR. IRR udává relativní výnos, který projekt za svoji dobu životnosti poskytuje. Při porovnávání dvou projektů pomocí tohoto kritéria je tedy výhodné zvolit ten, který má IRR vyšší. Tato volba ovšem záleží na velikosti vstupní investice. Výsledné IRR uvažovaných investic jsou uvedeny v následující tabulce.



Investice	IRR
Baterie 1,08 kWh	-18,68 %
Baterie 2,16 kWh	-18,76 %
Bojler bez dotace	-4,46 %
Bojler s dotací	2,25 %

Tabulka č.9 IRR investic

Varianta bojleru s dotací má z uvažovaných investic nejvyšší výnosové procento. Vzhledem k tomu, že ostatní IRR jsou záporná, není pro výběr nejvhodnější varianty nutné uvažovat velikost vstupní investice. IRR odpovídá takovému diskontu, při kterém by bylo NPV nulové. Hodnotu IRR 2,25 % tedy vizuálně potvrzuje obrázek č. 21. I podle kritéria IRR je tedy z uvažovaných možností nejvhodnější varianta bojleru s dotací. Hodnota ušlé příležitosti byla stanovena pomocí diskontu jako 3 %. Je tedy stále výhodnější upřednostnit tuto investici před investicí do akumulčního systému s tepelnými zásobníky.

### 5.3 Porovnání s již realizovaným systémem bez akumulace

Pro výpočet všech hodnot NPV byly započítány pouze úspory za nákup energie, a nikoliv cena energie, kterou by bylo stále nutné dokoupit pro pokrytí odhadované spotřeby. Důsledkem toho je, že NPV současné varianty, tedy fotovoltaické elektrárny o výkonu 6 kWp bez jakékoliv akumulace, je nulové. Při takto nastavených vstupních parametrech jsou NPV všech uvažovaných variant nižší než nula. Takovéto projekty by ani za celou dobu životnosti nevygenerovali dostatečné příjmy, aby pokryli vstupní investici.

Při změně vstupních parametrů se investice do akumulčního systému s tepelným zásobníkem o takových parametrech, které splňují podmínky získání dotace, může stát výhodnou. Faktor, který se pro příští rok bude velmi pravděpodobně měnit, je nákupní cena elektřiny. Vzhledem ke klesající ceně elektřiny na burze lze pro příští rok předpokládat mírný pokles cen.[38] Touto změnou se ovšem investice do vybraného akumulčního systému stává méně rentabilní. Doba životnosti systému byla stanovena jako 14 let. Vývoj cen energií je na takto dlouhý časový horizont velmi obtížné odhadnout, a proto momentálně nelze jednoznačně určit, zda by investice do tepelných zásobníků byla výhodná.

Z rodinných důvodů lze v objektu pro následující roky předpokládat zmenšení počtu obyvatel, sníženou spotřebu energií, ale i teplé užitkové vody. Bylo by tedy možné do tepelných zásobníků akumulovat více energie, která by ale nebyla maximálně využita. Energie by byla v zásobnících uložena po delší dobu a docházelo by k větším tepelným ztrátám, která se nedají žádným způsobem využít. Z těchto důvodů je doporučení plynoucí z této práce do akumulčního systému neinvestovat, pokud nedojde ke značnému zvýšení cen energií nebo ke snížení pořizovací ceny akumulčního systému. Současný stav fotovoltaického systému je tedy hodnocen lépe než uvažovaná varianta s akumulací.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo popsat dostupné technologie akumulace elektřiny vyrobené v malé fotovoltaické elektrárně, navrhnout akumulční systém a způsob jeho provozu pro konkrétní případ a vyhodnotit jeho ekonomiku.

V první části práce byly popsány možnosti akumulace elektrické energie. Z těchto možností byly vybrány dvě varianty, které jsou vhodné a dostupné na českém trhu. Tyto dvě varianty, konkrétně akumulace elektřiny do baterií a tzv. akumulace do vody neboli využití přebytků elektrické energie k ohřevu užitkové vody, byly rozebrány podrobněji. V rámci obou vybraných systémů akumulace byly

popsány dílčí varianty, ze kterých byly následně vybrány pouze ty, které je možné zakoupit v České republice.

V České republice je momentálně možné zakoupit dvě varianty bateriových systémů. Jedná se o olovené a lithiové baterie. Lithiové baterie překonávají ty olovené téměř ve všech parametrech až na cenu. Vyšší cena lithiových baterií je kompenzována možností získání investiční dotace z programu Nová zelená úsporám, která není poskytována na instalaci olovených baterií. V případě druhé varianty jsou na trhu dostupné dva systémy akumulace. Systém Logitex vyžaduje pro splnění podmínek pro získání dotace koupit externího optimalizéru a speciálního ohřívače vody. Naopak systém Kerberos nevyžaduje k dosažení dotace žádné externí zařízení a lze ho připojit k běžným topným tělesům, jaké se nacházejí například ve dvou instalovaných bojlerech v objektu.

