



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Strategie automobilky ve využití baterií z elektromobilu

The automotive strategy of using batteries from an electric car

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Adéla Holasová

Vypracoval: **Bc. František Žert**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Žert** Jméno: **František** Osobní číslo: **434790**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Strategie automobilky ve využití baterií z elektromobilu

Název diplomové práce anglicky:

The automotive strategy of using batteries from an electric car

Pokyny pro vypracování:

Akumulace elektrické energie
Elektromobilita jako zdroj 2nd life baterií
Poskytování regulační energie v ČR
Ekonomická analýza možného využití 2nd life baterií

Seznam doporučené literatury:

SITU, Lixin. 2012. Electric Vehicle Development: The Past, Present & Future. 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications.
KILIAN, Dominik. 2012. Competitiveness of the EU Automotive, Final Report. Chair of General Business Administration and International Automotive Management. [Online] Prosinec 19, 2012.
AJANOVIC, Amela. 2013. Promoting environmentally benign electric vehicles, 2013 ISES Solar World Congress. Vienna University of Technology, Austria, Gussgausstr.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Adéla Holasová, katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **01.02.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

Ing. Adéla Holasová
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

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.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

František Žert

Poděkování:

V první řadě bych chtěl poděkovat mé vedoucí práce Ing. Adéle Holasové za trpělivost, cenné rady a domlouvání externích konzultací během psaní mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantům z automobilky za jejich připomínky, postřehy a ochotu odpovídat na mé otázky. Samozřejmě nesmím zapomenout na poděkování rodině za finanční podporu a přátelům za jejich velkou psychickou podporu během celého studia.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá praktickým využitím použitých baterií z elektrických vozidel označovaných jako 2nd life baterie. V první části vysvětlují akumulaci elektrické energie v energetické soustavě. Zde je kladen důraz především na lithiové baterie. V další části popisují současný i budoucí vývoj elektromobility. Tady je objasněna problematika emisí CO₂ elektromobilu a predikce vývoje počtu elektrických vozidel v České republice. Následně popisují poskytování regulační energie v ČR a vliv elektromobility na energetickou soustavu. Praktická část nabízí dvě možné strategie ve využití 2nd life baterií. Hlavní zdroj příjmů v obou případech je poskytování regulační energie. První strategie pracuje s velkým centrálním bateriovým úložištěm. Naopak druhá využívá malá decentralizovaná bateriová úložiště s rychlonabíjecí stanicí.

Klíčová slova:

elektrické vozidlo, lithiová baterie, akumulace elektrické energie, 2nd life baterie, bateriové úložiště, regulační energie, podpůrné služby, automobilový průmysl, dobíjecí stanice, energetická soustava

Abstract:

This thesis is about practical use of used batteries from electric cars called the 2nd life batteries. In the first part I explain the energy storage in the power grids. Here I focused on lithium batteries. In the next part I describe the development of electromobility. There is clarified the issue of CO₂ emissions of the electric car and the prediction of the amount of electric vehicles in the Czech Republic. Subsequently, I describe provision of the balancing energy in the Czech Republic and how the electric vehicles influence the power grids. The practical part offers two possible strategies of using the 2nd life batteries. In both cases is the provision of the balancing energy the main source of income. The first strategy works with a big central battery storage. However, the second strategy uses small decentralized battery storages with a fast charging station.

Keywords:

electric vehicle, lithium battery, energy storage, 2nd life battery, battery storage, electricity balancing, ancillary services, automotive industry, charging station, power grids

Obsah

1	Úvod	10
2	Akumulace elektrické energie	12
2.1	Způsoby akumulace elektrické energie	12
2.1.1	Přečerpávací vodní elektrárna (PVE)	12
2.1.2	Akumulace elektřiny do stlačeného vzduchu (CAES)	14
2.1.3	Setrvačnickové akumulátory (FES).....	15
2.1.4	Superkapacitor (SC)	16
2.1.5	Vodíkové hospodářství pro akumulaci energie	17
2.1.6	Elektro-chemické akumulátory.....	18
2.2	Porovnání investičních nákladů akumulace energie	20
2.3	Akumulace elektrické energie v elektromobilech	20
2.3.1	Lithium iontové baterie (Li-ion).....	21
3	Elektromobilita jako zdroj 2nd life baterií.....	24
3.1	Sériové elektromobily	24
3.1.1	Produkce CO ₂ na ujetý kilometr elektromobilu	25
3.2	Vývoj prodeje elektrických aut	26
3.2.1	Prodeje elektromobilů v ČR	28
3.2.2	Predikce elektromobility v ČR	29
3.3	System dobíjecích stanic	31
3.3.1	Dobíjecí stanice a legislativa ČR.....	31
3.3.2	Kategorie dobíjecích stanic	32
3.3.3	Predikce dobíjecích stanic v ČR.....	34
3.4	Životní cyklus akumulátoru.....	35
3.4.1	Druhotné využití akumulátorů.....	37
4	Poskytování regulační energie v ČR.....	40
4.1	Zdroje regulační energie.....	40

4.1.1	Podpůrné služby	40
4.1.2	Trh s podpůrnými službami	43
4.1.3	Další zdroje regulační energie.....	45
4.2	Vliv elektromobility na elektroenergetickou síť	46
5	Ekonomická analýza možného využití 2nd life baterií	49
5.1	Strategie automobilky	49
5.2	Vstupní parametry pro výpočet.....	50
5.2.1	Lithiové baterie	50
5.2.2	Proces automatické regulace frekvence FCP	56
5.2.3	Vyrovňovací trh.....	57
5.2.4	Důležitá investiční zařízení	58
5.2.5	Řídicí dispečink.....	60
5.3	Předpoklady a úvahy vstupních parametrů	61
5.4	Strategie velkého bateriového úložiště ze 2nd life baterií	62
5.4.1	Citlivostní analýzy strategie velkého bateriového úložiště.....	65
5.5	Strategie malých bateriových úložišť ze 2nd life baterií	66
5.5.1	Citlivostní analýzy strategie malých bateriových úložišť.....	69
6	Závěr.....	71
7	Zdroje a seznamy objektů:	73

Seznam použitých zkratek

AC	střídavý proud (alternating current)
aFRP	automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy
BEV	bateriové elektrické vozidlo (battery electric vehicle)
CAES.....	akumulace elektřiny do stlačeného vzduchu (compressed air energy storage)
CO ₂	oxid uhličitý
ČR.....	Česká republika
DC	stejnsměrný proud (direct current)
DoD	hloubka vybití (depth of discharge)
DS.....	distribuční soustava
ENTSO-E	Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny
ES	elektrizační soustava
EU.....	Evropská unie
EV.....	elektrické vozidlo (electric vehicle)
FCP.....	proces automatické regulace frekvence
FCR	zálohy pro automatickou regulaci frekvence
FES	setrvačnickový akumulátor (Flywheel energy storage)
FVE	fotovoltaická elektrárna
kWh	kilowatt hodina (jednotka energie)
Li-ion.....	lithium iontový akumulátor
mFRPt.....	ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy (t = 5, 15 minut)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky

MW megawatt (jednotka výkonu)

MŽP Ministerstvo životního prostředí České republiky

NAP SG Národní akční plán pro chytré sítě

NPV čistá současná hodnota (nett present value)

PDS provozovatel distribuční soustavy

PpS podpůrné služby

PPS provozovatel přenosové soustavy

PVE přečerpávací vodní elektrárna

RE regulační energie

SC superkapacitor

SRUQ sekundární regulace U/Q

SVR služby výkonové rovnováhy

SyS systémové služby

SZ subjekt zúčtování

USA Spojené státy americké (United States of America)

USD americký dolar (United States dollar)

VŘ výběrové řízení

VT vyrovnávací trh

1 Úvod

V evropském automobilovém průmyslu se v posledních několika letech skloňuje převážně pojem elektromobilita. Mluví se jak o plně elektrických bateriových vozidlech, tak i o takzvaných plug-in hybridech, které využívají konvenční spalovací motor ve spolupráci s elektromotorem. Ještě před deseti lety (2009) byla elektromobilita spíše okrajovou záležitostí. Naproti tomu dnes (2019) se i díky tvrdé legislativě postupně transformuje celý automobilový průmysl směrem k elektrickým vozidlům. S tímto trendem se rozvíjejí také nové technologické možnosti v návaznosti na tento průmysl, které doposud byly z důvodu malých objemů elektrických vozidel opomíjeny. Jako příklad může být uveden jak trh s novými, tak již jednou použitými lithiovými akumulátory, které mají téměř neomezené možnosti využití.

V dnešním moderním světě si již nedokážeme představit život bez elektrické energie. Nicméně je potřeba si uvědomit, že tato energie se nám stále nedaří ve velkém množství, například pro pokrytí týdenní spotřeby města, akumulovat do zásoby. V dnešní praxi se využívají alespoň krátkodobá akumulační zařízení, která sice neukládají přímo elektrickou energii, ale dokáží na ni většinou v krátkém okamžiku uloženou energii přeměnit. Nejčastěji se jedná o velké přečerpávací elektrárny, které využívají potenciální energii vody, nebo právě již zmíněné lithiové akumulátory, které využívají chemické procesy. Všechny doposud známé a využívané technologie akumulace v energetice popisuje kapitola Akumulace elektrické energie.

První novodobé elektromobily se začaly objevovat od konce 20. století. Hlavní nevýhoda těchto vozů spočívala ve vysokých pořizovacích nákladech a jejich nekonkurenceschopnosti v dojezdové vzdálenosti. To se však změnilo s technologickým vývojem lithiových baterií. Dnešní běžné elektromobily nabízejí dojezd kolem 300 až 600 kilometrů na jedno nabití. Bohužel vlivem používání eklektického vozidla dochází k postupnému snižování kapacity baterie (a s ní spojeného dojezdu), kterou je po čase potřeba vyjmout a nahradit novou. Tato vyřazená baterie má však stále dostatečnou kapacitu, kterou lze uplatnit v jiných aplikacích. Dosavadní vývoj a predikce elektromobility jako zdroje již jednou použitých baterií popisuje kapitola Elektromobilita jako zdroj 2nd life baterií.

Celá elektrizační soustava pracuje s takzvanou rovnovážnou výkonovou bilancí (výroba = spotřeba). Z tohoto důvodu se snažíme přesně predikovat jak výrobu, tak i spotřebu elektrické energie na každou hodinu. Nicméně se běžně stává, že naše predikce neodpovídají

skutečnosti, například z důvodu nečekaných odstávek elektrárenského bloku nebo špatné predikce počasí, a nastává výkonová odchylka. Abychom zajistili kvalitu a stabilitu elektrizační soustavy musíme odchylku ihned vyrovnat pomocí takzvané regulační energie. Proces regulace a zdroje regulační energie popisuje kapitola Poskytování regulační energie v ČR.

V rámci hlavní náplně této práce byly vymyšleny a spočítány dvě investiční strategie z pohledu automobilky, která se rozhoduje, jak naloží s velkým množstvím vyjmutých baterií z elektromobilu. Obě možnosti pracují s předpokladem nabízení regulační energie ve formě podpůrné služby FCP a energie na vyrovnávacím trhu. První strategie pracuje s využitím vyjmutých akumulátorů pro velké centrální bateriové úložiště. Naopak druhá strategie počítá s větším množstvím malých bateriových úložišť umístěných u dealerů automobilky. Popis všech vstupních parametrů, předpokladů a popis výpočtu je uveden v kapitole Ekonomická analýza možného využití 2nd life baterií.

2 Akumulace elektrické energie

Elektrickou energii dokážeme přenášet na dlouhé vzdálenosti, transformovat na potřebné parametry a můžeme ji i velice snadno přeměnit na jiný druh energie (například na mechanickou pomocí elektromotoru). Naopak ji nedokážeme dlouhodobě akumulovat. V současné době umíme pomocí baterií napájet omezený čas řadu elektrických přístrojů, nicméně nedokážeme dostatečně akumulovat elektrickou energii pro spotřebu větších celků na delší dobu (města).

Dnešní svět je plně závislý na elektrické energii. Potřebujeme ji v nemocnicích, firmách, rodinných domech nebo ve spoustě na sobě nezávislých elektricky poháněných spotřebičů. Proto se snažíme, aby všichni měli možnost připojit se k elektrizační soustavě (ES). V České republice jsou elektrifikovány všechny obce již od roku 1955. Nicméně i dnes (2018) při živelních pohromách nebo velkých problémech v ES může dojít k lokálnímu výpadku elektrické energie. Největší komplikace způsobuje výpadek u citlivých moderních přístrojů, které musí být například z důvodu přesné kalibrace či udržení parametrů přístroje neustále napájeny elektrickou energií. Proto tato zařízení využívají akumulátory elektrické energie, které přechodně pokryjí nečekaný výpadek, například dobu mezi výpadkem sítě a naskočením náhradního zdroje (elektrocentrály). Nejčastěji se s těmito přístroji setkáváme v nemocnicích nebo datových centrech.

2.1 Způsoby akumulace elektrické energie

Vědci z celého světa se stále snaží najít nový nebo zdokonalit stávající způsob akumulace elektrické energie. Nejčastěji se jedná o nový typ baterie. Také se ale mluví o akumulaci a přenosu elektrické energie v podobě nezávislého média – vodíku. V rámci elektrizační soustavy ČR se již několik let používá pro akumulaci energie přečerpávací vodní elektrárna. Ve světě se zkouší tlakovzdušná elektrárna a pro krátkodobou akumulaci například bateriové úložiště.

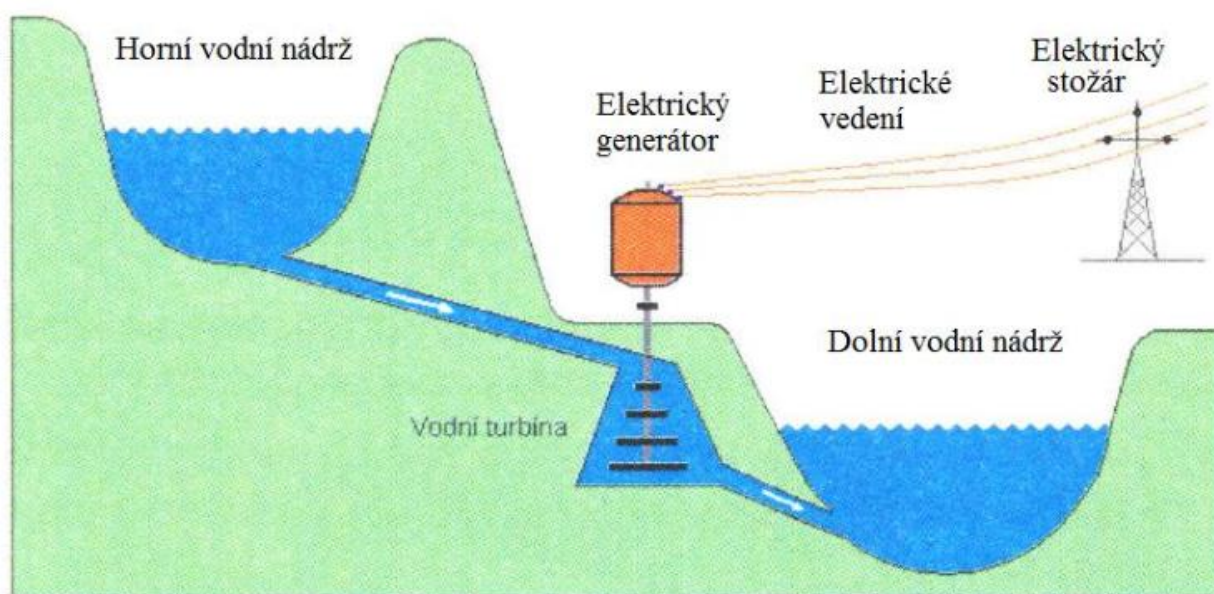
Základní parametry jednotlivých způsobů akumulací (cena, životnost, účinnost) jsou přehledně uvedeny v podkapitole 1.2. Porovnání investičních nákladů akumulace energie.

2.1.1 Přečerpávací vodní elektrárna (PVE)

Přečerpávací vodní elektrárna využívá polohovou energii vody. Princip spočívá v rozdílné výšce dvou nádrží. Tyto dvě nádrže jsou propojeny tlakovým potrubím, kde se nachází reverzní turbína. Pokud dojde k nedostatku výkonu v ES, aktivuje se PVE

v generátorovém režimu. Turbína se roztočí proudem vody z horní nádrže a pomocí generátoru vyrábí elektrickou energii. Naopak, když je přebytek výkonu v ES, aktivuje se čerpání PVE. Elektromotor napájený z ES roztočí turbínu (ale opačným směrem), která začne fungovat jako čerpadlo.