Jedna kapitola byla věnována bližšímu popisu dotačního programu Nová zelená úsporám, jehož využití bylo uvažováno. Blíže byly popsány ty podoblasti programu, které je možné využít při investici do dříve vybraných systémů akumulace. V kapitole jsou uvedeny podmínky a parametry, které je pro získání podpory nutné splnit.

V práci byl dále popsán objekt s fotovoltaickou elektrárnou, která bude dále uvažována pro případnou instalaci vybraného systému akumulace. Vzhledem k absenci pokročilých elektroměrů byl objekt popsán pomocí dvou typových diagramů dodávek elektřiny, které zjednodušeně charakterizují elektrickou spotřebu objektu během roku. Pomocí systému PVGIS byla aproximována celková výroba fotovoltaiky se zaměřením na rozložení výroby během dne ve všech měsících v roce. Tyto údaje byly základem pro výběr optimální velikosti akumulátoru. Technologie a výrobce baterie byly vybrány na základě ceny za odebranou kWh. Nejlepší cenu za odebranou kWh měla baterie o kapacitě 1,08 kWh od výrobce Winston. Pro zjištění optimální velikosti akumulčního systému byl vytvořen optimalizační model, jehož výstupem je čistá současná hodnota. Pomocí tohoto kritéria bylo zjištěno, že pro diskutovaný objekt není výhodná investice do bateriového akumulčního systému. Varianta, která se nejvíce blížila nulovému NPV, byla pouze jedna baterie o zmíněné kapacitě 1,08 kWh s čistou současnou hodnotou -29 216 Kč. S rostoucím počtem baterií v systému se záporná hodnota NPV zvyšovala.

Pomocí stejného kritéria byla zhodnocena investice do tepelných zásobníků. Po diskuzi výhod a nevýhod obou dostupných variant byl zvolen systém Kerberos 320.B. Pomocí optimalizačního modelu byly zhodnoceny dva návrhy. První návrh zahrnoval investici pouze do zmiňovaného systému bez nároku na státní podporu a jeho výsledné NPV bylo -21 008 Kč. Druhý návrh zahrnoval investici do akumulčního systému a do výměny jednoho tepelného zásobníku v objektu za účelem splnění parametrů pro dosažení na dotaci. NPV druhé varianty vyšlo jako -1 178 Kč. Tato hodnota se blíží nulové hodnotě NPV, které odpovídá stav fotovoltaického systému před uvažovanou investicí. Z toho důvodu byly provedeny citlivostní analýzy, které diskutovaly změnu výsledného NPV v závislosti na změně vstupních parametrů modelu. Těmito analýzami bylo zjištěno, že změnami některých vstupních parametrů by bylo možné dosáhnout kladných hodnot NPV. Konkrétně snížením počáteční investice z 23 975 Kč na 22 760 Kč, zvýšením nákupní ceny elektřiny z 2,16 Kč/kWh na nejméně 2,23 Kč/kWh, poklesem výkupní ceny z 0,6Kč/kWh na 0,5 Kč/kWh nebo změnou hodnoty diskontu z 3 % na 2,25 %.

V závěru práce bylo potvrzeny závěry učiněné z hodnot NPV pomocí výpočtu doby návratnosti a vnitřního výnosového procenta. Byly zváženy předchozí výsledky a na základě těchto informací a předpokládanému vývoji situace týkající se počtu obyvatel a spotřeby elektrické energie a teplé užitkové vody bylo uvedeno doporučení. Při takto zvolených vstupních veličinách není doporučeno investovat do žádné z prezentovaných variant. Bylo by výhodné investovat do tepelných zásobníků