V ČR máme PVE pouze s denním cyklem. To znamená, že během 24 hodin dojde k vypuštění i napaštění horní nádrže. Jedná se o Dlouhé Stráně (výkon 2x325 MW po dobu 6 hodin), Dalešice (výkon 4x120 MW po dobu 2 hodin) a Štěchovice II (výkon 45 MW). Pro potřeby ES by byly vhodné i PVE s vícedenními cykly. V ČR se například mluví o výstavbě PVE Lipno Dunaj. [1]



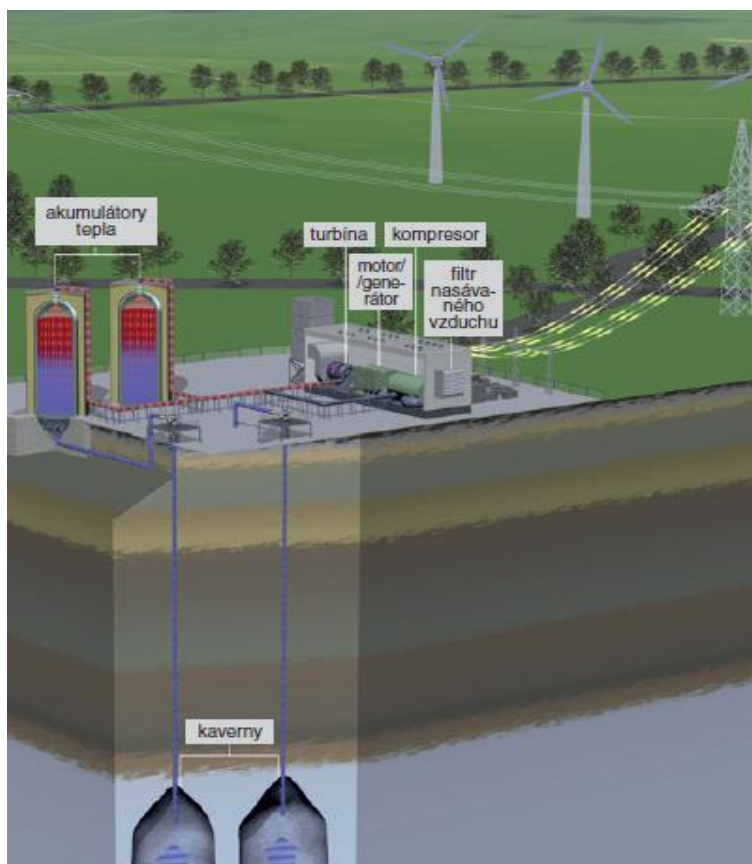
Obrázek 1 Princip PVE [Jan Kubica, Jiří Vojnar – Elektrotechnika]

Účinnost PVE se dnes pohybuje kolem 75 % [1]. To znamená, že energie spotřebovaná na přečerpání vody z dolní do horní nádrže je větší než energie dodaná při výrobě elektřiny. Nicméně se i tak jedná o velice výhodný proces, obzvláště po ekonomické stránce. Pro lepší představu uvádím příklad ze dne 17. 10. 2018:

Na denním trhu elektrické energie byla cena v době od jedné do čtyř ráno 50 EUR/MWh. V tuto dobu je ekonomicky výhodné načerpat horní nádrž. Ve večerní špičce od 18 do 21 hodin se cena pohybovala od 85 do 105 EUR/MWh. To je ideální čas pro aktivaci PVE. Tyto ceny jsou většinou v přímé závislosti na přebytku (nedostatku) výkonu v ES. PVE lze také využít jako zdroj regulační energie, a díky tomu může provozovatel PVE dostat zapláceno i za odebrání energie ze sítě (čerpání do horní nádrže). Více ohledně regulační energie v kapitole Poskytování regulační energie v ČR. [2]

2.1.2 Akumulace elektřiny do stlačeného vzduchu (CAES)

CAES pracuje podobně jako PVE. Při přebytku výkonu v síti se zapnou kompresory, které stlačují vzduch do velkých podzemních kaveren (například do bývalých solných dolů). Vzduch v kaverně dosahuje tlaku 7–10 MPa. Při nedostatku výkonu v síti se vzduch odebírá do plynové turbíny, která pohání generátor. Během procesu stlačování vzduchu dochází k velkému zahřívání. Nový typ AACAES (adiabatické ukládání stlačeného vzduchu) uskladňuje toto teplo v akumulátorech tepla. Následně ho využije pro ohřev stlačeného vzduchu před vstupem do turbíny, aby při dekompresi nevznikla námraza a nepoškodila lopatky turbíny. [3]



Obrázek 2 Model AACAES [RWE Power AG – ADELE]

První tlakovzdušná akumulární elektrárna byla postavena již v roce 1978 v severním Německu. Tato elektrárna pracuje dodnes s instalovaným výkonem 290 MW na dobu aktivace 3 hodin. V rámci celosvětového měřítka se na tento typ akumulace zapomnělo, hlavně kvůli nižší účinnosti (50 %) v porovnání s PVE (75 %). [4]

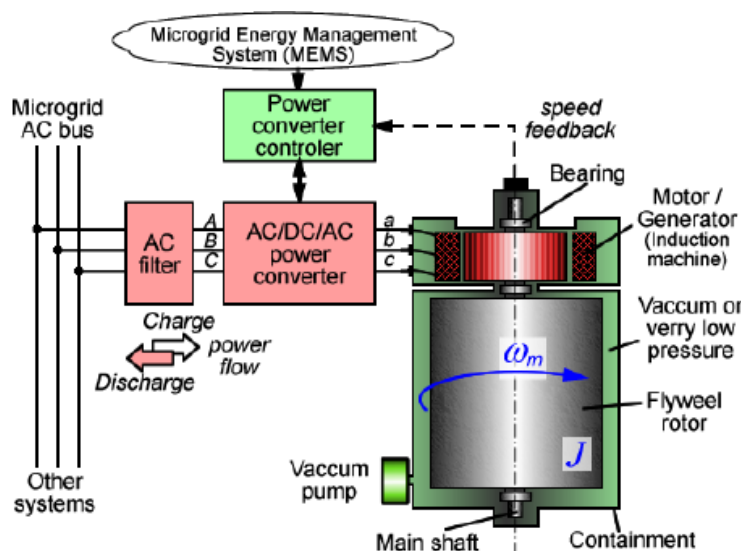
Nový typ AACAES má dle výpočtů dosahovat účinnosti až 70 %. Proto se EU rozhodla v rámci programu Nástroj pro propojení Evropy (CEF) podpořit projekt výstavby nové AACAES v Severním Irsku, poblíž města Larne. Pro skladování stlačeného vzduchu by měli

být využívány bývalé solné doly v hloubce 1,4 kilometru. V generátorovém režimu by elektrárna měla vyrobit 330 MW po dobu šesti hodin. Ovšem nejspíše z důvodu připravovaného odchodu Velké Británie z EU (rok 2018) se pozastavila veškerá příprava projektu, protože byla z velké části financovaná z EU. [5]

2.1.3 Setrvačnickové akumulátory (FES)

Mechanický akumulátor kinetické energie se využíval již v dobách dávných civilizací (Egypt, Mezopotámie). S příchodem elektrického proudu se začal používat i jako krátkodobý akumulátor elektrické energie. Dnes se běžně vyskytuje v průmyslových výrobnách, kde vykrývá krátkodobé výpadky elektrické energie u citlivých počítačových systémů. Tyto akumulátory však nelze využívat pro dlouhodobé skladování energie. Například 70 kg setrvačnick DYBAT ($20\,000\text{ ot. min}^{-1}$) dokáže dodávat výkon 70 kW pouze po dobu 30 sekund. Také je důležité si uvědomit, že tento typ akumulace energie neustále spotřebovává elektrickou energii, a tím zvyšuje ekonomickou náročnost provozu zařízení. [6]

Moderní setrvačnický z plastů pracují ve vysokých otáčkách (až $100\,000\text{ ot. min}^{-1}$). Z tohoto důvodu je jejich rotor uložen v magnetických ložiskách s magnetickou levitací ve vakuu. Účinnost těchto setrvačnicků se uvádí přes 90 %. Tím patří mezi nejúčinnější akumulátory elektrické energie. Nejjednodušší forma FES spočívá v upevnění setrvačnicku na hřídel elektromotoru. Při výpadku proudu se roztočený elektromotor začne chovat jako alternátor a dodá potřebnou energii. [7]



Obrázek 3 Princip FES [Innocent Kamwa]

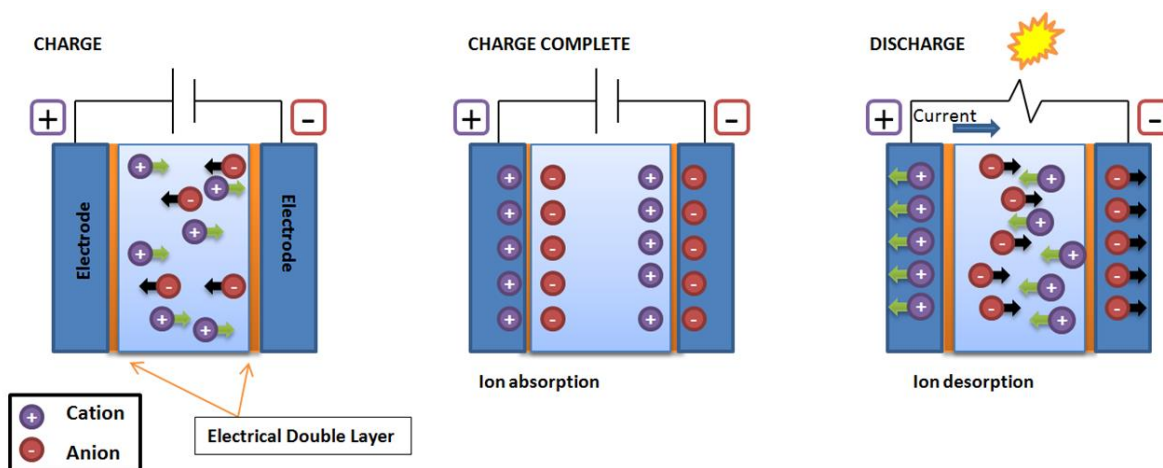
V rámci ES se již objevují první setrvačnickové elektrárny, převážně v Americe. Jedná se například o společnost Beacon Power, která již instalovala dvě elektrárny v Stephentown

v New York (v roce 2011) a v Hazle Township v Pennsylvania (v roce 2014). Obě elektrárny mají instalovaný výkon 20 MW a dokáží dodávat energii po dobu 15 minut. Používají se výhradně pro potřeby regulační energie. Jejich hlavní výhoda spočívá v rychlé odezvě (4 sekundy), neomezené cykličnosti a možnosti vybíjení setrvačníků do nuly. [8] [9]

2.1.4 Superkapacitor (SC)

V posledních letech se jako další alternativa akumulace elektrické energie mluví o superkapacitorech. Běžný kondenzátor je sestaven ze dvou vodivých elektrod, které jsou odděleny dielektrikem (nevodivým materiálem). Při přiložení napětí se na nich hromadí elektrický náboj. Dnes se klasické kapacity nabízí s velikostí kapacity jednotek faradů.

Superkapacitor má také dvě elektrody, ale již ze speciálního materiálu s velkou plošnou hustotou například z práškového uhlíku naneseného na hliníkovou fólii. Elektrody jsou odděleny polypropylenovou folií a prostor je vyplněn tekutým elektrolytem. Tyto kapacity mohou mít velikost kapacity stovek až tisíců faradů. [7] Zjednodušený princip ukazuje obrázek:



Obrázek 4 Princip superkapacitoru [Karl Young]

Při zapojení stejnosměrného napětí se záporné ionty (-) začnou pohybovat ke kladné elektrodě a kladné ionty (+) k záporné elektrodě. Na elektrodách se vytvoří elektrická dvouvrstva se zrcadlovým rozložením elektrického náboje. Při připojení spotřebiče se ionty přemísťují na druhou elektrodu, a tím dodávají elektrický proud.

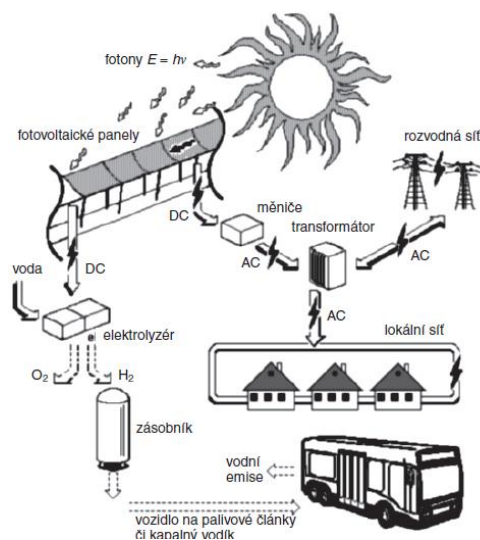
Účinnost akumulace se pohybuje kolem 95 %. Pro praktické využití jsou ale potřeba měniče napětí, proto je výsledná účinnost v praxi nižší. Další velká nevýhoda spočívá v celkové hmotnosti. Pro lepší představu přidávám porovnáním s trakčním (olověným)

akumulátorem: klasický kapacitor (0,2 Wh/kg), superkapacitor (10 Wh/kg) a Pb akumulátor (100 Wh/kg). V praxi se dnes SC používají například v automobilovém průmyslu pro rekuperaci energie při brždění. SC lze také uplatnit ve veřejné dopravě, kdy se pomocí trolejí dokáží speciální trolejbusy nabít za 30 sekund do 50 % své kapacity a ujet přibližně 3 kilometry (Čína). [7] [10]

Jedna z hlavních výhod SC je rychlé nabíjení a velká cykličnost. Nicméně v případě většího rozmachu, například místo baterií v elektrovozidlech, by rychlé nabíjení muselo být potlačeno z důvodů velmi vysokých odběrů. Tyto velké a náhlé odběry by narušily stabilní chod ES. Na napěťové hladině 230 V se superkapacitory nabíjí v řádech sekund při stovkách ampér. Naopak běžný Pb akumulátor se na stejné napěťové hladině nabíjí několik hodin při odběru jednotek ampér. [7]

2.1.5 Vodíkové hospodářství pro akumulaci energie

O vodíkovém hospodářství se mluví již od druhé poloviny 20. století. Od začátku se v energetice počítá s výrobou vodíku v blízkosti elektráren, jehož výrobou by se využila přebytečná energie v ES. Dnes je postaveno velké množství fotovoltaických a větrných elektráren, které vyrábějí energii decentralizovaně a neřiditelně. Výroba vodíku pomocí elektrolýzy vody by mohla pomoci k větší stabilitě soustavy a lepšímu využití vyrobené elektrické energie.



Obrázek 5 Vodíkové hospodářství [Martin Libra]

K výrobě 1 kg vodíku elektrolýzou vody je třeba energie asi $W = 38 \text{ kWh}$ při účinnosti elektrolýzérů $\eta = 90 \%$ a ke zkapalnění 1 kg vodíku ještě asi $W = 10 \text{ kWh}$. [7] Vodík má velkou výhřevnost (cca 100 MJ/kg) a jeho spalováním vzniká vodní pára a malé množství NO_x .

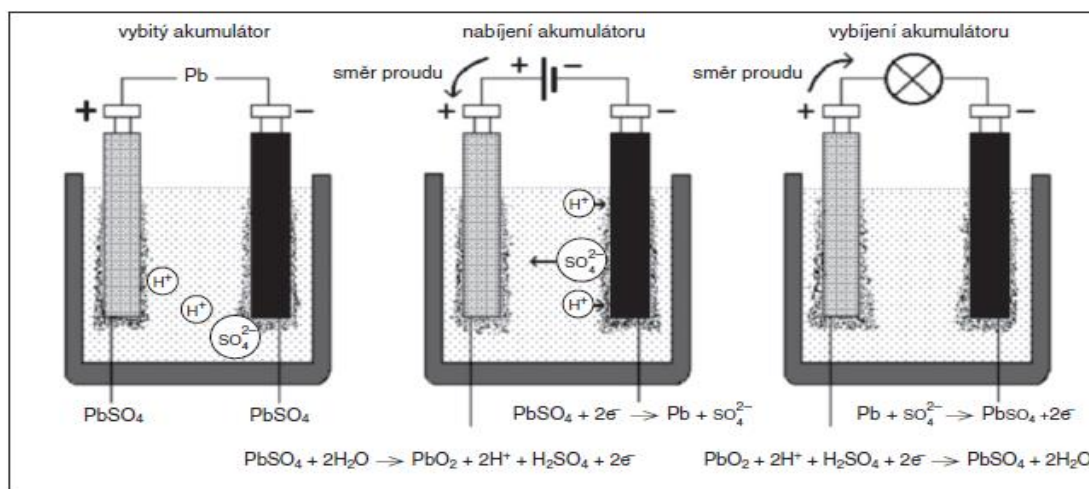
Z tohoto důvodu EU do budoucna kalkuluje s jeho velkým využitím v oblasti energetiky i dopravy mimo jiné z důvodu emisních limitů CO₂. V České republice dnes (2019) téměř neexistuje vodíková infrastruktura, nicméně například v sousedním Německu již mají přes 60 vodíkových stanic a do konce roku 2019 má jejich celkový počet vzrůst na rovných 100. [11]

V automobilovém průmyslu se vodík používá jako palivo pro výrobu elektrické energie v elektromobilu. V minulosti se zkoušelo spalovat vodík přímo v kombinovaném provozu s benzínem, ale nejspíše z důvodu nízké efektivity spalování vodíku a komplikovanosti spalovacího motoru v porovnání s palivovými články se od toho upustilo. Příkladem může být BMW hydrogen 7 nebo Mazda RX-8 Hydrogen RE. Dále se vodík jako palivo využívá ve velkých spalovacích turbínách pro výrobu tepla a elektřiny nebo v raketových motorech. Nicméně samotný vodík je velmi nebezpečný, protože v případě havárie je směs vodíku s kyslíkem třaskavá. Proto veškerá manipulace s vodíkem a konstrukce nádrží musí být k tomu přizpůsobena.

2.1.6 Elektro-chemické akumulátory

Elektro-chemické akumulátory jsou dnes nejběžnější způsob akumulace elektrické energie. Vycházejí z chemických procesů probíhajících uvnitř jednotlivých článků. První elektro-chemický článek byl objeven již na konci 18. století (Voltův článek). Dnes je řada různých typů článků, ze kterých se volí podle způsobu aplikace nebo podle ceny.

Olověný akumulátor byl objeven v polovině 19. století a používá se ve velkém množství dodnes. Jednotlivé články dosahují 1,1 až 2 V, přičemž celková baterie se většinou sestaví sériovým zapojením více článků dohromady (např. 12 V – 6 článků).



Obrázek 6 Pb baterie [Marin Libra]

Olovený akumulátor se skládá ze dvou Pb desek (elektrod) ponořených v kyselině sírové H_2SO_4 . Při nabíjení se dodává elektrická energie z cizího zdroje, která se mění na chemickou energii. Při odpojení cizího zdroje a připojení spotřebiče se změni směr proudu a naakumulovaná chemická energie se mění zpět na elektrickou energii. [7]

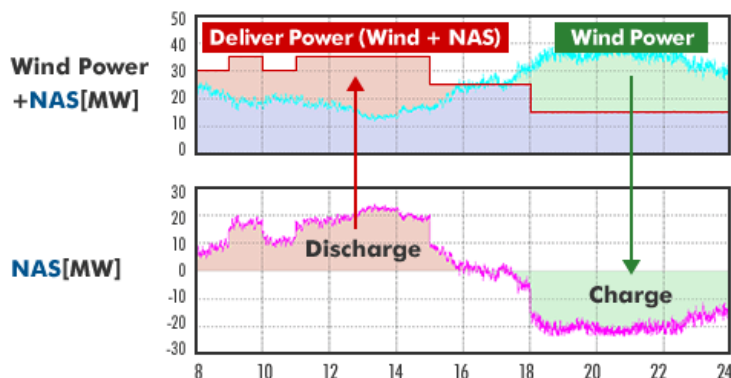
Dnešní použití Pb akumulátoru je velmi rozsáhlé. Používají se například ve většině aut, jako startovací baterie. Pro potřeby ES jsou však již tyto baterie překonané. Na konci 20. století vznikla Pb bateriová úložiště například v Německu (1987 až 1995 BEWAG Battery system o kapacitě 14 MWh) a USA (1988 až 1997 Southern California Edison Chino Battery Storage Project o kapacitě 40 MWh). [12]

Nikl-kadmiový akumulátor patří mezi další používaný akumulátor. Kladná elektroda je vyrobena z hydroxidu niklu a záporná z kadmia. V malých akumulátorech se dnes používá pro ruční spotřebiče, jako jsou například vrtačky. Dle dnešní (2019) platné směrnice 2006/66/ES o bateriích a akumulátorech je v zemích EU zakázáno používat akumulátory s příměsí kadmia vyšším než 0,002 % celkové hmotnosti akumulátoru.

V rámci ES v Americe se v roce 2003 vybuďovala jedno z největších bateriových úložišť o výkonu 23 MW právě z NiCd akumulátorů. Toto zařízení má celkovou kapacitu 14,6 MWh a pracuje nepřetržitě dodnes (2018). Výrobce baterií byla švédská firma Saft ve spolupráci s ABB, která odhaduje životnost svých baterií na 20 až 30 let v provozu. V případě potřeby regulační energie garantuje toto úložiště poskytnutí plného výkonu po dobu 15 minut. [12] [13]

Sodíkovo-sírový akumulátor (NaS) byl objeven již v druhé polovině 20. století. Anoda se vyrábí z čistého sodíku a katoda ze síry v tekuté formě. Elektrolyt je tvořený uhlíkovou membránou z oxidu hlinitého. Pracovní teplota těchto baterií se nachází v rozmezí 300 až 350 °C. Z tohoto důvodu se hodí pro použití v horkých oblastech (Abu Dhabi), kde by se jiné baterie musely nákladně chladit. Účinnost baterií se pohybuje kolem 89 %. [14]

V ES se tyto baterie používají ve spolupráci s neřiditelným zdrojem. Příkladem může být Wind-Nas Hybrid Systém v Rokkasho Village v Japonsku. Byl postaven v roce 2008 s instalovaným výkonem větrných turbín 51 MW. K těmto turbínám je připojeno bateriové úložiště o výkonu 34 MW s kapacitou 245 MWh. Díky tomu je zajištěna stabilnější dodávka elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Na grafu výkonového zatížení je zřejmá funkce baterií. V noci větrné turbíny vyrábí přebytek energie. Ta se akumuluje v bateriích a během dne pomáhá pokrýt spotřebu, když větrné elektrárny nevyrobí dostatek energie. [15]



Obrázek 7 Výkonová bilance NAS [NGK Insulators]

2.2 Porovnání investičních nákladů akumulace energie

Pro porovnání investičních nákladů a účinností pro vybrané akumulace elektrické energie byla použita data z Technology Roadmap – Energy Storage od International Energy Agency z roku 2014.

Způsob	Účinnost [%]	Investice [USD/kW]	Životnost [cykly]	Uskladnění	Příklad projektu
PVE	50–85	500–4600	10 000 - 30 000	Vícedenní	Goldisthal station – SRN (4x265 MW)
CAES	27–70	500–1500	8 000 - 12 000	Vícedenní	Huntorf – SRN (290 MW)
FES	90–95	130–500	20 000+	Krátkodobé	Stephentown – USA (20 MW)
SC	90–95	130–515	50 000+	Krátkodobé	Veřejná doprava – Čína
Vodík	22–55	500–750	1 000+	Vícedenní	Utsira Hydrogen Project – Norsko (55 kW)
El-ch. čl.	75–95	300–3500	500 - 10 000	Krátkodobé	Wind Nas Rokkasho – Japonsko (34 MW)

Tabulka 1 Investiční náklady akumulace [16] [17]

Celkové investiční náklady na postavení nového energetického zdroje jsou velice individuální. Rozhoduje nejen technologická část, ale i geografické umístění nebo politická situace. Nicméně i tady platí úspora nákladů z rozsahu. Proto by mohlo v případě menších akumulacích zařízení, které by se daly vyrábět sériově (baterie, FES, SC), dojít k výraznému snížení celkové ceny. V důsledku změny politiky ve výrobě elektrické energie v EU dochází k výstavbě neřiditelných a decentralizovaných zdrojů. Pro zajištění lepší stability výroby budou tyto zdroje potřebovat malý akumulací prvek, který vyhladí průběh dodávky výkonu do ES.

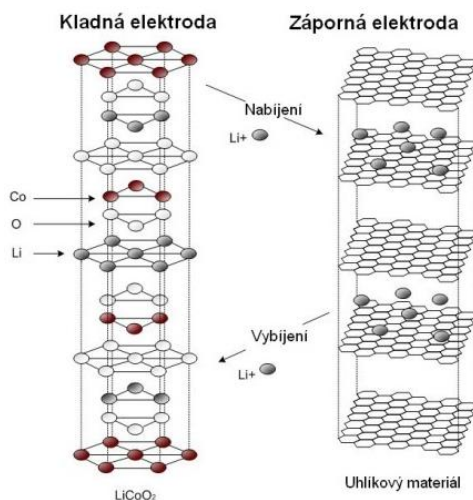
2.3 Akumulace elektrické energie v elektromobilech

První elektromobily byly sestrojeny již na konci 19. století. Například elektromobil Františka Křižíka (1847/1941) byl poháněn stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW a napájen olověným akumulátorem se 42 články. Nevhodné akumulátory a s nimi spojený malý dojezd elektromobilu odsunul jejich rozsáhlejší využití až do začátku 21. století.

V dnešní době konkurují elektromobily svým dojezdem i autům se spalovacím motorem. Například Jaguar I – Pace představený v roce 2018 avizuje dojezd 480 km na jedno nabití v běžném provozu. Kapacita jeho baterií dosahuje 90 kWh. Pro potřeby dnešního elektromobilu jsou kladeny i další požadavky na parametry akumulátoru, jako jsou životnost, rychlost nabíjení, bezúdržbovost, hmotnost a cena.

2.3.1 Lithium iontové baterie (Li-ion)

Li-ion patří mezi nejrozšířenější akumulátory v elektromobilech. Tyto baterie používají pro kladnou elektrodu sloučeniny lithia (LiCoO_2 , LiNiO_2) a pro zápornou uhlíkový materiál. Elektrolyt je bezvodný, nejčastěji z lithia hexafluorofosfátu LiPF_6 . Během nabíjení se ionty lithia přesouvají z kladné elektrody na zápornou a při vybíjení ze záporné na kladnou. *Ionty lithia pouze interkalují do struktury záporné elektrody (interkalovat – vmístit se do mřížky materiálu bez chemické reakce se samotným materiálem). To znamená, že v podstatě neprobíhá chemická reakce a je tak dosaženo velmi dlouhé životnosti bez velkých změn ve výkonech akumulátoru.* [18]



Obrázek 8 Princip funkce lithiových akumulátorů [18]

Lithiové baterie se dnes vyrábějí v různých variantách, hlavně s různým složením kladné elektrody. Jejich jmenovitá napětí se pohybují v rozmezí 2,4 až 3,6 V. Přehled základních parametrů ukazuje tabulka:

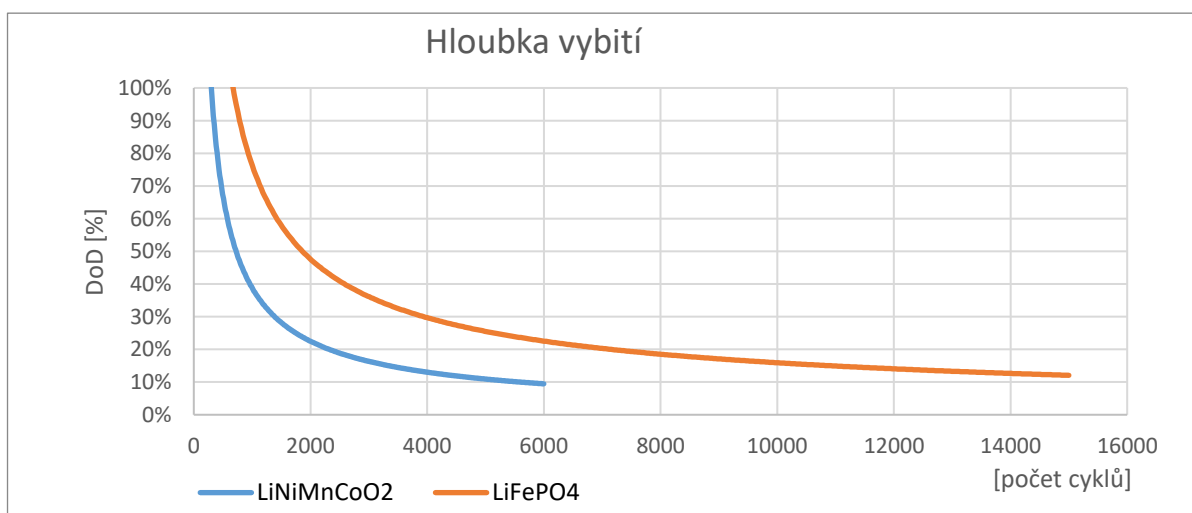
	LiNiMnCoO_2	LiNiCoAlO_2	LiFePO_4	LTO
Jmenovité napětí [V]	3,6	3,6	3,2	2,4
kapacita [Wh/kg]	150-220	200-260	90-120	50-80
počet cyklů	1000-2000	500	1000-2000	3000-7000
cena [USD/kWh]	420	350	580	1005

Tabulka 2 Lithiové baterie – přehled [19]

Počet cyklů jednotlivých baterií závisí hlavně na hloubce vybití (depth of discharge – DoD). DoD se udává v procentech, přičemž s nižší hodnotou DoD se zvyšuje počet možných cyklů baterie. Například 10 % DoD znamená, že baterie bude vybíjena pouze do 90 % její kapacity a následně bude před dalším použitím opět dobíjena na 100 % kapacity. V praxi bohužel neexistuje mnoho aplikací, kde by se využívalo baterie pouze s DoD blízke 10 %. Tabulka a graf ukazují cykličnost dvou typů baterií v závislosti na DoD:

DoD	LiNiMnCoO ₂	LiFePO ₄
100 %	300	600
80 %	400	900
60 %	600	1500
40 %	1000	3000
20 %	2000	9000
10 %	6000	15000

Tabulka 3 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na hloubce vybití [19]

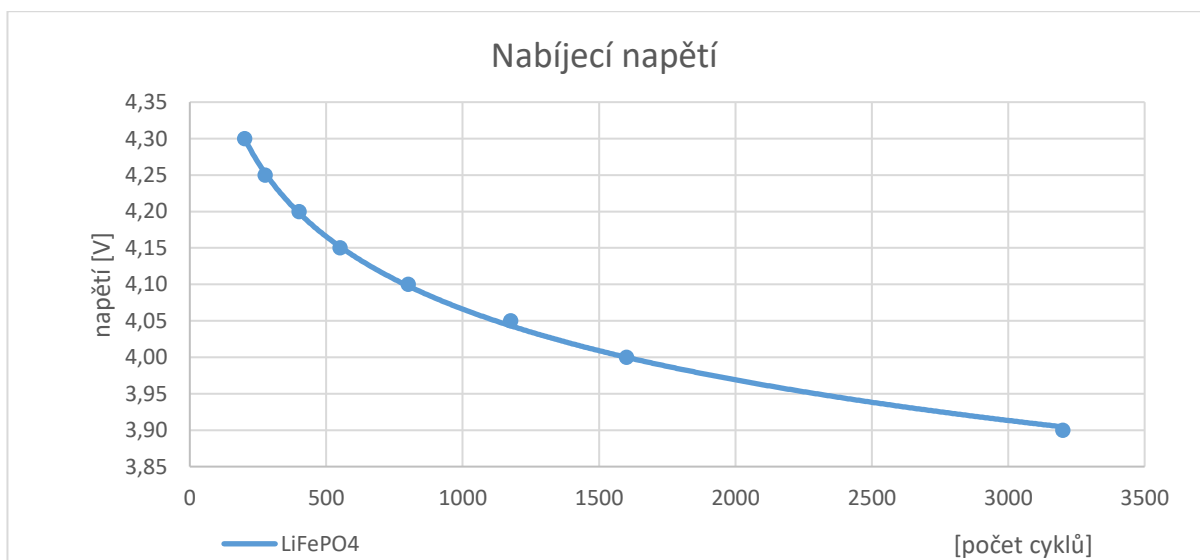


Graf 1 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na hloubce vybití [19]

Lithium-iontové baterie při provozním napětí 3,6 V obvykle nabíjíme na napětí 4,2 V, abychom dosáhli jmenovitých hodnot baterie. Můžeme ale také nabíjet na vyšší nebo nižší napětí. Tato změna budeme mít velký vliv jak na celkovou nabitou kapacitu baterie, tak i na celkový počet cyklů. Snížením nabíjecího napětí o 0,1 V se zdvojnásobí možný počet cyklů, ale sníží se také využitelná kapacita baterie přibližně o 15 %. [19]

Napětí [V]	Počet cyklů	Kapacita [%]
4,30	150–250	110–115
4,25	200–350	105–110
4,20	300–500	100
4,15	400–700	90–95
4,10	600–1,000	85–90
4,05	850–1,500	80–85
4,00	1,200–2,000	70–75
3,90	2,400–4,000	60–65

Tabulka 4 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na nabíjecím napětí [19]



Graf 2 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na nabíjecím napětí [19]

3 Elektromobilita jako zdroj 2nd life baterií

V poslední dekádě se mluví o velkém rozmachu elektromobility. Je to způsobeno mimo jiné přísnými emisními limity CO₂ (popsané níže), které většina evropských automobilek není schopna plnit pomocí vozidel na konvenční pohon. I z tohoto důvodu nabízejí automobilky stále větší množství sériových elektromobilů, pomocí kterých lze snížit celkovou bilanci vyprodukovaných emisí CO₂. Legislativa v oblasti emisí CO₂ se neustále vyvíjí a mění, ale lze předpokládat, že se spíše bude zpřísňovat v souladu s Pařížskou klimatickou dohodou z roku 2015.

3.1 Sériové elektromobily

Již na konci 20. století automobilky po celém světě testovaly malé série plně elektrických nebo hybridních vozidel. Jako příklad mohu uvést GM EV1 z roku 1996, který disponoval elektromotorem o výkonu 102 kW a nikl-metal hydridovou baterií o kapacitě 16,5 kWh. Ta umožnila dojezd přibližně 160 kilometrů. Z důvodu vysokých nákladů na výrobu a nekonkurenceschopnosti v dojezdu oproti benzínovým alternativám nebyly tyto vozy více rozšířeny. V roce 2006 byl představen jeden z hlavních průkopníků dnešní elektromobility elektromobil Tesla Roadster s dojezdem přes 320 kilometrů na jedno nabití. Společnost Tesla využila jako první technologie lithiových baterií o kapacitě 53 kWh ve spolupráci s asynchronním motorem o výkonu 185 kW. Cena tohoto modelu se pohybovala v rozmezí 98 000 až 109 000 dolarů. První generace Tesly Roadster se celosvětově prodalo 2450 kusů mezi roky 2008 až 2012. [20] [21]

Na přelomu let 2010 až 2011 byl uveden na světový trh další významný elektromobil Nissan Leaf. Jedná se o plnohodnotné rodinné auto pro pět cestujících využívající synchronní motor o výkonu 80 kW a lithiové baterie o kapacitě 24 kWh. Cena tehdy startovala na 33 000 dolarech. Dojezd byl avizován až 160 kilometrů na jedno nabití. Model se v druhé generaci prodává dodnes, přičemž se již využívá nová 40 kWh baterie s dojezdem 260 km. Evropská prodejní čísla jasně ukazují zájem o tento vůz. V roce 2011 se v Evropě prodalo 1 728 kusů, v roce 2014 již 15 303 kusů a v roce 2018 od ledna do srpna se prodalo již 23 665 kusů. [22] [23] [24]

Tuzemský výrobce ŠKODA AUTO k dnešnímu dni nenabízí plně elektrické vozidlo. V roce 2019 se situace změní příchodem elektrické verze Škody Citigo. Do roku 2025 má automobilka v plánu nabízet 10 elektrifikovaných modelů. V rámci koncernu Volkswagen Group je již dnes na trhu například plně elektrický model e-Golf. Tento vůz je od roku 2017

osazen lithiovou baterií o kapacitě 35,8 kWh, která má zajistit dojezd až 300 kilometrů na jedno nabití. Cena vozidla startuje na 959 000 Kč. [25]

3.1.1 Produkce CO₂ na ujetý kilometr elektromobilu

Dle aktuálně (2019) platného nařízení EU č. 443/2009 se stanovily výkonnostní emisní normy pro nové osobní automobily v rámci integrovaného přístupu Společenství ke snižování emisí CO₂. Toto nařízení stanovilo emisní limit u nově vyrobených vozidel na 130 g CO₂ na ujetý kilometr. Od roku 2020 se limit sníží na 95 g CO₂ na km. V případě překročení hrozí výrobci od roku 2019 pokuta vypočtená takto:

$$\text{Pokuta}[EUR] = \text{překročení}[gramy CO_2 / km] * \\ * \text{počet registrovaných aut}[kusy/rok] * 95[EUR]$$

Rovnice 1 Výpočet pokuty při překročení emisních limitů CO₂

Proto se převážně evropské automobilky snaží dosáhnout stanovených limitů, aby finančně neohrozily existenci svých závodů.

Výše uvedené nařízení řeší pouze samotný provoz, který se může zdát bezemisní. Nicméně je potřeba si uvědomit, že vyrobená elektrická energie, na kterou tato vozidla jezdí, není bezemisní. Proto výsledná provozní ekologie elektromobilu by se měla posuzovat v souladu s energetickým mixem daného státu. Evropská unie si toho je vědoma, a proto má další nízkoemisní legislativní nařízení v oblasti energetiky.

Pro lepší představu skutečných emisí elektromobilu jsem sestavil velice zjednodušený model, který pracuje s ohledem na energetické mixy jednotlivých státu. Abych se přiblížil skutečným hodnotám, použil jsem jak oficiální spotřebu elektrické energie, tak i naměřenou spotřebu organizací ADAC v roce 2018 (vyšší hodnoty). Měrné emise jednotlivých paliv jsem převzal z vyhlášky číslo 309/2016 Sb. a účinnosti jednotlivých elektráren jsem orientačně určil pomocí internetového portálu www.energyweb.cz (hnědouhelná 33 %, černouhelná 37 %, plynová 43 %, ostatní bezemisní). Orientační rozložení roční výroby elektrické energie lze dohledat na veřejných internetových portálech státních účastníků trhu s elektrickou energií (PPS, ERU, ...). [26] [27] [28] [29]

Značka	Model	Spotřeba	Emise CO ₂ [g/km]					
		[kWh/100 km]	Polsko	Česko	Německo	Švédsko	USA	Missouri
Nissan	Leaf Acenta ZE1	15,2	121	81	68	12	67	117
Nissan	Leaf Acenta ZE1	22,1	176	117	99	17	97	171
Tesla	Model S P90D	20,0	159	106	89	16	88	155
Tesla	Model S P90D	24,0	191	128	107	19	106	185
VW	e-Golf	12,7	101	67	57	10	56	98
VW	e-Golf	17,3	137	92	77	14	76	134
Renault	Zoe Intens	13,3	106	71	59	10	59	103
Renault	Zoe Intens	20,3	161	108	91	16	90	157

Tabulka 5 Produkce CO₂ na ujetý kilometr

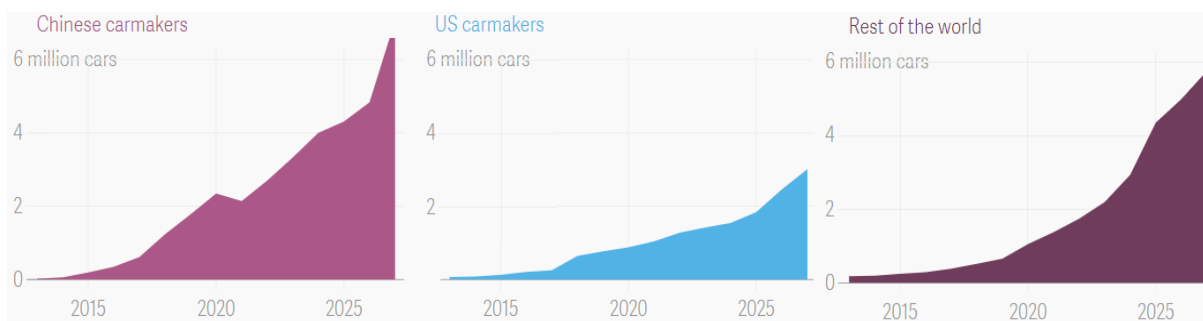
Palivo	Polsko	ČR	Německo	Švédsko	USA	Missouri
hnědé	26 %	42 %	25 %	0 %	10 %	19 %
černé	54 %	5 %	15 %	0 %	20 %	60 %
jádro	0 %	33 %	13 %	36 %	20 %	10 %
Ropa a plyn	6 %	7 %	9 %	17 %	33 %	6 %
OZE	13 %	11 %	38 %	47 %	17 %	5 %
CO₂/kWh	0,794	0,531	0,447	0,079	0,441	0,773

Tabulka 6 Pomocná tabulka s roční procentuální výrobou elektrické energie

Z tabulky produkce CO₂ na ujetý kilometr je zřejmá přímá závislost mezi provozní ekologií elektromobilu a energetického mixu státu. Ve vybraných příkladech států nejhůře dopadlo Polsko, které většinu své energie vyrábí v uhelných elektrárnách. Výsledná hodnota u rodinného auta Nissan Leaf 176 gramů CO₂ na kilometr je větší než u provozu konvenčního dieselového vozidla (2,0 TDI 110 kW – 141 g/km). Naopak nejnižších hodnot produkce CO₂ během provozu elektromobilu dosahují země, kde se většinou vyrábí elektřina z obnovitelných zdrojů a jádra. Příkladem může být Švédsko, kde nejnižší hodnota emisí CO₂ spadá u Nissanu až na 17 gramů na ujetý kilometr.