s možností získání dotace v případě výraznějších změn ve vstupních veličinách modelu ve smyslu uvedeném v předchozím odstavci. Investice do jakéhokoliv systému bez státní podpory nemá v tomto konkrétním případě smysl.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] WEBDESIGN, FG Forrest, a s , fg {zavináč} fg {tečka} cz-Content Management System- Edee CMS; SYMBIO Digital, s r o-. *Ceník | Elektřina | Skupina ČEZ* [online]. [vid. 2019-12-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/elektrina-na-1-rok/cenik.html#p2>
- [2] *1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c.pdf* [online]. [vid. 2019-11-16]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c](http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c)
- [3] MITCHELL, Mark, Michael CAMPBELL, Kathryn KLEMENT a Mohammad SEDIGHY. Power variability analysis of megawatt-scale solar photovoltaic installations. In: *2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC): 2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)* [online]. 2016, s. 1–4. ISSN null. Dostupné z: doi:10.1109/EPEC.2016.7771687
- [4] WEBDESIGN, FG Forrest, a s , fg {zavináč} fg {tečka} cz-Content Management System- Edee CMS; SYMBIO Digital, s r o-. *Výkup elektřiny z decentralních zdrojů | Skupina ČEZ* [online]. [vid. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/vykup-elektriny-z-decentralnich-zdroju.html>
- [5] *Rodinné domy – zdroje energie* [online]. [vid. 2019-12-07]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/>
- [6] *ERÚ - ERÚ vydává cenová rozhodnutí stanovující regulované ceny v&nbsp;elektroenergetice a&nbsp;plynárství pro příští rok - Detail článku* [online]. [vid. 2019-12-07]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/-/eru-vydava-cenova-rozhodnuti-stanovujici-regulovane-ceny-v-elektroenergetice-a-plynarenstvi-pro-pristi-rok>
- [7] LIBICH, Jiří, Josef MÁCA, Jiří VONDRÁK, Ondřej ČECH a Marie SEDLAŘÍKOVÁ. Supercapacitors: Properties and applications. *Journal of Energy Storage* [online]. 2018, **17**, 224–227. ISSN 2352-152X. Dostupné z: doi:10.1016/j.est.2018.03.012
- [8] LUO, Xing, Jihong WANG, Mark DOONER a Jonathan CLARKE. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy* [online]. 2015, **137**, 511–536. ISSN 0306-2619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2014.09.081
- [9] *A Guide to Understanding Battery Specifications.pdf* [online]. [vid. 2019-12-30]. Dostupné z: [http://web.mit.edu/evt/summary\\_battery\\_specifications.pdf](http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf)
- [10] *Nickel-based Batteries Information – Battery University* [online]. [vid. 2020-01-01]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries)
- [11] *akum\_nife\_nicd.pdf* [online]. [vid. 2019-11-19]. Dostupné z: [http://www.malavoda.cz/akum\\_nife\\_nicd.pdf](http://www.malavoda.cz/akum_nife_nicd.pdf)
- [12] Solid Electrode Battery Technology | Energy Storage Association. *Energy Storage Association* [online]. [vid. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/solid-electrode-batteries/>

- [13] *BU-210a: Why does Sodium-sulfur need to be heated – Battery University* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_210a\\_why\\_does\\_sodium\\_sulfur\\_need\\_to\\_be\\_heated](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_210a_why_does_sodium_sulfur_need_to_be_heated)
- [14] CHEN, Haisheng, Thang Ngoc CONG, Wei YANG, Chunqing TAN, Yongliang LI a Yulong DING. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science* [online]. 2009, **19**(3), 291–312. ISSN 1002-0071. Dostupné z: doi:10.1016/j.pnsc.2008.07.014
- [15] *What is a Lead-Acid battery?* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.off-grid-europe.com/info/lead-acid-battery/>
- [16] *Absorbent Glass Mat (AGM) Battery Information - Battery University* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent\\_glass\\_mat\\_agm](https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm)
- [17] *ACDelco ATX14BS (14-BS) Maintenance Free Absorbed Glass Mat (AGM) Powersport Battery* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: <http://motorcyclepartselectrical.blogspot.com/2013/05/acdelco-atx14bs-14-bs-maintenance-free.html>
- [18] *BU-201b: Gel Lead Acid Battery – Battery University* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_201b\\_gel\\_lead\\_acid\\_battery](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_201b_gel_lead_acid_battery)
- [19] Lithiové akumulátory. *TZB-info* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elekriny/13612-lithiove-akumulatory>
- [20] *BU-216: Summary Table of Lithium-based Batteries – Battery University* [online]. [vid. 2020-01-02]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_216\\_summary\\_table\\_of\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_216_summary_table_of_lithium_based_batteries)
- [21] KUMAR, Deepak, Satish Kumar RAJOURIA, Suman B. KUHAR a D. K. KANCHAN. Progress and prospects of sodium-sulfur batteries: A review. *Solid State Ionics* [online]. 2017, **312**, 8–16. ISSN 0167-2738. Dostupné z: doi:10.1016/j.ssi.2017.10.004
- [22] *Secondary (Rechargeable) Batteries – Battery University* [online]. [vid. 2019-12-30]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/secondary\\_batteries](https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/secondary_batteries)
- [23] *Advantages and limitations of the Different Types of Batteries - Battery University* [online]. [vid. 2020-01-03]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats\\_the\\_best\\_battery](https://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery)
- [24] *BU-1006: Cost of Mobile and Renewable Power – Battery University* [online]. [vid. 2020-01-03]. Dostupné z: [https://batteryuniversity.com/learn/article/bu\\_1006\\_cost\\_of\\_mobile\\_power](https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1006_cost_of_mobile_power)
- [25] AKBARI, Hoda, Maria C. BROWNE, Anita ORTEGA, Ming Jun HUANG, Neil J. HEWITT, Brian NORTON a Sarah J. MCCORMACK. Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems. *Solar Energy* [online]. 2019, **192**, Thermal Energy Storage for Solar Applications, 144–168. ISSN 0038-092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2018.03.052
- [26] SOLAR-ESHOP. Fotovoltaický ohřivač LX ACDC/M+K ABC 125. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/4/>