3.2 Vývoj prodeje elektrických aut

V rámci celosvětového měřítka je dnes na trhu velké množství elektromobilů. Mezi nejdůležitější trhy patří Čína, která se stává elektromobilovou velmocí díky tvrdým legislativním zásahům. V roce 2014 se zde prodalo 50 000 elektrických vozidel, v roce 2017 dosáhly roční prodeje hodnoty 500 000 a v roce 2020 se počítá s prodeji kolem 2,35 miliónů elektrických aut. Prodejní čísla jsou včetně plug-in hybridů, které využívají elektrický motor. V porovnání se zbylými trhy tvoří dnes Čína majoritní trh a do budoucna bude jistě udávat technologický směr celého odvětví. Příklad projekce celosvětové produkce elektromobilů ukazují grafy od společnosti CAIRN Energy Research Advisors. [30]



Graf 3 Projekce celosvětové produkce elektromobilů [30]

Z projekčních grafů je patrné, že se počítá v ostatních částech světa (mimo Čínu) s větším rozšířením elektromobilů až po roce 2020. V EU je stěžejní právě rok 2020, kdy začnou platit tvrdé legislativní postihy za nesplnění CO₂ limitů. Celkově by se dalo konstatovat, že automobilky vyčkávají s výrobou elektrických vozidel, a to hlavně z důvodu vysokých jednicových nákladů na 1 kWh baterie. Pro názornost podílu ceny baterie na voze uvádím příklad na WV e-Golf, který disponuje baterií o kapacitě 36 kWh. Při ceně 420 USD/kWh by pouze baterie stála bezmála 350 000 Kč. To je přibližně základní cena vozu nižší třídy (WV Polo. Celková roční produkce všech osobních aut se dnes udává přibližně 90 miliónů vozidel. Při sečtení všech trhů s elektromobily dosáhneme v roce 2025 hodnoty 10 miliónů elektromobilů. Z toho vyplývá, že 11 % ze světového trhu s novými osobními auty by mohly v roce 2025 tvořit elektromobily.

Na evropském trhu je v nynější době výběr z přibližně 15 modelů plně elektrických vozidel s kapacitou baterií od 17,6 kWh (Smart EQ) do 100 kWh (Tesla S 100D). Všechna tato vozidla využívají lithiové akumulátory, které patří mezi nejdražší položky celého vozidla. Ceny na českém trhu začínají na 568 899 Kč vč. DPH. Do roku 2020 se na evropském trhu počet nabízených modelů zdvojnásobí.

Celkové prodeje elektrických vozidel v Evropě od roku 2016 do polovinu roku 2018 ukazuje přehledná tabulka. Hodnoty prodeje jsou z The Electric vehicle world sales database, ceny a kapacity baterií jsou převzaty z oficiálních portálů jednotlivých značek. Pouze u modelů Tesla a StreetScooter Work neexistuje oficiální české zastoupení. Cena StreetScooter je převzata z prodejního portálu Alza.cz a ceny modelů Tesla z německého zastoupení značky.

Název modelu	2016	2017	2018					SUMA
			Q1	Q2	Q1+Q2	Cena	[kWh]	
Renault ZOE EV	21 619	31 370	9 458	8 622	18 080	829 900 Kč	41	71 069
Nissan Leaf EV	18 876	17 683	7 696	9 698	17 394	926 000 Kč	40	53 953
BMW i3 EV	15 091	20 957	5 771	5 577	11 348	1 049 100 Kč	33	47 396
Tesla Model S	12 506	15 542	6 032	3 788	9 820	3 575 107 Kč	100	37 868
VW e-Golf EV	6 680	12 947	3 144	4 556	7 700	981 900 Kč	36	27 327
Tesla Model X	3 697	12 655	2 370	3 309	5 679	3 049 078 Kč	90	22 031
Kia Soul EV	4 420	5 614	2 787	1 824	4 611	869 980 Kč	27	14 645
Hyundai Ioniq Electric EV	1 135	6 131	2 461	2 050	4 511	899 990 Kč	28	11 777
Renault Kangoo EV	3 728	3 981	1 842	1 688	3 530	699 900 Kč	33	11 239
Smart Fortwo EV	315	5 190	1 701	1 705	3 406	470 165 Kč	18	8 911
StreetScooter Work EV	1 803	4 092	317	1 633	1 950	1 359 359 Kč	20	7 845

Tabulka 7 Prodeje vybraných elektromobilů v Evropě za rok 2016, 2017, 2018 [31]

Z dostupných dat tabulky je patrný nárůst prodeje elektromobilů. V číslech se neobjevují žádné čínské elektromobily, které se do Evropy zatím oficiálně nedováží. Nynější průměrná vážená cena za jeden vůz je 1 338 134 Kč při kapacitě baterií 43 kWh. Z toho je patrná vysoká ekonomická nevýhodnost v porovnání s konvenčními osobními auty.

Většina vyspělých států podporuje nákup elektromobilu pomocí dotací nebo různých daňových zvýhodnění. Například v sousedním Německu se přímá dotace na nákup pohybuje v přepočtu mezi 75 000 až 100 000 Kč, v Číně majitelé elektromobilů neplatí registrační a spotřební daň (přibližná úspora činí 132-200 tisíc Kč) a v Norsku je elektromobil osvobozený z vysoké daně při koupi (lze ušetřit až 300 tisíc Kč). Přímým příkladem může být porovnání aktuální (únor 2019) pořizovací ceny VW golf a VW e-golf ve výše zmiňovaném Norsku. Dle oficiálních stránek VW je základní cena konvenčního benzínového golfu s automatickou převodovkou 342 600 NOK (914 000 Kč). Elektrický e-golf je osvobozený od vysoké daně, a tak z tohoto důvodu startuje jeho cena na 335 400 NOK (895 000 Kč). V České republice existuje pouze dotační program pro podnikatele a veřejnou správu. Jedná se například o dotační programy Nízkouhlíkové technologie od MPO a Národní program od MŽP. [25] [32]

3.2.1 Prodeje elektromobilů v ČR

V České republice zatím neexistuje rozsáhlejší podpora elektromobilů. Nicméně již dle směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší se musí vláda ČR zabývat rozvojem nízkoemisních vozidel a dle směrnice 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva i jejich potřebnou infrastrukturu. Z důvodu vysokých pořizovacích nákladů bude vláda donucena podporovat nízkoemisní vozidla, včetně elektromobilů. Dle MPO by se v blízké době měla zavést speciální registrační značka pro elektromobily, za kterou se nebude platit a

kteřá bude mít plošné bezplatné parkování ve větších městech. Také se počítá s pokračováním dotačních programů pro podnikatele a municipality. S dotační podporou koncových zákazníků počítá Operační program doprava pro roky 2021 až 2027, nicméně dle aktuální Vlády ČR (2019) se žádný program pro koncové zákazníky otevírat nebude. [25]

Celkový počet prodaných elektromobilů s baterií v ČR ve srovnání s ostatními zeměmi Evropy ukazuje tabulka. Data jsou z ACEA – European Automobile Manufacturers Association.

Rok	Česko	Slovensko	Německo	Rakousko	Celkem Evropa
2016	200	59	11 410	3 826	90 113
2017	387	209	25 056	5 433	135 369
2018	703	293	36 216	6 764	201 284

Tabulka 8 Prodeje elektromobilů v zemích EU [33]

V porovnání s vyspělými státy jsou prodeje elektromobilů v ČR zanedbatelné. Například v roce 2018 se na českém trhu prodalo pouze 703 vozidel, což odpovídá přibližně 0,34 % všech prodaných elektromobilů v Evropě. Dle osloveného prodejce vozů Renault se elektromobily téměř neprodávají. V ČR se nachází přibližně 60 dealerství této značky, přičemž pouze čtyři nabízejí přímý prodej elektromobilů. Oslovený prodejce prozradil, že jeho velké dealerství v centru Prahy prodalo za rok 2017 okolo 10 elektromobilů značky Renault. Také upozornil na značné problémy se servisním zázemím těchto vozů. [34]

3.2.2 Predikce elektromobility v ČR

Masivní rozvoj elektromobility je plánován od roku 2020 do roku 2025. Všechny velké evropské automobilky představí nové plně elektrické modely. Například Volkswagen Group plánuje představit do roku 2025 více než 50 čistě elektrických modelů, přičemž jejich prodejnost odhaduje kolem 3 miliónů ročně. Další evropská automobilka BMW by chtěla do roku 2025 prodávat 15 až 25 % všech svých automobilů čistě na elektrických pohon. Japonské automobilky (Toyota, Honda, Lexus) vidí více smysl v plug-in hybridech. Plug-in hybridy se zprvu jeví jako řešení přísných emisních limitů, ale dnes dle nové metodiky měření WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) je zřejmé, že ani ty do budoucna nebudou schopny dosáhnout požadovaných hodnot CO₂. [35]

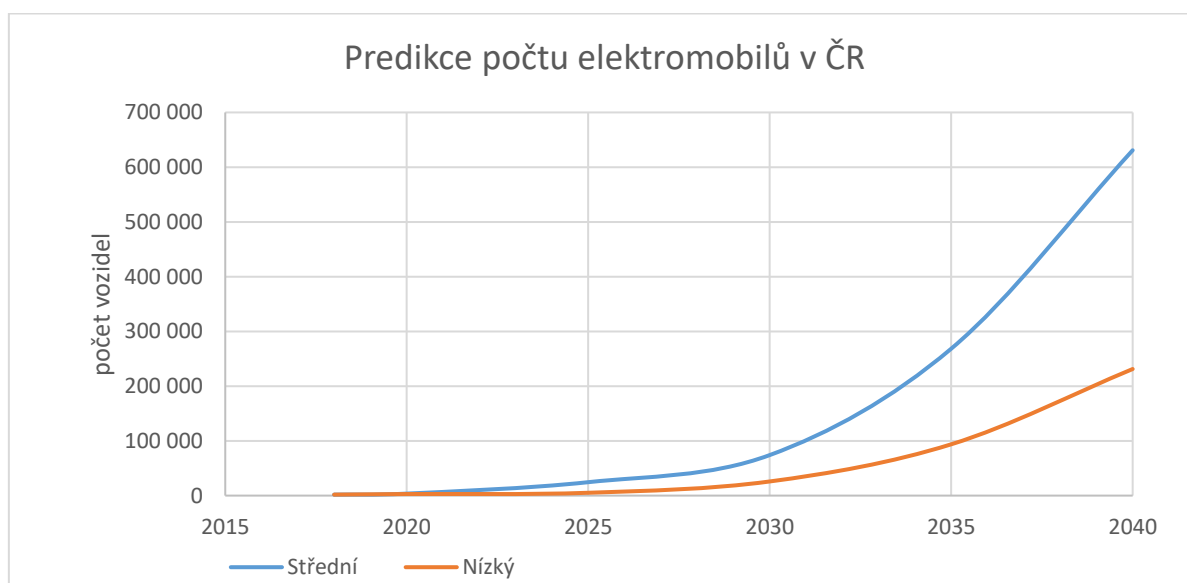
Samotnou predikci počtu elektrických aut jsem převzal z Dílčí studie pro pracovní tým A25 – Predikce vývoje elektromobility v ČR zpracovanou pro MPO a energetické firmy. Tato predikce byla vypočítána na základě odhadnutého tržního podílu elektrických aut na nově

prodaných a dovezených ojetých autech, snížený o předpokládaný počet vyřazených elektrických aut po jejich technické životnosti.

	Ukazatel	2018	2020	2025	2030	2035	2040
Střední	[%]	0,18 %	0,35 %	2,30 %	3,00 %	12,50 %	22,00 %
	[vozidel]	1 823	3 660	24 519	74 022	268 338	630 902
Nízký	[%]	0,18 %	0,18 %	0,35 %	2,30 %	4,24 %	6,00 %
	[vozidel]	1 823	2 856	5 159	25 811	93 716	231 245

Tabulka 9 Predikce počtu čistě elektrických vozidel v ČR [35]

Tabulka ukazuje tržní podíl pouze BEV (battery electric vehicle) a jejich předpokládaná absolutní čísla. Do úvahy se mezi odbornou veřejností bere spíše nízký a střední scénář. Z tohoto důvodu vysoký scénář, který pracuje v roce 2040 s dvěma milióny plně elektrických vozidel, neuvádím.



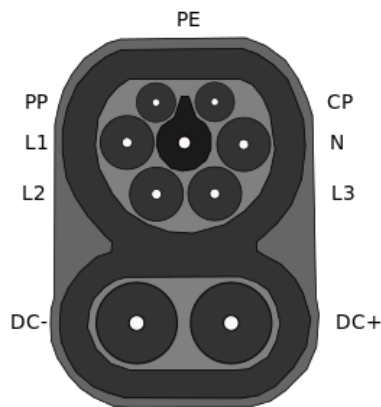
Graf 4 Predikce počtu elektromobilů v ČR [35]

Z grafu je patrný značný nárůst v obou scénářích až po roce 2030. Může to být způsobeno specifickým trhem ČR, kde přibližně 3/4 všech prodaných aut v daném roce jsou ojetiny. Pouze čtvrtinu aut (cca 250 000) si čeští zákazníci kupují nová přímo od dealerství. Proto lze předpokládat, že mezi koncovými zákazníky v ČR se výrazněji zvýší počet elektromobilů později než v ostatních státech EU.

Velkou roli zde může sehrát domácí automobilka ŠKODA, která má velmi vysoký vliv na celkové prodeje automobilů v ČR. Mezi novými i ojetými vozidly má v obou případech tržní podíl přes 25 %. V případě jejího angažování v trhu s ojetými elektromobily by se mohla tato vozidla rozšiřovat mnohem rychleji. Automobilka by ale musela zajistit ekonomickou výměnu baterií ve vozidle.

3.3 Systém dobíjecích stanic

Jeden ze základních předpokladů pro masivní rozvoj elektromobility je dostatečně dimenzovaná infrastruktura dobíjecích stanic. Evropská unie si to uvědomuje, a proto přijala směrnici 2014/94/EU o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Základní tezí je, aby každý členský stát přijmul vnitrostátní rámec politiky pro rozvoj alternativních paliv, včetně elektromobility. Výchozí rok byl stanoven na 2020, kdy každý členský stát zajistí přiměřený počet veřejně přístupných dobíjecích stanic. Dále od roku 2017 musí mít všechny nové dobíjecí stanice v EU jednotný konektor viz. obrázek.



Obrázek 9 Zásuvka ČSN EN 62196-3

Tento konektor má univerzální použití jak pro stejnosměrné nabíjení, tak i pro střídavé. Vrchní část je určena pro AC, přičemž umožňuje výkon až 43 kW (400 V, 63 A). Spodní část poskytuje DC připojení o přípustném výkonu až 170 kW. [35]

3.3.1 Dobíjecí stanice a legislativa ČR

Na základě požadavků EU vznikl na půdě Vlády ČR dokument Národní akční plán čisté mobility, kde se stanovují základní cíle elektromobility, včetně počtu dobíjecích stanic. Pro rok 2020 byla tímto dokumentem doporučena hodnota 1300 veřejně dostupných dobíjecích stanic. Dle dílčí studie NAP SG A25 pro MPO je dle dostupných informací k lednu 2018 přibližně 220 těchto stanic. Většinu z nich (přibližně 140) provozují velké energetické skupiny (ČEZ, E.ON, PRE) jako rychlonabíjecí stanice na stejnosměrný proud s výkonem nad 22 kW. Ostatní stanice využívají střídavý proud 16 nebo 32 A při 400 V. Pro lepší představu přidávám počet veřejných benzínových stanic, kterých se nachází v ČR cca 4000. Při přepočtu aktuálních dat na jednotku připadá 1375 aut na benzínovou pumpu a 9 aut na dobíjecí stanici.

Z důvodu implementace směrnice EU se musel mimo jiné novelizovat zákon číslo 311/2006 Sb., o pohonných hmotách. Ten nyní přesně definuje pojmy v oblasti

elektromobility, jako jsou například běžná a veřejná dobíjecí stanice. Ve zkratce běžná dobíjecí stanice je definována jako stanice, která umožňuje přenos elektřiny do elektrického vozidla s výkonem od 3,7 kW do 22 kW. Stanice s nižším výkonem než 3,7 kW se zařazují do skupiny nabíjecích stanic v domácnosti a s vyšším výkonem než 22 kW do skupiny vysoce výkonných dobíjecích stanic.

Další důležitý zákon v oblasti rozvoje infrastruktury dobíjecích stanic bude zákon vycházející ze směrnice 2018/844 o energetické náročnosti budov. Tato směrnice není doposud (2018) implementována do legislativy ČR, nicméně se očekává její brzké přijetí, nejpozději v roce 2020. Tato směrnice nařizuje všem novým a značně rekonstruovaným budovám s více než deseti parkovacími místy připravit nebo umístit dobíjecí stanice. Pro nebytové objekty bude povinnost instalovat jednu dobíjecí stanici a připravit pro každé páte místo kabelovody. Bytové komplexy nemusí přímo instalovat dobíjecí stanici, ale musí připravit kabelovody pro každé parkovací místo. Členské státy mohou udělovat výjimky do roku 2021.