- [27] Fotovoltaický ohřev vody. *SVP Solar* [online]. [vid. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/solarni-ohrev/fotovoltaicky-ohrev-teple-vody/>
- [28] SOLAR-ESHOP. Fotovoltaický ohřev Solar Kerberos 315B. *Solar-Eshop* [online]. [vid. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/p/fotovoltaicky-ohrev-solar-kerberos-315-b/>
- [29] *Závazné pokyny pro žadatele RD* [online]. [vid. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591>
- [30] CATTANEO, Bruno. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *EU Science Hub - European Commission* [online]. 15. červen 2018 [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [31] How to calculate PV power output from solar radiation? *ResearchGate* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/post/How\\_to\\_calculate\\_PV\\_power\\_output\\_from\\_solar\\_radiation](https://www.researchgate.net/post/How_to_calculate_PV_power_output_from_solar_radiation)
- [32] Náklady na akumulaci elektrické energie v komerčních sekundárních člancích. *TZB-info* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20319-naklady-na-akumulaci-elektricke-energie-v-komercnich-sekundarnich-clancich>
- [33] *5982-O-datasheet-12-8-25-6-volt-lithium-iron-phosphate-batteries-smart-en.pdf* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: [https://www.eshop.neosolar.cz/images\\_content/1314/5982-O-datasheet-12-8-25-6-volt-lithium-iron-phosphate-batteries-smart-en.pdf](https://www.eshop.neosolar.cz/images_content/1314/5982-O-datasheet-12-8-25-6-volt-lithium-iron-phosphate-batteries-smart-en.pdf)
- [34] *sun\_power\_VRM\_en.pdf* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: [https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/sun\\_power\\_VRM\\_en.pdf](https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products/Downloads/sun_power_VRM_en.pdf)
- [35] *3156-O-datasheet-gel-and-agm-batteries-rev-07-cz-fin-5b9f95f9ad36d.pdf* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://static.solar-eshop.cz/files/products/1912/3156-O-datasheet-gel-and-agm-batteries-rev-07-cz-fin-5b9f95f9ad36d.pdf>
- [36] Lithiová baterie 12V / 100Ah, 1,2kWh, LiFeYPO4 články s BMS a Smart Phone monitoringem | Battery Charger CZ. *bch-battery.cz* [online]. [vid. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.bch-battery.cz/Lithiova-baterie-12V-100Ah-1-2kWh-LiFeYPO4-clanky-s-BMS-a-Smart-Phone-monitoringem-d1979.htm>
- [37] *FV-bojler-návod.pdf* [online]. [vid. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.svp-solar.cz/wp-content/uploads/2014/03/FV-bojler-n%C3%A1vod.pdf>
- [38] KURZY.CZ. *Elektřina - ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny 1 MWh - od 21.05.2019 do 13.05.2021 - měna EUR | Kurzy.cz* [online]. [vid. 2020-05-21]. Dostupné z: [/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/1MWh-eur-1-rok](https://komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/1MWh-eur-1-rok)

## 8 Seznam použitých obrázků

Obrázek č. 1 Konstrukce nikl kadmiového článku [11].....	10
Obrázek č. 2 Schéma NaS článku [13] .....	10
Obrázek č. 3 Konstrukce zaplavené olověné baterie [15] .....	11
Obrázek č. 4 Konstrukce baterie typu AGM [17].....	11
Obrázek č. 5 Konstrukce lithiového akumulátoru [19].....	12
Obrázek č. 6 Schéma ohřevu vody systémem Logitex v kombinaci s externím zdrojem tepla [27] .....	14
Obrázek č. 7 Schéma zapojení systému Kerberos se 2 bojlerů [28] .....	14
Obrázek č. 8 Celková roční spotřeba elektrické energie v objektu .....	16
Obrázek č. 9 TDD během letního pracovního dne .....	17
Obrázek č. 10 TDD během letního víkendového dne.....	18
Obrázek č. 11 TDD během zimního pracovního dne .....	18
Obrázek č. 12 TDD během zimního víkendového dne .....	18
Obrázek č.13 Výroba a spotřeba během jednoho dne v červnu .....	20
Obrázek č.14 Výroba a spotřeba během jednoho dne v prosinci .....	21
Obrázek č.15 Cena za kWh pro olověné baterie[33, 34].....	22
Obrázek č.16 Cena za kWh pro lithiové baterie[35, 36].....	23
Obrázek č.17 Závislost NPV na nákupní ceně elektřiny.....	29
Obrázek č.18 Závislost NPV na výkupní ceně elektřiny .....	29
Obrázek č.19 Závislost NPV na výši celkové investice, varianta s bateriemi.....	30
Obrázek č.20 Závislost NPV na výši celkové investice, varianta se zásobníky.....	31
Obrázek č.21 Závislost NPV na diskontu .....	32

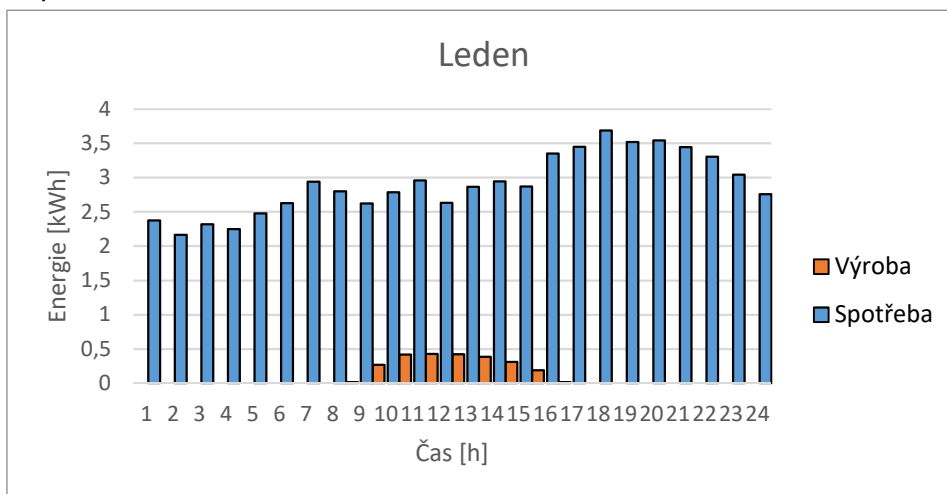
## 9 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Porovnání parametrů baterií [13, 14, 21–25] .....	13
Tabulka č. 2 Parametry dosažení na dotaci pro přímý ohřev teplé vody [29] .....	15
Tabulka č.3 Porovnání ročních úspor za elektřinu pro uvažované kapacity akumulátoru.....	24
Tabulka č.4 Porovnání NPV pro uvažované kapacity akumulátoru.....	25
Tabulka č.5 Vlastnosti produktových řad systému Kerberos .....	26
Tabulka č.6 Parametry a NPV systému Kerberos bez dotace.....	27
Tabulka č.7 Parametry a NPV systému Kerberos s dotací.....	27
Tabulka č.8 Doba návratnosti investic.....	32
Tabulka č.9 IRR investic .....	33

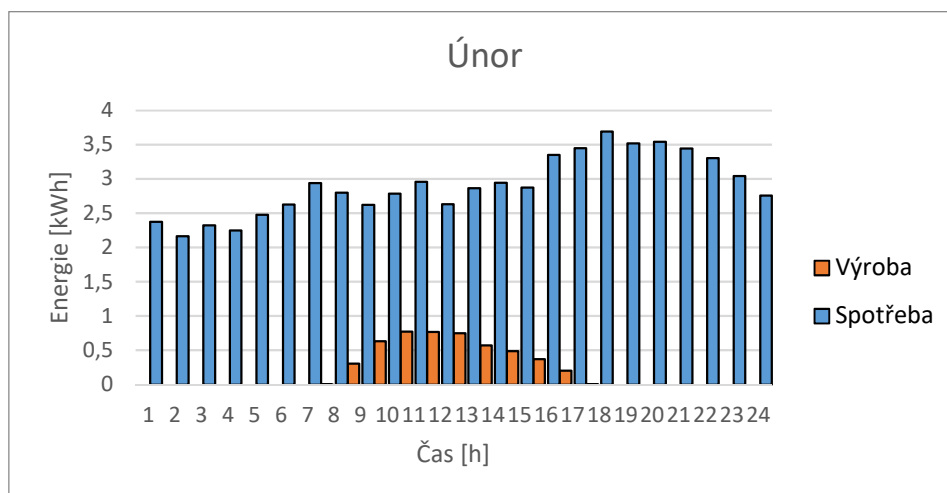
## 10 Seznam příloh

Příloha č.1 Výroba a spotřeba během jednoho dne v lednu.....	40
Příloha č.2 Výroba a spotřeba během jednoho dne v únoru .....	40
Příloha č.3 Výroba a spotřeba během jednoho dne v březnu.....	40
Příloha č.4 Výroba a spotřeba během jednoho dne v dubnu .....	41
Příloha č.5 Výroba a spotřeba během jednoho dne v květnu.....	41
Příloha č.6 Výroba a spotřeba během jednoho dne v červenci .....	41
Příloha č.7 Výroba a spotřeba během jednoho dne v srpnu.....	42
Příloha č.8 Výroba a spotřeba během jednoho dne v září .....	42
Příloha č.9 Výroba a spotřeba během jednoho dne v říjnu.....	42
Příloha č.10 Výroba a spotřeba během jednoho dne v listopadu .....	43