3.3.2 Kategorie dobíjecích stanic

Úlohou provozovatelů distribučních soustav (PDS) je připojit odběrové místo (nabíjecí stanici) a zajistit spolehlivou a bezpečnou dodávku elektrické energie. V případě třífázových nabíječek s malým výkonem (3,7 kW) není veliký problém. Naopak při připojování rychlo-nabíjecích stanic s vyšším výkonem (například Tesla Supercharger 120 kW), může dojít k problémům z důvodu nedostatečné kapacity sítě. Proto byla upravena Pravidla provozování distribučních soustav, převážně příloha 6 Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě. Dle tohoto dokumentu a zákona číslo 311/2006 Sb., se nabíjecí stanice dělí do tří skupin:

Typ	DoS1	DoS2	DoS3
Výkon [kW]	0 - 3,7	3,7 - 22	< 22
Ohlašovací povinnost	NE	ANO	ANO
Průběhové měření	NE	ANO	ANO
Komunikační kanál s PDS pro sledování	NE	ANO	ANO
Komunikační kanál s PDS pro řízení	NE	NE	ANO

Tabulka 10 Přehled typů dobíjecích stanic

Kategorie DoS2 a DoS3 s vyšším výkonem než 3,7 kW musí před připojením do distribuční soustavy uzavřít smlouvu o připojení, která mimo jiné stanovuje velikost rezervovaného výkonu, limity zpětných vlivů na DS a zajištění komunikace dle specifikace provozovatele distribuční soustavy.

Dalším krokem v integraci dobíjecích stanic vyšších výkonů bude zajistit řízení odběrného místa, a tím řídit nabíjení elektromobilů dle požadavků distribuční sítě. Touto problematikou se zabývá Národní akční plán smart grid, kde se nachází bod A 25 Integrace elektromobilů do distribuční sítě. Příkladem projektu integrace může být pilotní projekt dobíjecí stanice pražské energetické společnosti PRE. Tato stanice využívá Li-ion baterie o kapacitě 86 kWh, aby zamezovala nechtěným špičkovým odběrům v energetické síti, a tím napomáhala k celkové stabilitě sítě ve městě. Na střeše stanice se nachází malá FVE, která veškerou svou energii ukládá právě do baterií. Stanice umožňuje DC nabíjení o výkonu 50 kW a AC nabíjení o výkonu 2x22 kW.

Možnosti tarifů veřejných dobíjecích stanic

Jelikož elektromobilita se začala rozšiřovat teprve nedávno, nelze dnes (2019) jednoznačně říct, jaký platební tarif za využití veřejné dobíjecí stanice je nejvhodnější. Provozovatelé vybírají většinou ze tří základních možností a jejich vzájemných kombinací. Nejjednodušší možnost je fixní cena za odebranou energii v Kč/kWh, která ale neakceptuje to, že ne všechna elektrická auta mají stejný nabíjecí výkon. Jako lepší možnost se proto jeví fixní cena za čas připojení k nabíječe v Kč/min. Tento způsob nebude ekonomicky ztrátový v případě obsazení rychlonabíječky nevhodným elektroautem a zároveň uživatel je finančně motivován k rychlému opuštění stanice po potřebném nabití. Tento způsob se jeví jako nejpraktičtější, proto ho využívám i ve svém výpočetním modelu. Poslední způsob je fixní platba, například za jeden rok, která následně umožňuje neomezené využívání všech dobíjecích stanic daného provozovatele.

Přehled cen nabíjení pro koncové zákazníky u různých společností ukazuje tabulka:

Stát	Společnost	Výkon [kW]	Typ [AC/DC]	Registrace [Kč/rok]	Cena [Kč/kWh]	Cena [Kč/min]
ČR	PRE	22	AC	145,20	3,03	0,24*
ČR	EnBW	50	DC	-	-	12,81
ČR	ČEZ	22	AC	-	-	1,80
ČR	ČEZ	22 ; 50	AC ; DC	6 426,00	-	-
D	Innogy	22	AC	-	9,75	0,33
D	GP Joule	50	DC	-	-	10,90
A	Swarco	50	DC	-	-	13,10
A	Energie B.	22	AC	-	-	5,58

Tabulka 11 Přehled cen nabíjení [36];

*platba pouze od 120 minut

Tabulka zobrazuje ceny v České republice, Německu a Rakousku, přičemž většina z nich pochází z portálu plugsurfing.com. Ceny u PRE a ČEZ jsou převzaty z jejich oficiálních ceníků.

3.3.3 Predikce dobíjecích stanic v ČR

V České republice je k roku 2018 přibližně 220 dobíjecích stanic. V rámci splnění požadavků směrnice 2014/94/EU musí ČR zajistit infrastrukturu alespoň na síti TEN-T (transevropská dopravní síť = dálnice + velká města) do roku 2020. Proto Vláda ČR v rámci svých dotačních programů podporuje výstavbu nových veřejně dostupných dobíjecích stanic, ve kterých lze získat až 70 % ze způsobilých výdajů zpět. Také velké firmy v rámci svých PR a CSR oddělení investují do ekologických nabíjecích stanic z důvodu lepšího jména společnosti. Například společnosti E.ON ve spolupráci s konsorciem NEXT-E plánuje postavit do konce roku 2020 deset rychlonabíjecích a čtyři ultrarychlé nabíjecí stanice na území ČR. [35] [37]

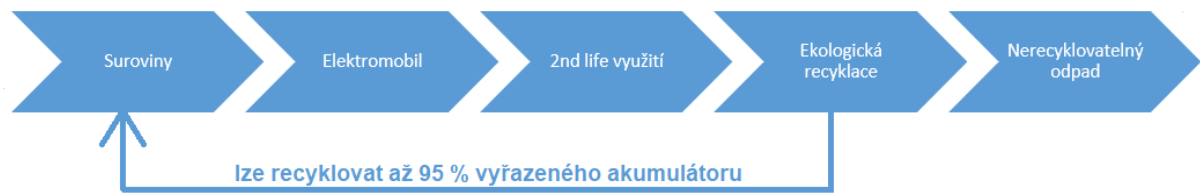
Predikce dobíjecích stanic je převzata z Dílčí studie pro pracovní tým A25 – Predikce vývoje elektromobility v ČR zpracovanou pro MPO a energetické firmy. Predikce vychází z podkladů operačního programu Doprava a veřejně dostupných prohlášení velkých firem ohledně budování dobíjecích stanic. Jako výchozí stav používá evidenci MPO, kde se k 26. 6. 2018 uvádí 131 veřejných dobíjecích stanic.

	Výkon [kW]	2020	2025	2030	2035	2040
Nízký	< 11	35	95	2 388	6 882	13 411
	12–49	70	208	2 227	5 201	11 155
	50–120	35	109	1 044	2 496	5 895
	> 120	0	24	758	2 189	4 152
	celkem	140	436	6 417	16 768	34 613
Střední	< 11	77	839	6 788	17 494	34 026
	12–49	159	1 456	6 354	13 165	24 698
	50–120	80	726	2 551	6 196	12 275
	> 120	23	548	2 011	4 165	9 556
	celkem	339	3 569	17 704	41 020	80 555

Tabulka 12 Predikce počtu veřejně dostupných dobíjecích stanic [35]

Tabulka ukazuje predikovaný počet veřejně dostupných dobíjecích stanic pro osobní elektromobily podle velikosti instalovaného výkonu. Vysoký scénář dle oslovených expertů z daného oboru není v tabulce uveden z důvodu nízké pravděpodobnosti.

3.4 Životní cyklus akumulátoru



Obrázek 10 Blokové schéma životního cyklu akumulátoru v EV [38]

Akumulátor elektromobilu patří mezi nejdůležitější komponenty celého elektromobilu. Převážně on rozhoduje o nejdůležitějších parametrech vozu, mezi které řadíme celkový dojezd na jedno nabití a konečnou cenu vozu. V dnešních eklektických autech se převážně využívají lithiové akumulátory s různými příměsí těžkých kovů (Co, Cd, Ni, Zn...).

Začátek životního cyklu začíná v dolech těžbou lithia a těžkých kovů. Největší naleziště samotného lithia se nachází v Austrálii a Chile, kobaltu v Demokratické republice Kongo a manganu v Číně a v jižní Africe. Je důležité zmínit, že ne vždy se se během těžby těchto prvků hledí na ekologii a lidská práva. Jako příklad může být využívání dětské práce při těžbě kobaltu v Kongu [39]. Pro názornost použitého množství jednotlivých vstupních materiálů a jejich cenách přidávám tabulku akumulátoru použitého v Chevrolet Bolt: [40]

Material	Percent of battery cell mass	Cost per ton
Aluminum	16%	\$1,600
Graphite	14%	\$10,000
Steel	13%	\$600
Iron	9%	\$74
Copper	8%	\$6,348
Cobalt	6%	\$27,000
Nickel	6%	\$10,000
Manganese	5%	\$1,700
Polyester	3%	N/A
Lithium	2%	\$15,000
Other	18%	N/A

Tabulka 13 Zastoupení vstupních materiálů akumulátoru a jejich ceny [40]

S ohledem na potřebné množství suroviny je jednoznačně nejdražší kobalt s cenou 27 000 USD za tunu, následně grafit s cenou 10 000 USD za tunu a nikl s jednotkovou cenou 10 000 USD. Jedna tuna lithia sice stojí 15 000 USD, nicméně v akumulátoru má velmi nízké

procentuální zastoupení. Nejvíce se spotřebuje hliníku, jehož cena je daleko nižší než u výše zmíněných materiálů.

Samotná výroba článků akumulátoru probíhá dnes (2019) hlavně v Číně, USA, Koreji a Japonsku. Jedná se například o firmy A123 System, Samsung, LG, Panasonic a Tesla. Posledně zmíněná Tesla vyrábí své baterie v USA a plánuje v roce 2019 vyrobit přes 35 GWh lithiových baterií ve své výrobě Gigafactory 1. Samotná výroba jednotlivých baterií není obsahem této práce.

Následně se vyrobené baterie využívají v různých elektrických zařízeních po celém světě. Jedno z největších využití se nachází právě v oblasti elektromobility a plug-in hybridech. Pro představu, kolik baterií potřebujeme pouze v EU pro splnění limitů CO₂, uvádím následující úvahu. Za rok 2017 byla průměrná hodnota emisí nového auta dle JATO Dynamic 118 gramů CO₂ na ujetý kilometr nového auta. Celkově se prodalo cca 15,6 miliónů vozů. Podle výše zmíněného nařízení EU č. 443/2009 se má v roce 2020 snížit produkce na 95 g CO₂/km. Z toho vyplývá, že přibližně každé páté prodané auto by mělo být na elektřinu. Jestliže stanovíme průběrnou kapacitu baterií na 43 kWh, dostaneme se na hodnotu 129 GWh v bateriích pouze pro elektromobilu v EU. [41]

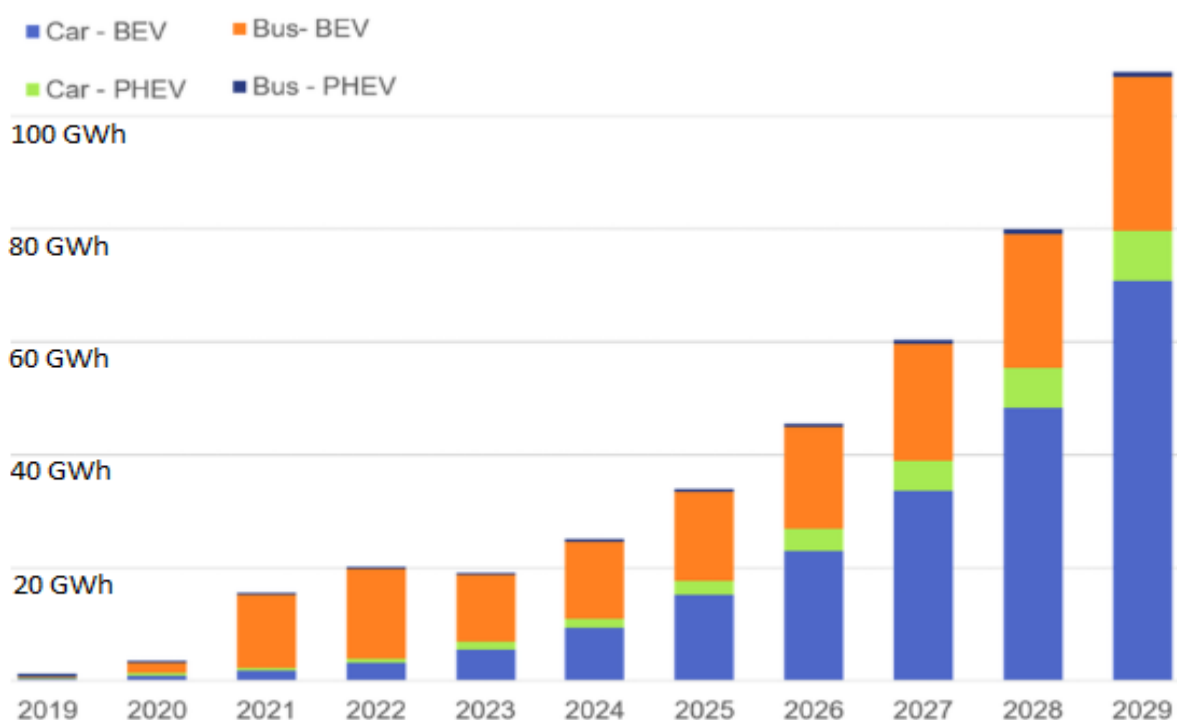
Na základě výše uvedené úvahy je zřejmé, že většina nových lithiových akumulátorů bude použita v elektromobilech. V samotném elektrickém vozidle se potenciál článků ale nevyužije na 100 %. To je způsobeno hlavně degradací kapacity a s ní přímo závislým snižováním dojezdu vozu. Snižovaný rádius dojezdu snižuje celkový komfort provozovatele elektrického auta. Proto je potřeba po určitém počtu cyklů nebo stáří vyměnit fungující akumulátor za nový. Již samotní výrobci omezují elektronicky používání akumulátoru tak, aby k degradaci kapacity došlo co nejpozději. Nejčastěji snižují použitelnou kapacitu akumulátoru, aby nikdy nedošlo k úplnému vybití (Nissan Leaf 40 kWh – použitelná 38 kWh). Druhotné využití baterií popisuje další podkapitola 2.4.1. [19] [31]

Recyklace lithiových akumulátorů je technologicky a energeticky velmi náročná. Vždy záleží na přesném složení baterie, ale lze konstatovat, že se nyní (2019) recyklace ekonomicky vyplatí pouze při zpracování velkého množství baterií (hlavně kvůli velké počáteční investici). Lithiové akumulátory se nemohou ani provizorně skladovat na obyčejných venkovních skládkách, protože by se po čase mohly uvolnit vysoce toxické látky nebo by mohly explodovat. V případě recyklace se nejvíce zaměřujeme na separaci kobaltu a niklu, které jsou ekonomicky nejatraktivnější. Cena lithia se sice pohybuje kolem 15 000 USD za tunu, ale

akumulátor obsahuje přibližně jen 2 % tohoto prvku, který se těžko separuje. Příklady technologických postupů recyklace mohou být hydrometalurgie a pyrometalurgie. [42] [40]

3.4.1 Druhotné využití akumulátorů

Jak již bylo zmíněno výše, akumulátory v elektromobilech je praktické vyměnit ještě před ukončením jejich životnosti. Společnost IDTechEx ve svých analýzách uvádí, že vyřazený akumulátor z elektromobilu bude stále mít přibližně 70 až 80 % své původní kapacity. Díky tomu vzniká velký potenciál napříč energetikou, kde by se mohlo velké množství těchto baterií využít. Pro představu ročního množství kapacity ve vyřazených bateriích uvádím graf od společnosti IDTechEX: [43]



Graf 5 Roční kapacita akumulátorů pro 2nd life [43]

Graf ukazuje celosvětové roční množství akumulátorů, které budou k dispozici pro 2nd life využití. Časová životnost akumulátorů v elektromobilu se odhaduje na 5 až 10 let dle individuálního používání. Z tohoto důvodu se množství z plně elektrických osobních aut (BEV) zvyšuje až po roce 2025, kdy roční kapacita dosáhne 17 GWh. V roce 2029 se již očekává roční kapacita z BEV kolem 70 GWh. V grafu jsou také zobrazeny příspěvky akumulátorů z plug-in hybridů (PHEV) a autobusů.

3.4.1.1 Akumulátory v elektrizační soustavě

Dnešní legislativa (2019) není plně připravena na implementaci velkých bateriových úložišť do elektrizační soustavy. Během roku 2019 by měl přijít v platnost nový Kodex

přenosové soustavy, kde se legislativně umožní využití bateriových úložišť ve formě spolupráce s jiným zdrojem (například s teplárnou). Nicméně se již dnes na území ČR nachází dvě bateriová úložiště a další se plánují zatím jen pro účely vyrovnaní energetické bilance provozovatele. Kdyby bylo pro instalaci těchto úložišť využito akumulátorů z elektromobilů, investiční náklady na baterie by klesly orientačně o polovinu, ale využitelnost by byla stejná.

Společnost Solar Global spustila první bateriové úložiště v České republice na konci roku 2017. Dosažitelná kapacita se pohybuje kolem 1,2 MWh. Celý systém je uložen v jednom kontejneru s lithiovými bateriemi od společnosti Alfen a umístěn v poli fotovoltaických elektráren nedaleko Uherského Hradiště. Celková cena dosáhla 20 milionů korun (přibližně 750 USD/kWh) a byla spolufinancovaná evropskými fondy. V případě úspěšného provozu a upravené legislativy firma plánuje v roce 2019 instalovat na Olomoucku další bateriový systém o kapacitě 10 MWh. [44]

Na začátku roku 2018 společnost E.ON uvedla do zkušebního provozu druhé bateriové úložiště v ČR. Umístěné je v Mydlovarech (České Budějovice) a dosahuje kapacity 1,75 MWh. Celková výše investice se vyšplhala na 24 milionů korun (přibližně 600 USD/kWh) a dodavatelem byla společnost Siemens. [45]

3.4.1.2 Akumulátory v průmyslu

Téměř každá větší firma potřebuje dnes datové centrum. Na těchto zařízeních ukládá veškerá svá důležitá data. Z tohoto důvodu je nutné zajistit stálou a bezpečnou dodávku elektrické energie, ideálně částečně nezávislou na veřejné elektrizační síti. Další větší potřeba akumulátorů průmyslového podniku je v případě instalace FVE. Dnešní legislativa (2019) již nepodporuje výkup energie z větších FVE zdrojů, ale dotuje výstavbu FVE pro účely vlastní spotřeby. Pro efektivní využití energie vyrobené FVE musí vlastník instalovat i velký akumulátor, aby se mohl zdroj jako celek řídit dle spotřeby energie podniku.

Příklad v ČR dostupné baterie pro účely FVE může být BMZ ESS X Li-Ion 48 V 186 Ah 10 kWh, které lze propojit až do celku s kapacitou 100 kWh. Samotné články obsahují sloučeninu LiNiMnCo. Z tohoto důvodu by nové akumulátory ve FVE systémech mohly být nahrazeny použitými z elektromobilů. Dnešní cena (únor 2019) se dle portálu neosolar.cz pohybuje kolem 120 000 Kč bez DPH (535 USD/kWh) za akumulátory s vestavěným monitoringem a ochranami bez potřebných měničů napětí.

Z důvodu rozšíření elektromobility lze předpokládat zařazení elektrických vozidel do firemních flotil. Podniky proto budou muset zajistit dostatečný počet dobíjecích stanic, ideálně

s vysokým výkonem pro rychlé dobití. Tyto stanice zatěžují veřejnou energetickou síť velkými a náhlými odběry, obzvláště v městských kancelářských komplexech, neboť na ně není dimenzována. Dle přílohy číslo 6 Pravidel provozování distribučních soustav platné k roku 2019 je maximální přípustný výkon dobíjecí stanice 11 kW na napěťové hladině 400 V. V případě využití bateriového úložiště pro potřeby dobíjecí stanice by se výkon mohl zvýšit bez ohledu na distribuční síť. Úložiště by se nevyužívalo jako primární zdroj, ale spíše by sloužilo jako regulační prvek řízený počítačem pro zamezení velkých náhlých odběrů a řízení odběrného místa jako celku.

3.4.1.3 Další využití akumulátorů

Lithiové akumulátory mají dnes obrovský potenciál. Uplatnění naleznou téměř v každém odvětví. Ve většině případů použití není rozhodující samotná fyzická velikost akumulátorů. Tudíž lze využívat použité akumulátory z elektrických vozidel, kde naopak hmotnost a velikost akumulátoru jsou podstatným parametrem. Další příklady využití mohou být akumulátory pro domácnosti (Home storage system), pro veřejné rychlonabíjecí stanice, jako hlavní záložní zdroj v důležitých institucích místo diesel agregátů atd.

4 Poskytování regulační energie v ČR

V elektroenergetické soustavě nedokážeme akumulovat větší množství elektrické energie. Z tohoto důvodu musí tato soustava neustále pracovat s vyrovnanou výkonovou bilancí (aktuální spotřeba se rovná aktuální výrobě). Česká soustava zatím pracuje s hodinovým obchodním intervalem elektrické energie. Na každou hodinu operátor trhu s elektrickou energií OTE nasmlouvá s dalšími subjekty trhu s elektrickou energií všechny dodávky a odběry ze soustavy. V případě nedodržení smluv, například z důvodu nečekaného výpadku elektrického zdroje, vzniká v daném okamžiku výkonová odchylka. Aby byla zachována kvalita a stabilita soustavy, musí se tato odchylka ihned vyrovnat pomocí regulační energie. Toto vyrovnání zajišťuje pouze provozovatel přenosové soustavy ČEPS. V případě malé odchylky (v řádu jednotek MW) zasáhne automaticky řízený systém, ale v případě velké odchylky musí zasáhnout přímo operátor na dispečinku ČEPSu. Celková odchylka za celou obchodní hodinu se nazývá systémová odchylka a její velikost a finanční ohodnocení určuje OTE. [46]

4.1 Zdroje regulační energie

Regulační energii může nabízet jakýkoliv subjekt trhu s elektrickou energií, který splní požadavky ČEPSu podrobně popsané v Kodexu přenosové soustavy. Naopak jediná protistrana nabízené regulační energie je společnost ČEPS. Ta jediná má v ČR právo a povinnost řídit elektrizační soustavu, mimo jiné pomocí regulační energie. Udržování výkonové rovnováhy v reálném čase spadá pod tzv. systémové služby (SyS). Mezi další SyS patří udržování kvality elektřiny (velikost frekvence, napětí), obnovení provozu a dispečerské řízení.

Nejčastěji se regulační energie získává pomocí podpůrných služeb, ale lze ji získat i na vyrovnávacím trhu s elektrickou energií organizovaným OTE nebo ze zahraničí.

4.1.1 Podpůrné služby

Podpůrné služby (PpS) jsou prostředky pro zajištění systémových služeb (SyS). Jsou definovány jako činnosti fyzických nebo právnických osob pro zajištění provozování elektrizační soustavy a pro zajištění kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny. Pomocí PpS je možno korigovat rozdíly mezi odběrem a výrobou, a to změnami spotřeby či výkonů výroby. [47]

V prvním kvartálu roku 2019 dojde k velké změně názvů jednotlivých podpůrných služeb. V rámci propojené evropské elektrizační soustavy ENTSO-E dochází k postupnému slučování trhů s elektrickou energií označovaný jako Market coupling. Z tohoto důvodu musí být názvy a parametry jednotlivých produktů trhu postupně unifikovány. Od roku 2014 existuje jednotný denní trh s elektrickou energií pro ČR, SK, HU, RO zvaný 4M MC. V následujících letech lze předpokládat další integraci jednotlivých trhů s elektrickou energií včetně trhů s regulační energií. Nicméně lze očekávat nemalé problémy s nedostatečnou přeshraniční kapacitou některých států a dlouhou diskusí ohledně zajištění stability velké soustavy pomocí centrálního dispečerského řízení.

Proces automatické regulace frekvence FCP

Proces automatické regulace frekvence FCP je lokální automatická funkce, spočívající v přesně definované změně výkonu jednotky v závislosti na odchylce frekvence od zadané hodnoty. Změnu výkonu jednotky, která je realizovaná pomocí proporcionálního regulátoru (korektoru frekvence) v závislosti na odchylce frekvence udává regulační rovnice:

$$\Delta P = -\frac{100}{S} \frac{P_n}{f_n} \Delta f, \text{ kde} \quad [2]$$

ΔP požadovaná změna výkonu bloku [MW]

P_n nominální výkon bloku [MW]

Δf odchylka frekvence od zadané hodnoty [Hz]

S statika [%]

f_n zadaná frekvence [Hz] (většinou jmenovitá hodnota 50 Hz) [48]

Rovnice 2 Výpočet změny výkonu bloku pro proces FCP [48]

FCP, dříve pojmenováno jako primární regulace frekvence, je plně automatická regulace výkonu, která zasahuje v případě výchylky frekvence v síti o 200 mHz od zadané hodnoty. Aktivace FCP musí proběhnout do 30 sekund v 100 % velikosti rezervované zálohy a do 15 sekund v 50 % velikosti zálohy. Rozsah FCR (zálohy pro automatickou regulaci frekvence) nabízený na jedné jednotce začíná na 3 MW a končí na 10 MW. [48]

Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy aFRP

Automaticky ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy aFRP, dříve pojmenovaný sekundární regulace, vychází z možnosti přímé a rychlé regulace aktuálního výkonu elektrárenského bloku. Velikost změny výkonu se určuje na základě regulátoru frekvence a salda předávaných výkonů. Minimální rychlost změny výkonu bloku je stanovena na 2 MW za minutu a samotné najetí na 100 % rezervované kapacity musí proběhnout do 10

minut. Minimální velikost aFRP+ nebo aFRP- poskytovaná na jednom bloku je 10 MW a maximální 70 MW. [48]

Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy mFRPt

Ručně ovládaný proces obnovení frekvence a výkonové rovnováhy mFRPt, dříve pojmenovaný jako minutové zálohy, je ručně řízená změna výkonu elektrárenského bloku. Tuto změnu aktivuje přímo dispečer ČEPSu. mFRPt existuje ve dvou variantách podle doby náběhu do 100 % rezervovaného výkonu: mFRP5 a mFRP15. Minimální velikost regulační zálohy mFRP5 na jedné jednotce je 30 MW. Tento výkon musí být jednotka schopna dodávat alespoň 4 hodiny. Minimální velikost mFRP15 je 10 MW a minimální doba aktivace není definována (musí být schopná dodávat po dobu dle pokynů dispečera). [48]

Proces náhrady záloh RRP

RRP je proces náhrady záloh, realizovaný poskytnutím sjednané regulační zálohy RR+ nebo RR- jednotkou do 30 minut od příkazu dispečinku ČEPS. Zálohou se rozumí požadovaná změna výkonu, kladná nebo záporná, na svorkách poskytujícího zařízení. [48]

Tato služba jako první pracuje s 15minutovým intervalem. Minimální doba aktivace je tedy 15 minut a maximální 60 minut. Dle specialisty na Sys ČEPS plánuje tuto PpS využívat od roku 2020. Používat se bude zatím pouze ve formě energie, to znamená bez platby za rezervovanou kapacitu.

Snížení výkonu SV30

Jedná se o snížení výkonu na jednotlivých blocích o předem stanovenou hodnotu nebo schopnosti úplného odstavení do časového intervalu 30 minut od pokynu dispečera. Po aktivaci je minimální garantovaná doba využití 24 hodin. Minimální velikost zálohy je 30 MW. Používá se zřídka, hlavně při nedodržení sjednaných diagramů zatížení, kdy ostatní PpS mají malé rozsahy. [46]

Sekundární regulace U/Q SRUQ

Sekundární regulace U/Q je automatická funkce využívající celý certifikovaný (smluvně dohodnutý) regulační rozsah jalového výkonu energetického zařízení pro udržení zadané velikosti napětí v pilotních uzlech ES a zároveň rozděluje vyráběný jalový výkon na jednotlivé stroje. [48]

Řídicí systém je realizován pomocí automatického regulátoru napětí. Ten je schopen zjistit potřebný jalový výkon a tuto hodnotu pak předá energetickému zařízení. Kritéria na

poskytování této služby jsou regulační rozsah Q, lokalita zdroje a disponibilita (=doba regulace při využití celkového rozsahu jalového výkonu). [46]

Schopnost ostrovního provozu OP

V případě vyhlášení stavu nouze dle vyhlášky č. 80/2010 Sb., se využívá ostrovní provoz. Energetické zařízení se automaticky odpojí od soustavy při nižší frekvenci než 49,8 Hz a vyšší frekvenci než 50,2 Hz. Zdroj musí být schopný sám regulovat změny napětí a frekvence způsobené proměnlivou zátěží. Následně musí minimálně 2 hodiny pracovat v režimu ostrovního provozu. [48]

Start ze tmy

Schopnost bloku najet na jmenovité napětí bez vnějšího zdroje elektrické energie. Tato PpS se využívá při celkovém rozpadu soustavy a je součástí plánu obnovy soustavy.

EregZ

Pod pojmem EregZ se zde rozumí přeshraniční dodávka elektřiny, uskutečněná na pokyn dispečera ČEPS (nikoliv automaticky). Lze jej tedy chápat jako speciální druh plánované zahraniční výměny. [48]

4.1.2 Trh s podpůrnými službami

Dle nového kodexu přenosové soustavy z roku 2019 se PpS dělí na Služby výkonové rovnováhy (SVR) a ostatní podpůrné služby. Do SVR patří FCP, aFRP, mFRPt a RRP a do ostatních SV30, SRUQ, OP, Start ze tmy a EregZ. Podle tohoto dělení se řídí i hlavní smluvní dohody mezi poskytovatelem PpS a společností ČEPS na Dohodu o podmínkách nákupu a poskytování služeb výkonové rovnováhy a na smlouvy o poskytování ostatních PpS. Bez podepsané dohody se poskytovatel PpS nemůže účastnit žádného výběrového řízení na PpS ani denního trhu s PpS. Dohoda obsahuje pouze obecné podmínky a technické specifikace energetického zařízení, nikoliv konkrétní množství PpS. Dále musí mít poskytovatel platný certifikát pro poskytování PpS a souhlas distributora sítě, pokud je energetické zařízení do ní vyvedené.

Provoz fiktivních a obchodních bloků

V rámci poskytování SVR lze sdružit více energetických zařízení do jednoho a na trhu s PpS vystupovat jako jeden subjekt. Pro vytvoření takového bloku je nutné podat písemnou žádost společnosti ČEPS podloženou „Studii možných konfigurací a variant fiktivního/obchodní bloku“. [48]

Fiktivní blok (FB) je soubor energetických zařízení, u kterých existuje technologická vazba a jsou vyvedeny do společné rozvodny (nejméně 22 kV). Technologická vazba znamená, že změna parametru na jednom zařízení vyvolá změnu parametrů na druhém zařízení. Příkladem může být kombinace turbogenerátorů a bateriového systému nebo hydrologická vazba mezi vodními zdroji na jedné kaskádě – Vltavská kaskáda. [48]

Obchodní blok (OB) je soubor nejvýše čtyř energetických zařízení, u kterých neexistuje technologická vazba. Nicméně obchodní blok musí být vyvedený do jedné uzlové oblasti a součet výkonů nesmí přesáhnout 250 MW. Obchodní blok může být složen z více fiktivních bloků. [48]

OB může dnes (2019) být řízen pouze přímo dispečinkem ČEPSu. FB může být i řízený jiným subjektem, ale pouze pro účely FCP.

Výběrové řízení (VŘ)

Prostřednictvím výběrového řízení společnost ČEPS zajišťuje PpS: FCP, aFRP, mFRPt, RRP a SV30. Výběrové řízení se dnes (2019) převážně vypisuje elektronicky na obchodně technickém systému MMS. Ten slouží nejen k dojednání obchodů, ale i k oboustranné komunikaci provozovatele přenosové soustavy (PPS) a ostatních účastníků trhu. Dle internetového portálu ČEPS se poslední dlouhodobé VŘ vypsal 12. 3. 2018 na následující tři roky dopředu (2019/2021). Rozhodujícím faktorem při vybírání je cena rezervovaného výkonu v Kč za rezervovaný hodinový výkon (nikoliv cena aktivace). Pomocí těchto řízení PPS nasmlouvá většinu potřebných PpS.

Samotnou cenu regulační energie určuje poskytovatel PpS v rámci přípravy provozu. Zde poskytovatel stanovuje aktuální množství nabízených PpS a cenu případné regulační energie u manuálně aktivovaných služeb. U plně automatických PpS je cena definována ve spolupráci se společností OTE a Energetickým regulačním úřadem. ČEPS má také právo již ve VŘ stanovit limitní cenu aktivované regulační energie.

Denní trh s PpS

Denní trh s PpS slouží převážně jako doplňkový trh pro obstarávání PpS. Funguje dnes v plně elektronické formě v systému MMS. PPS zde vypisuje poptávku PpS na jednotlivé hodiny nebo dny. Z dlouhodobého ekonomického hlediska je pro poskytovatele PpS tento trh nezajímavý, protože zde není stálá roční platba za rezervaci. Nicméně pro elektroenergetickou soustavu je velmi přínosný, hlavně když vypadne velký energetický zdroj. Jako příklad může být výpadek Chvaletic a Temelína dne 12. 9. 2015, kdy na denním trhu se cena rezervace

tehdejší sekundární regulace pohybovala v trojnásobku normální ceny. Společnost ČEPS se snaží dlouhodobě tento trh udržet právě pro případ nečekaných událostí. Dle portálu ceps.cz se zde ročně zobchoduje asi 10 % všech PpS v ČR. [46]

Přímá smlouva s poskytovatelem

Prostřednictvím přímé smlouvy s poskytovatelem může ČEPS nasmlouvat jakoukoliv PpS. Nejčastěji se využívá pro obstarávání služeb SRUQ, schopnosti startu ze tmy a ostrovního provozu mimo jiné z důvodu nízkého počtu poskytovatelů. U těchto PpS jsou jinak nastavená pravidla pro finanční vyrovnání. Například u schopnosti startu ze tmy poskytovatel dostává pravidelnou měsíční platbu, ale u ostrovního provozu pouze hodinovou platbu v případě aktivace služby.

4.1.3 Další zdroje regulační energie

Provozovatel energetického zařízení může využívat svého energetického potenciálu pro poskytování regulační energie také pomocí vyrovnávacího trhu nebo například spekulací na protiodchylku. Tyto možnosti ale nejsou z dlouhodobého hlediska ekonomicky stabilní. V porovnání s PpS zde úplně chybí platba za službu a je zde pouze platba za energii. Z tohoto důvodu poskytovatel nemá zajištěný trvalý příjem. Naopak výhoda spočívá ve snazším přístupu k těmto trhům bez nutnosti složitých certifikací.

Vyrovnávací trh (VT) s regulační energií

Jedná se o specifický krátkodobý trh s elektrickou energií. Nabízet zde smí jakýkoliv účastník trhu s elektrickou energií, který má podepsanou Smlouvu o přístupu na vyrovnávací trh s regulační energií. Nakupovat zde ale smí pouze ČEPS. Obchodovaný produkt je samotná energie poskytována po dobu minimálně jedné obchodní hodiny. Trh se uzavírá 30 minut před samotnou dodávkou. Tohoto faktu využívají obchodníci s elektrickou energií, kteří mají na VT poslední možnost vyrovnat svou výkonovou bilanci pro následující hodinu. Velkou výhodou tohoto trhu je, že pokud energie přispěla k vyrovnání systémové odchylky (většina případů), tak výsledná cena zaplacená poskytovateli může být vyšší než jeho nabídková cena. V posledních letech (2015/2018) se VT podílí asi z 10 % na celkové regulační energii (+ 25 250 MWh, - 34 670 MWh za rok 2018). [49]

Pro bateriové úložiště se zde nachází zajímavé využití v podobě odebírání nepotřebné energie ze sítě, to znamená nabízení záporné regulační energie. Ve většině případů byla cena regulační energie záporná (- 1 Kč za MWh), to znamená, že poskytovatel zaplatil 1 Kč za 1 MWh. Nicméně dle Roční zprávy o trhu 2018 společnosti OTE se občas v nočních a brzkých

ranních hodinách ceny energie pohybují v cenách nad 2000 Kč / MWh. Při správně navrženém time-managementu bateriového úložiště ve spolupráci například s rychlonabíjecí stanicí by nabíjení akumulátorů stanice mohlo generovat zajímavý zisk.

Protiodchylka

Pro lepší porozumění protiodchylky je potřeba vysvětlit subjekt zúčtování. Subjektem zúčtování (SZ) se označuje účastník trhu s elektrickou energií, který přímo zodpovídá za jím způsobenou systémovou odchylku a který má podepsanou Smlouvu o zúčtování odchylek s OTE. Každý účastník trhu nemusí být přímo SZ, ale musí mít zodpovědnost za odchylku smluvně na nějaký SZ převeden. Samotná protiodchylka je speciální odchylka SZ, která jde proti směru systémové odchylky dané hodiny. Cena protiodchylky se stanovuje pomocí váženého průměru cen z aktivované regulační energie nebo dle rozhodnutí ERÚ.

V případě bateriového úložiště by mělo smysl spekulovat na protiodchylku. Například v případě, že by SZ měl ve svém portfoliu více rychlonabíjecích stanic s akumulátorem, mohl by dle nasmlouvaného výkonu na obchodní hodinu a aktuální bilanční situace dodat přebytečnou energii nabitých akumulátorů do sítě. Cena kladné protiodchylky (v případě záporné systémové odchylky) se nejčastěji pohybuje v hodnotách nad 2350 Kč / MWh. [50] Obrovská výhoda této spekulace na protiodchylku spočívá ve volnosti poskytování, nicméně je potřeba si uvědomit, že v případě výsledné spekulace ve směru systémové odchylky bude poskytovatel muset zaplatit za způsobenou odchylku.