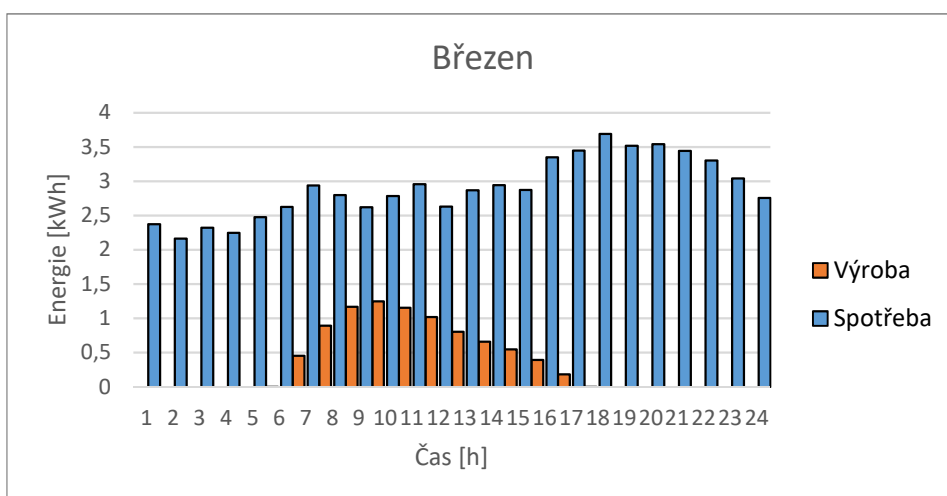
## 11 Přílohy



Příloha č.1 Výroba a spotřeba během jednoho dne v lednu

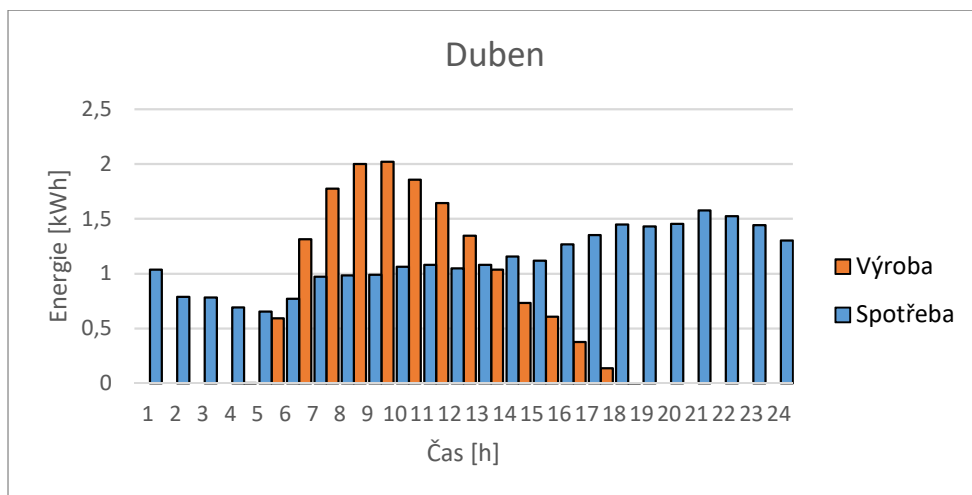


Příloha č.2 Výroba a spotřeba během jednoho dne v únoru