Regulační energie ze zahraničí

Díky propojené ES se sousedními státy může český provozovatel přenosové soustavy obstarávat regulační energii i v jiných zemích. Dnes (2019) se této energii využívá převážně v případě nečekané havárie nebo náhlé odstávky velkého zdroje, kdy v ČR není dostatek cenově dostupné regulační energie. Samotná dodávka záleží nejen na dostatečném množství energie v zahraničí, ale také na volné přeshraničních kapacitě.

4.2 Vliv elektromobility na elektroenergetickou síť

Základní omezující aspekt v rychlém rozšiřování elektromobility spočívá v nedostatečně dimenzované energetické infrastruktuře. Například v příměstských oblastech, kde se nyní staví převážně pasivní a nízkoenergetické domy s úspornými spotřebiči, nebyla potřeba projektovat silné vodiče ani výkonné trafostanice. Pro malou úvahu můžeme využít domácnost v příměstské oblasti velkého města. Budeme předpokládat roční spotřebu elektrické energie 5 MWh (přízemní dům kolem 100 m², vytápění a teplá voda 3 MWh, ostatní

2 MWh). Při pořízení elektrického auta pro každodenní dojíždění do práce ve městě denně najezdí majitel cca 40 kilometrů. To odpovídá přibližně 9 kWh energie. Rok má 250 pracovních dnů, z toho lze kvalifikovaně odhadnout roční spotřebu 2 250 kWh. Pokud se připočítají další výlety s autem, cesty na nákupy apod., lze konstatovat, že se spotřeba elektrické energie v domě zvýší přibližně o 50 %. V případě pořízení dvou elektrických vozidel do společné domácnosti (rok 2017 asi 1/5 domácností) by spotřeba elektřiny stoupla dvojnásobně. Samozřejmě úvaha pracuje s nabíjením pouze doma, nikoliv na veřejných stanicích nebo v místě práce. Tento nárůst spotřeby dokážeme velice snadno pokrýt pomocí nových trafostanic a nových energetických zdrojů, nicméně jedná se o velice drahé investice, které ve výsledku musí zaplatit všichni prostřednictvím plateb za elektrickou energii.

V kapitole Predikce dobíjecích stanic jsou uvedeny dva scénáře vývoje počtu dobíjecích stanic. Pro doplnění uvádím očekávané výkonové dopady ve vybraných správních obvodech v ČR, opět pouze pro nízký a střední scénář z dílčí studie NAPS SG A25:

Správní obvod	Nízký scénář					Střední scénář				
	2020	2025	2030	2035	2040	2020	2025	2030	2035	2040
	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
Brno	0,9	2,8	9,3	24,5	45,4	2,0	11,2	24,3	53,1	101,5
České Budějovice	0,3	1,1	3,3	9,1	19,2	0,8	4,1	8,1	20,2	39,2
Hradec Králové	0,5	1,3	3,3	8,5	17,0	0,9	4,3	8,0	17,9	34,6
Olomouc	0,3	0,9	3,2	8,9	17,9	0,6	3,3	7,8	20,4	39,2
Ostrava	2,7	4,4	8,8	19,3	34,3	3,6	10,7	17,9	38,6	71,2
Praha 4	0,5	1,3	3,4	8,6	15,7	1,0	5,6	9,3	20,3	35,8
Praha 10	0,4	1,0	2,7	6,6	11,9	0,8	4,4	7,2	15,5	27,1
Celkem	-	-	-	533,0	1136,0	-	-	-	1241,0	2478,0

Tabulka 14 Výkonové dopady elektromobility [35]

Z tabulky lze usoudit, že česká energetika bude muset v blízké budoucnosti počítat s nárůstem celkové spotřeby energie z důvodu rozšíření elektromobility. Dle nízkého scénáře bude v roce 2040 potřeba přes 1136 MW výkonu pouze pro nabíjecí stanice. To přibližně odpovídá jednomu bloku jaderné elektrárny Temelín. Ve středním scénáři již pracujeme s výkonem 2478 MW, což je více než celkový výkon Temelína (2110 MW). Do roku 2040 se prozatím plánuje ukončit provoz jaderné elektrárny Dukovany (2040 MW) z důvodu technické životnosti elektrárny 50 let. Již několik let se mluví o výstavbě nového jaderného bloku, jenže nejen z důvodu složité legislativy a finanční náročnosti není stále jasné, kdy se nový blok spustí. Z tohoto je zřejmé, že elektromobilita bude mít i při nízkém scénáři rozvoje problém s nedostatečnou kapacitou energetických zdrojů v ČR.

Další energetický problém spočívá v nekontrolovaném připojování velkého spotřebiče do elektroenergetické soustavy. Tento problém již má své řešení v domácnostech pomocí inteligentní smart nabíječky, která řídí (omezuje) nabíjení elektrického vozu. Zařízení respektuje požadavek uživatelů na zadané dobití do určité hodiny, přičemž rozloží nabíjení dle aktuálních požadavků sítě. Tento princip bohužel nelze využít u veřejných rychlonabíjecích stanic, kde je maximální výkon nabíjení prioritou. Lze očekávat, že největší využití rychlonabíjecích stanic bude v pozdních odpoledních hodinách, kdy lidé jezdí z práce a například během nákupu v supermarketu budou potřebovat rychle dobít vybitý elektromobil. Již dnes (2019) mezi 16 a 18 hodinou dosahuje denní diagram zatížení ČR svých maximálních hodnot. Při připojení většího množství rychlonabíjecích stanic na jednom místě (například velké obchodní středisko) by mohlo dojít k přetížení sítě, v nejhorším případě k lokálnímu výpadku elektrické energie. Částečné řešení je již dnes (2019) dáno upravenou legislativou, kde před instalací rychlonabíjecí stanice musí investor kontaktovat místního distributora elektrické energie a dojednat individuální podmínky (viz podkapitola Kategorie dobíjecích stanic).

Legislativní řešení pomocí dálkového řízení (omezování) výkonu rychlonabíjecích stanic není příliš vhodné. Omezením maximálního dobíjecího výkonu ztrácí smysl budovat tyto stanice a zmenšuje komfort uživatelům elektromobilů. Lepší řešení se nabízí při spolupráci rychlonabíjecí stanice s akumulátorem, který pokryje špičkový výkon stanice. Velkou výhodou může být využívání 2nd life baterií právě pro účely rychlonabíjecích stanic.

5 Ekonomická analýza možného využití 2nd life baterií

Z uvedených legislativních důvodů v předchozích kapitolách je zřejmé, že všechny automobilky působící na evropském trhu budou muset řešit nebo již řeší elektromobilitu s vysokou prioritou. Dalo by se konstatovat, že pokud výrobce nesplní přísné emisní požadavky EU pomocí elektrických vozidel, bude finančními restrikcemi donucen opustit evropský automobilový trh. Jedna z možností, jak ekonomicky napomoci dnes drahému vývoji elektromobilu je efektivní využití 2nd life baterií.

5.1 Strategie automobilky

Automobilky dnes (2019) analyzují různé strategie, jak naložit s již využitými akumulátory z EV. Dle zákona 185/2001 Sb., Zákon o odpadech, mají povinnost zajistit zpětný odběr všech akumulátorů, včetně těch z elektromobilů. Jako nejjednodušší možnost se jeví zpětný odběr a následné prodání (darování) recyklačním centrům. Tím automobilka zajistí zákonnou povinnost, ale přijde tím o potenciál v oblasti energetiky.

Téměř všechny velké společnosti se dnes snaží diverzifikovat své podnikatelské aktivity, aby zvýšily zisk a zajistily si ekonomickou stabilitu. Z tohoto důvodu i automobilky investují do projektů, které na první pohled nesouvisí s výrobou automobilů. Jako příklad můžeme uvést dceřinou společnost velké české automobilky ŠKO-ENERGO, která v Mladé Boleslavi dodává teplo 12 tisícům domácnostem. Nicméně hlavní důvod existence je především zajistit teplo, vodu a částečně elektrickou energii blízkému závodu na výrobu automobilů. Podobný postup by mohly automobilky využít i v oblasti využití 2nd life baterií. Například by mohly vybudovat velkou síť dobíjecích stanic se solárními panely a dostatečně dimenzovaným akumulátorem složený ze 2nd life baterií, které by primárně generovaly zisk z nabíjení. Ve výše popsanych kapitolách je uvedena základní premisa pro masivní rozvoj elektromobility: dostatečná infrastruktura. Z toho vyplývá, že v případě vybudování dostatečné sítě nabíječek si zajistí automobilka prodejnost i svých elektromobilů a zajistí tak ekonomickou stabilitu celého svého podniku.

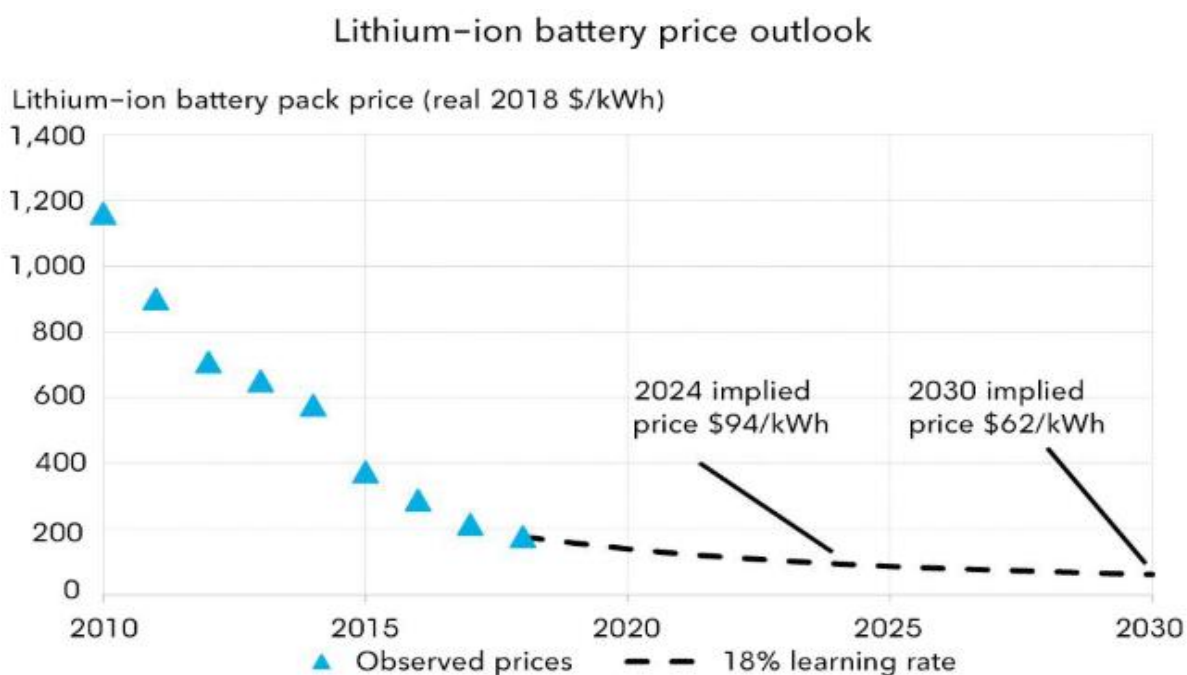
V této práci se soustředím na dvě možné strategie v oblasti využití 2nd life baterií. Obě budou primárně zaměřené na poskytování regulační energie ve formě podpůrných služeb a regulační energie na vyrovnávacím trhu. První možnost bude spíše energetická, kde si automobilka takzvaně na zelené louce vybuduje vlastní bateriové úložiště pro potřeby

energetické sítě. Druhá varianta bude více propojena s automobilovým průmyslem, a to hlavně s podporou infrastruktury nabíjecích stanic. Bude se jednat o několik malých bateriových úložišť, které budou mít centrální dálkové řízení a jehož součástí bude i rychlonabíjecí stanice. Umístěny budou u dealera automobilky, který bude moci využívat nabíječku pro své EV nebo může částečně využívat kapacitu baterií pro koordinaci využití vlastních FVE panelů.

5.2 Vstupní parametry pro výpočet

5.2.1 Lithiové baterie

Již v předchozích kapitolách bylo zmíněno, že jednotková cena akumulátoru je u většiny investic stěžejní náklad. Díky technologickému pokroku klesly v poslední dekádě výrobní náklady nových lithiových baterií o stovky dolarů na 1 kWh. Nicméně se i tak jedná stále o velice drahou položku pro řadu případných aplikací. Vývoj a projekci jednicové ceny lithiového akumulátoru ukazuje graf od společnosti BloombergNEF:



Graf 6 Vývoj ceny lithiových baterií [51]

Ještě v roce 2010, kdy se začaly vyrábět první elektrické vozy střední třídy (Nissan Leaf) byla jednicová cena za 1 kWh 1160 USD. Elektromobily se tehdy osazovaly akumulátorem o kapacitě 24 kWh, čímž samotná cena baterie dosáhla hodnot v přepočtu kolem 530 000 Kč. Jestliže byla základní prodejní cena Nissana Leaf 33 000 USD (630 000 Kč), je zřejmá tehdejší finanční nerentabilita vozu. O pět let později byla cena baterií již na 377 USD/kWh. V roce 2020 se bude dle analytiků hodnota akumulátoru pohybovat kolem 130 USD/kWh. Společnost Tesla dokonce ve svých veřejných prohlášení zmiňuje pro rok 2020

hodnotu 100 USD/kWh. Konečná cena v roce 2030 je zatím stanovena na 62 USD/kWh, nicméně dnes již víme, že výslednou cenu ve vzdálenější budoucnosti ovlivní ekonomická výhodnost recyklace lithiových baterií.

5.2.1.1 Ocenění 2nd life baterie

Jak již bylo zmíněno v kapitole Druhotné využití akumulátorů (3.4.1), pro řadu aplikací jsou vhodné i takzvané 2nd life baterie z elektromobilů. Nastává však otázka, jak správně tyto baterie ocenit. Vypočítaná cena bude zaplacená majiteli elektrického vozidla (nebo dealerovi), který si tím sníží náklad při pořízení nové baterie. V rámci této práce budu pracovat s mírně upraveným postupem od kolektivu autorů ze zdroje [52].

Základní vzorec pro ocenění 2nd life baterie:

$$c_{2nd_life} = c_{new} * k_{health} * k_{demand} \quad [3]$$

c_{2nd_life} cena za 1 kWh vyjmuté baterie z elektromobilu [USD/kWh]

c_{new} cena za 1 kWh nové baterie [USD/kWh]

k_{health} koeficient stavu 2nd life baterie <0;1> [-]

k_{demand} koeficient poptávky použitých baterií <0;1> [-]

Rovnice 3 Ocenění 2nd life baterie [52]

Koeficient k_{demand} vystihuje aktuální poptávku trhu po použitých bateriích, kterou nelze spolehlivě spočítat. Autoři rovnice ho stanovili na 0.75, přičemž já převezmu tuto hodnotu a v závěru podkapitoly udělám citlivostní analýzu.

Koeficient stavu 2nd life baterie lze vypočítat následujícím způsobem:

$$k_{health} = \frac{PVB_{2nd_life}}{PVB_{new}} \quad [4]$$

PVB_{2nd_life} současná hodnota teoreticky možné dodané energie vyjmuté baterie z elektromobilu pro dané využití [kWh]

PVB_{new} současná hodnota teoreticky možné dodané energie nové baterie pro dané využití [kWh]

Rovnice 4 Výpočet koeficientu stavu [52]

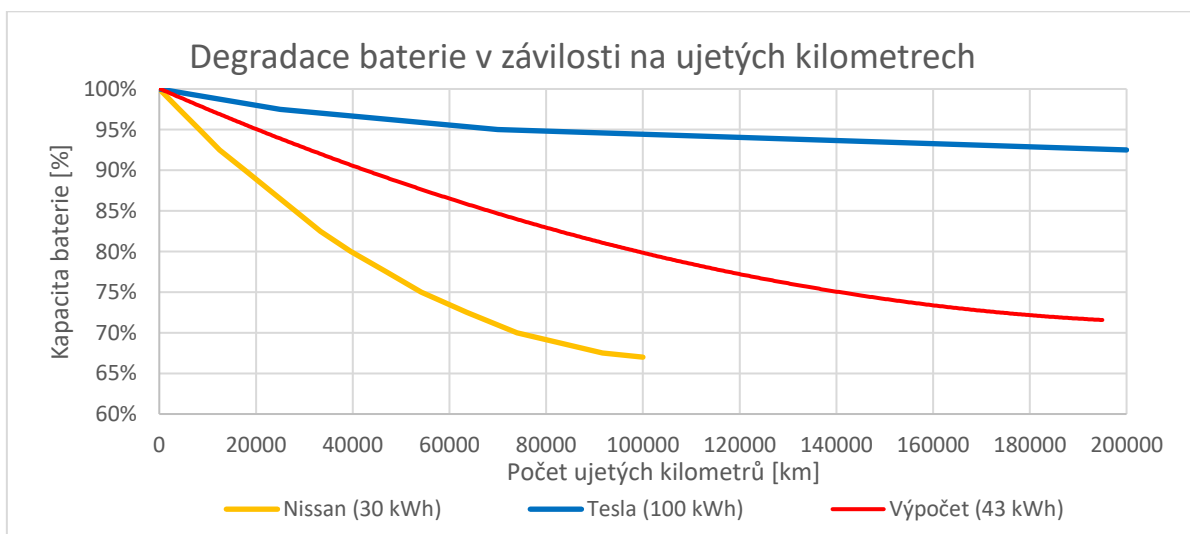
Samotné současné hodnoty se vypočítají takto:

$$PVB_x = \sum_{i=1}^n \frac{(1+v)^i}{(1+r)^i} * x_i \quad [5]$$

n	životnost dané baterie [rok]
i	rok
x_i	teoreticky dodaná energie za rok [kWh]
r	diskont peněz [%]
v	roční růst ceny elektrické energie z dané aplikace [%]

Rovnice 5 Výpočet současné hodnoty dodané energie [52]

Hodnota teoreticky dodané energie za rok se vypočítá pomocí zadaných parametrů, jako jsou například hloubka vybití (DoD), nabíjecí napětí, degradace kapacity u nové baterie a cyklus užití. Závislost DoD a nabíjecího napětí na celkovém počtu cyklů jsem popsal v předchozích kapitolách. Pro přesné určení závislosti degradace baterie na ujetých kilometrech dnes (2019) stále neexistuje dostatek podkladů. Údaje o svých bateriích udává pouze společnost Tesla, která má dle vlastních prohlášení velice nízkou degradaci. Ostatní automobilky údaje nezveřejňují, proto musím vzít v potaz experimentální měření na omezeném počtu vzorků. Dle veřejně dostupných materiálů jsem zvolil degradaci Tesla 100 kWh baterií z modelů S a X jako tu nejmenší možnou a problémovou 30 kWh baterii z Nissan Leaf jako tu nejhorší možnou viz graf. Na základě těchto dvou možností jsem určit průběh degradace pro výpočetní model s 43 kWh baterií.