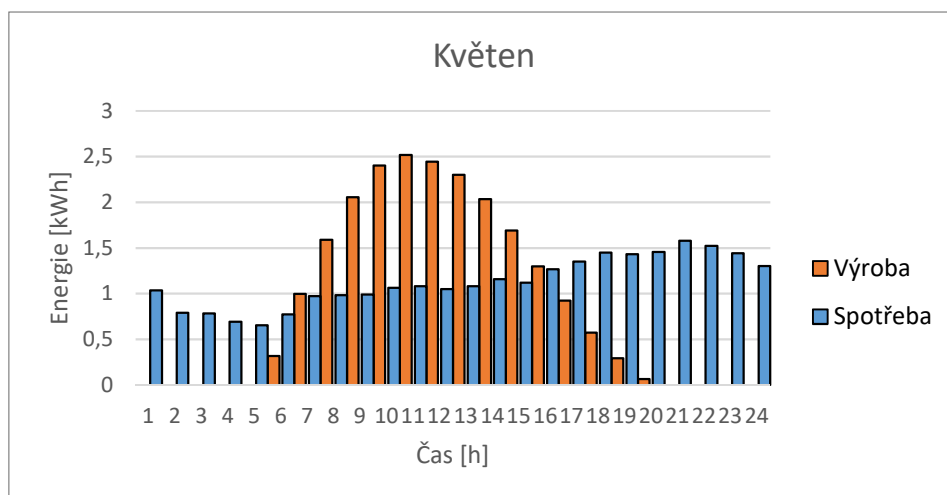


Příloha č.3 Výroba a spotřeba během jednoho dne v březnu

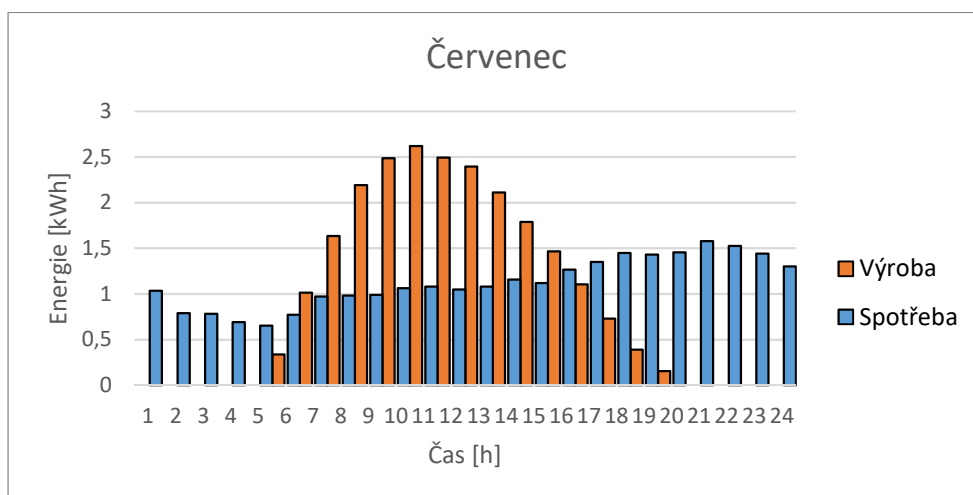




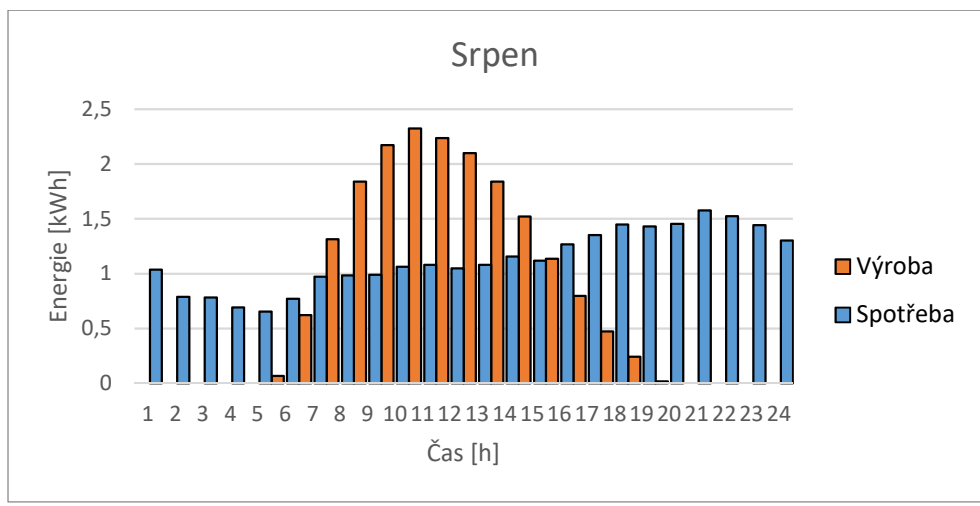
Příloha č.4 Výroba a spotřeba během jednoho dne v dubnu



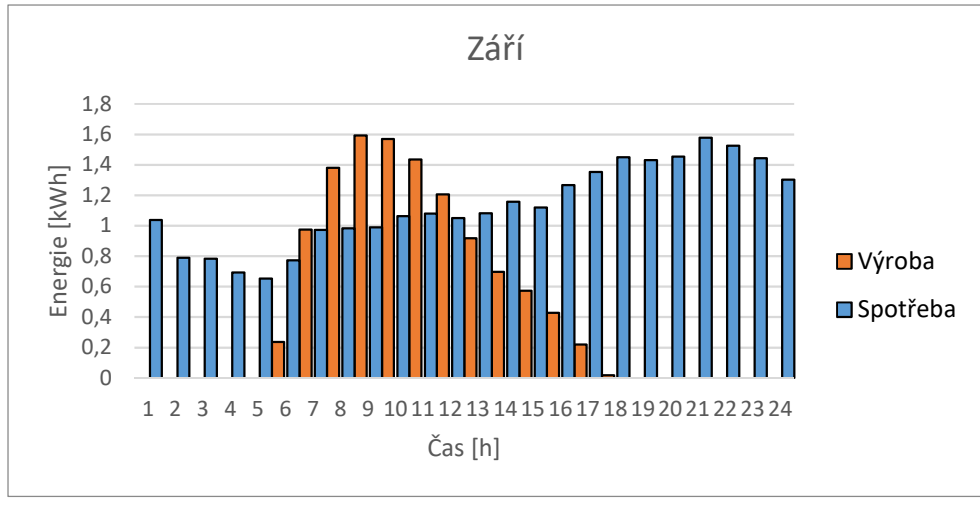
Příloha č.5 Výroba a spotřeba během jednoho dne v květnu



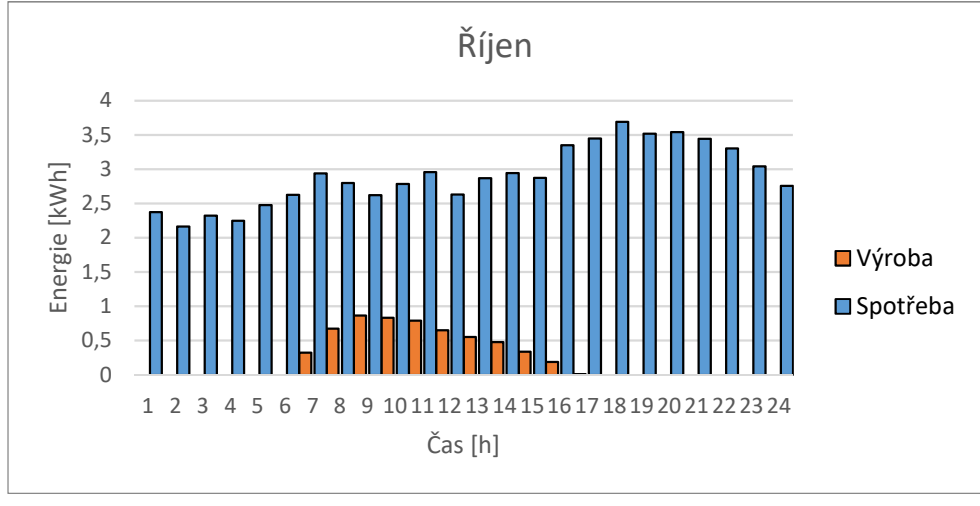
Příloha č.6 Výroba a spotřeba během jednoho dne v červenci



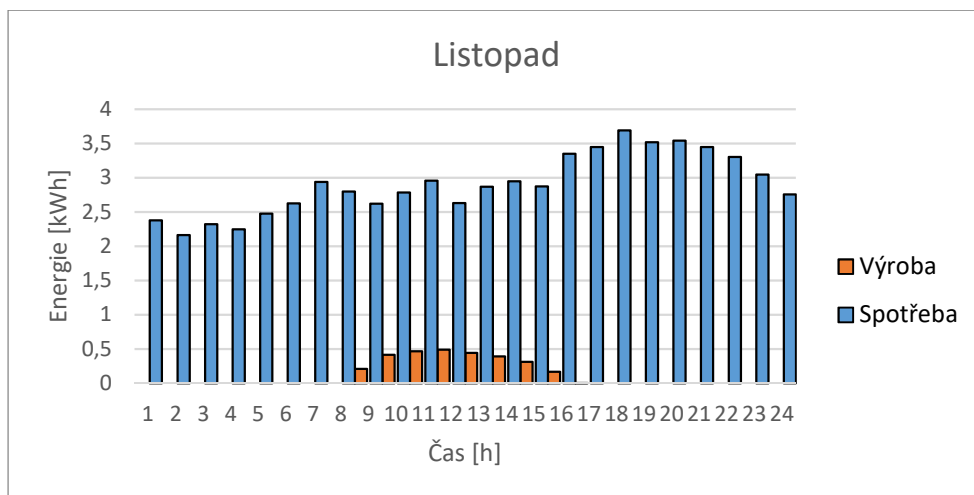
Příloha č.7 Výroba a spotřeba během jednoho dne v srpnu



Příloha č.8 Výroba a spotřeba během jednoho dne v září



Příloha č.9 Výroba a spotřeba během jednoho dne v říjnu



*Příloha č.10 Výroba a spotřeba během jednoho dne v listopadu*