Graf 7 Degradace baterie v závislosti na ujetých kilometrech [53] [54]

Z grafu je patrný obrovský rozdíl pro akumulátory od různých výrobců. Společnost Tesla, která se často prezentuje jako inovativní společnost v oblasti elektromobility, dosáhla úctyhodných výsledků nejspíše pomocí neustále aktualizovaného řídicího systému pro nabíjení a vybíjení ve spolupráci s velkou baterií. Naopak u konkurence, která využívá mnohem menších akumulátorů, je degradace baterie znatelná. Proto většina automobilek nabízí záruku výměny baterie v elektromobilu. Například Nissan Leaf dnes u 40 kWh baterie nabízí záruku na 8 let nebo 100 000 ujetých kilometrů, kdy nesmí dojít ke snížení kapacity pod 9 stupňů z 12 (pod 75 %). [55]

5.2.1.2 Postup výpočtu 2nd life baterie

Pro zjištění konkrétní ceny 2nd life baterie je třeba zadat tyto technické a ekonomické vstupní parametry pro výpočetní model v MS Excel:

Parametr	Hodnota	Jednotka
diskont	7,2	[%]
roční růst cen elektřiny	3,1	[%]
DoD	40	[%]
nabíjecí napětí	4,1	[V]
ujetá vzdálenost EV	100 000	[km]
průměrná spotřeba EV	18	[kWh/100km]
koeficient poptávky	75,0	[%]

Tabulka 15 Vstupní parametry výpočtu ceny 2nd life baterie

Peněžní diskont (r) byl pro tento případ zvolen pomocí Damodarana v oblasti výroby energie na 7,2 %. Vzrůst ceny elektřiny (v) byl stanoven na 3,1 % na základě historických dat. Dále je potřeba zadat DoD a nabíjecí napětí, pomocí kterých model vypočítá celkové množství cyklů dané baterie. Využívá u toho mocninou závislost DoD a nabíjecího napětí na celkovém počtu cyklů baterie. Z důvodu využití nižšího nabíjecího napětí model provede korekci dostupné kapacity baterie. Po vydělení celkového počtu cyklů počtem dní v roce, získá životnost baterie (n). Pro přímý výpočet jsem stanovil DoD na 40 % a nabíjecí napětí na 4,1 V, abych zvýšil životnost baterie.

Mezi další vstupní parametry patří ujetá vzdálenost a průměrná spotřeba energie EV, které pomáhají stanovit zůstatkovou kapacitu a zbývající cykly 2nd life baterie. Z důvodu nedostatku podkladů nelze snadno stanovit závislost degradace baterie na ujeté vzdálenosti. Proto jsem pevně stanovil kapacitu baterie v EV na 43 kWh, což odpovídá váženému průměru prodaných EV v EU do poloviny roku 2018, a k této hodnotě stanovil závislost degradace na ujetých kilometrech. Baterie v elektromobilu je limitována svou velikostí a hmotností, proto

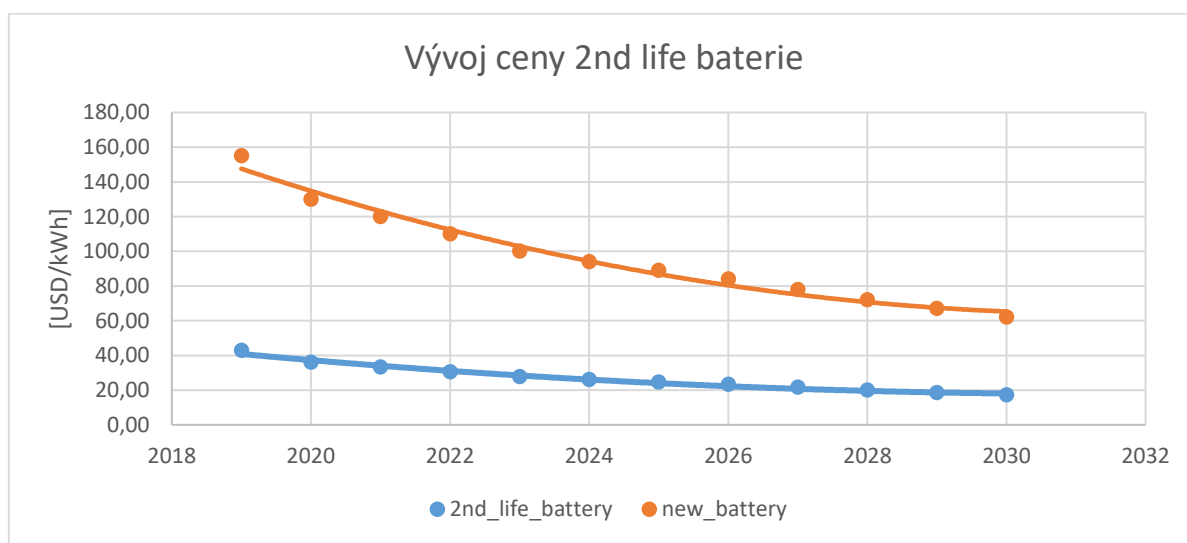
automobilky nastavují DoD na vyšší hodnoty na úkor životnosti. Model pracuje s DoD v EV na 80 %. Na základě všech těchto hodnot lze vypočítat celkovou spotřebu elektromobilu a počet využitých cyklů. Zpětným přepočtem pomocí mocninné závislosti model vypočítá zbývající cykly 2nd life baterie při DoD 40 % a určí velikost degradace kapacity 2nd life baterie. Díky těmto hodnotám lze stanovit teoreticky dodanou energii za rok (x_i) u vyjmuté baterie z EV. U nové baterie se x_i počítá pouze vynásobením celkové kapacity baterie (43 kWh), DoD a korekcí kapacity z důvodu změny nabíjecího napětí.

Výstupní hodnoty z modelu ukazuje tabulka hodnot:

Parametr	Hodnota	Jednotka
K_{health} z rovnice [3]	36,9	[%]
zbývající kapacita 2nd life baterie	76,7	[%]
PVB_new z rovnice [5]	39 365	[kWh]
PVB_2nd_life z rovnice [5]	14 521	[kWh]

Tabulka 16 Výstupní hodnoty výpočtu 2nd life baterie

Výsledné ceny pro jednotlivé roky ukazuje graf:



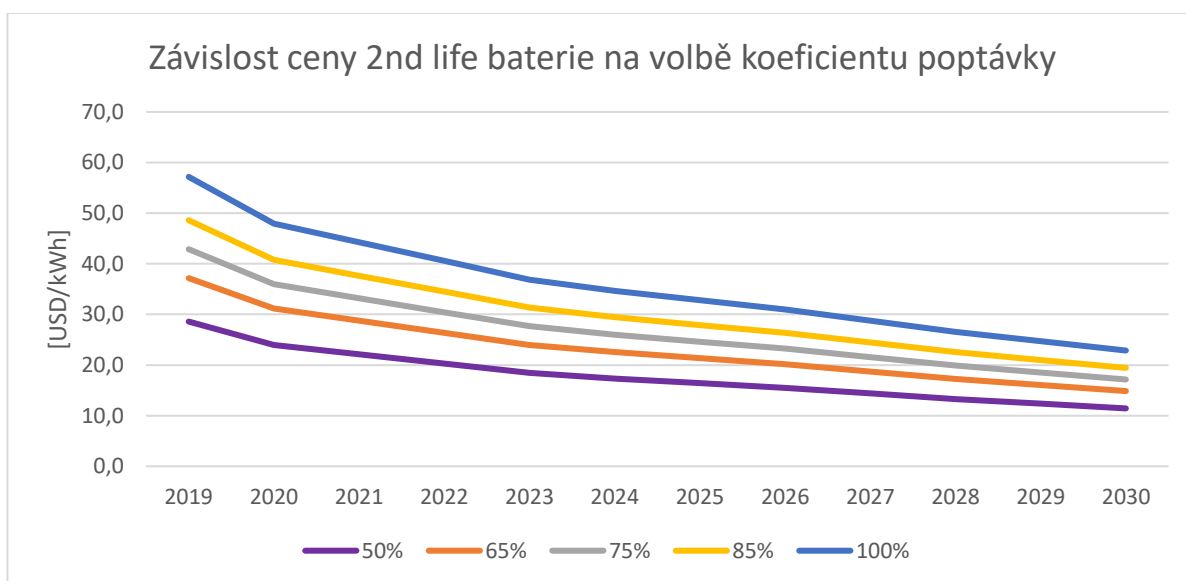
Graf 8 Vývoj ceny 2nd life baterie

Při využití výše uvedeného výpočtu pro ocenění 2nd life baterie se výsledná cena mění nejvíce v závislosti na změně spotřeby elektrické energie vozidla a na celkové ujeté vzdálenosti. Při zvýšení spotřeby například o 4 kWh/100 km a zachování 100 000 kilometrovém nájedu, se jednicová cena akumulátoru sníží na 31 USD. Nicméně je třeba si uvědomit, že v tomto případě se s nižší cenou snižuje i počet zbývajících cyklů pro sekundární aplikaci baterie. Nižší počet cyklů 2nd life baterie může zvýšit celkové náklady investice, a to z důvodu častější výměny bateriových modulů a drahé přepravy lithiových baterií. Konkrétní hodnoty ukazuje tabulka:

Cena 2nd_life	50 000 km	75 000 km	100 000 km	125 000 km	Cykly 2nd_life	50 000 km	75 000 km	100 000 km	125 000 km
14 kWh/100 km	82 USD	67 USD	54 USD	42 USD	14 kWh/100 km	2 320	1 997	1 674	1 350
16 kWh/100 km	79 USD	63 USD	48 USD	35 USD	16 kWh/100 km	2 228	1 858	1 489	1 119
18 kWh/100 km	76 USD	59 USD	43 USD	28 USD	18 kWh/100 km	2 135	1 720	1 304	888
20 kWh/100 km	73 USD	54 USD	37 USD	21 USD	20 kWh/100 km	2 043	1 581	1 119	658
22 kWh/100 km	70 USD	50 USD	31 USD	14 USD	22 kWh/100 km	1 951	1 443	935	427

Tabulka 17 Citlivostní analýza – cena 2nd life baterie

Mezi další podstatné parametry citlivé na výsledek patří koeficient poptávky použitých baterií. Tento koeficient by bylo možné zjistit pomocí velice nákladné analýzy trhu prostřednictvím přímého výzkumu. Z tohoto důvodu je vhodnější použít pouze citlivostní analýzu:



Graf 9 Závislost ceny 2nd life baterie na volbě koeficientu poptávky

Dnes nelze jednoznačně určit koeficient poptávky. Můžeme ale předpokládat, že bude spíše vyšší, a to z důvodu všestranného využití lithiových baterií. Dle mého názoru poptávka po použitých lithiových bateriích bude kolem 75 %. Při stavu o 10 % menším (větším) se jednicová cena 2nd life baterie v roce 2019 změní o 5,7 USD/kWh a v roce 2029 o 2,3 USD/kWh.

Naopak nejmenší závislost byla během výpočtu zjištěna na zvoleném DoD a napájecím napětí pro účely ocenění 2nd life baterie. Například při změně DoD z 40 % na 70 % se v roce 2019 cena akumulátoru zmenší přibližně o 1 USD/kWh a v roce 2029 o necelý půl dolar. Přesný výpočet včetně citlivostních analýz je uveden v příloze ve formátu MS Excel.

5.2.1.3 Další náklady spojené se 2nd life baterií

Výše vypočítaná hodnota 2nd life baterie je cena pouze za samotnou baterii. Pro výpočetní model je potřeba stanovit i další výdaje spojené s baterií od vyjmutí z vozidla,

testování, opravu až po dopravu. Budu předpokládat, že většinu z těchto úkonů lze udělat v autorizovaném servisu automobilky, kde dnes (2019) hodinová sazba pracovníka činí 615 Kč. [56]

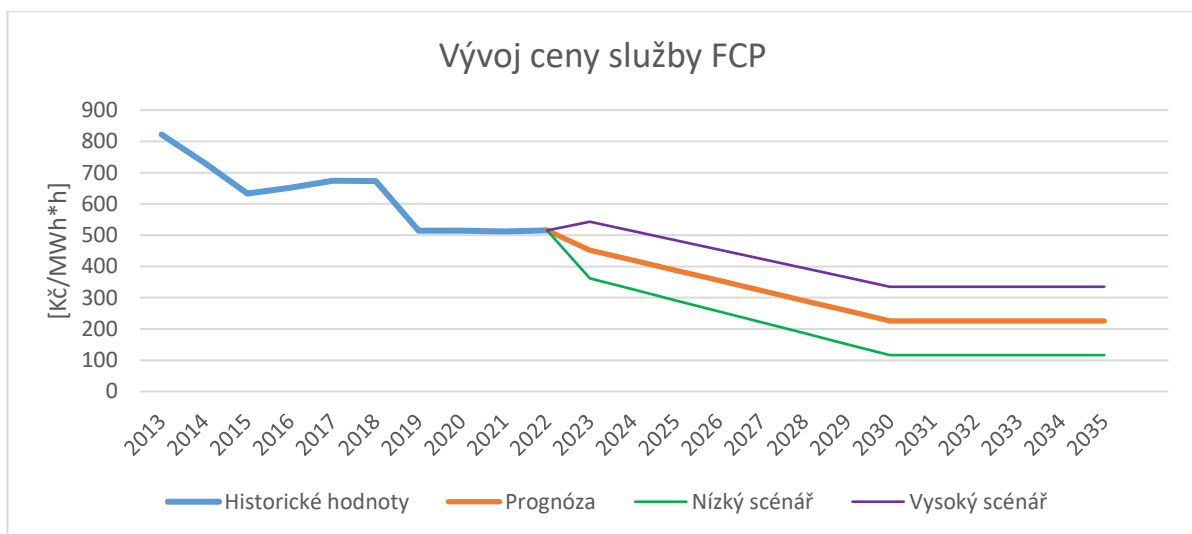
První servisní úkol odpovídá samotnému vyjmutí akumulátoru z vozidla. Celková výměna baterie u vozu střední třídy (Nissan Leaf) trvá přibližně 3 hodiny [57]. Z toho lze vyvodit, že samotné vyjmutí bude trvat 90 minut. Následně je nutné připojit akumulátor na diagnostické zařízení a zajistit výměnu vadných článků baterie. Pomocí volně dostupných materiálů nelze určit, kolik článků bude nutné vyměnit, aby byla zajištěna bezproblémová funkčnost v nové aplikaci. Různé analýzy uvádí rozpětí od 0,001 % do 10 % [58]. Pro tento model byla zvolena pesimističtější varianta 5 %. Cena jednoho článku byla stanovena pomocí portálu ev-power.eu na 102 euro za jeden článek. Následný vývoj svým průběhem odpovídá cenám nového akumulátoru (viz výše). Připojení, odpojení a vyhodnocení trvá 90 minut [59]. Rozebrání a složení celé baterie zabere přibližně 18 hodin [58]. Z tohoto čísla lze odhadnout, že rozebrání přibližně 5 % baterie potrvá minimálně 1 hodinu a maximálně 18 hodin. Střední hodnotou byla zvolena doba 9 hodin. Zabalení a manipulace s baterií zabere pracovníkovi asi 45 minut [58]. Celkově bude potřeba 12,75 člověkohodin na jednu baterii.

Lithiové baterie se v rámci přepravy řadí do třídy nebezpečných věcí číslo 9 - jiné nebezpečné látky a předměty. Je tomu tak hlavně z možnosti samovznícení akumulátoru v důsledku například fyzického poškození. Z tohoto důvodu je přeprava těchto baterií finančně náročnější než u ostatních komponentů potřebných pro bateriové úložiště. Po konzultaci s odborníky jsem obdržel kilometrovou sazbu pro 500 kilogramovou lithiovou baterii. Pro potřeby tohoto výpočtu byla hodnota zmenšená na hodnotu 1,25 € na kilometr, protože se předpokládá využití 43 kWh baterie o hmotnosti přibližně 250 kg. Jako průměrná vzdálenost přepravy baterie v ČR byla zvolena cesta z Prahy do Brna o délce 206 kilometrů. Příprava k odeslání zabere pracovníkovi servisu asi 0,75 hodiny [58].

5.2.2 Proces automatické regulace frekvence FCP

Hlavním finančním příjmem mého modelu bude pravidelná platba za poskytování služby FCP. V České republice se dnes (2019) uplatňuje model ročních a víceletých kontraktů, které jsou ekonomicky stabilnější než týdenní nebo denní. Roční platba se tedy skládá z předpokládaného počtu hodin pohotovosti a hodinové ceny rezervace. V posledních několika letech cena rezervace výrazně klesla, a to z hodnot 822 Kč/MW*h (2013) na 514 Kč/MW*h (2019). Největší podíl na změně ohodnocení má vzrůstající konkurence v oblasti

podpůrných služeb a příchod bateriových úložišť. V ČR zatím není plně implementována definice bateriového úložiště v oblasti energetiky, ale očekává se v nejbližších letech náprava po vzoru ostatních států EU. Z tohoto důvodu cena FCP bude klesat i nadále. Spodní hodnotu propadu lze orientačně určit pomocí dostupných dat z okolních států, kde se již bateriové úložiště využívá pro účely systémových služeb. Tento model pracuje se spodní hranicí ceny rezervace 225 Kč/MW*h, která byla stanovena pomocí hodnot z Rakouska na portálu transparency.entsoe.eu. Projekce ceny FCP použitá v modelu pracuje se třemi možnými scénáři vývoje viz graf: [60] [61]



Graf 10 Vývoj ceny služby FCP

Graf byl vytvořen pomocí listu prognózy aplikace MS Excel. Patrný zlom průběhu nastává v roce 2030, kdy cena dosáhne spodní hranice (225 Kč) a nadále je průběh konstantní. Dnes nelze přesně predikovat průběh vývoje, proto jsou zde další dva scénáře, které pracují se spodní hranicí v rozsahu 116 Kč a 335 Kč.

5.2.3 Vyrovnávací trh

Dalším zdrojem příjmů provozovatele bateriového úložiště může být obchod s regulační energií prostřednictvím vyrovnávacího trhu. Trh se uzavírá 30 minut před samotnou dodávkou a minimálně zobchodované množství je 1 MW s rozlišením na jedno desetinné místo (například 3,4 MW). Aby uzavřený obchod byl výhodný z hlediska opotřebování baterií, bylo potřeba vypočítat minimální nabídkovou cenu pomocí podílu všech oprávněných nákladů spojených se 2nd life baterií a počtu zbývajících cyklů baterie. Kompletní výpočet je uveden v příloze MS EXCEL. Výsledná nabídková cena pro rok 2020 vyšla 1 950 Kč/MWh. Pro získání počtu ročních obchodů bylo potřeba analyzovat ceny kladné a záporné regulační energie na vyrovnávacím trhu za posledních alespoň 5 let. Bylo potřeba nejen vyfiltrovat nízké

ceny, ale také po sobě jdoucí obchody. To znamená, že pokud bateriové úložiště dodává energii v hodině H, nemůže již dodávat ve stejný den v hodině H+1 ani H+2. Výsledné příjmy pro rok 2020 v závislosti na volné obchodní kapacitě úložiště ukazuje tabulka: [49]

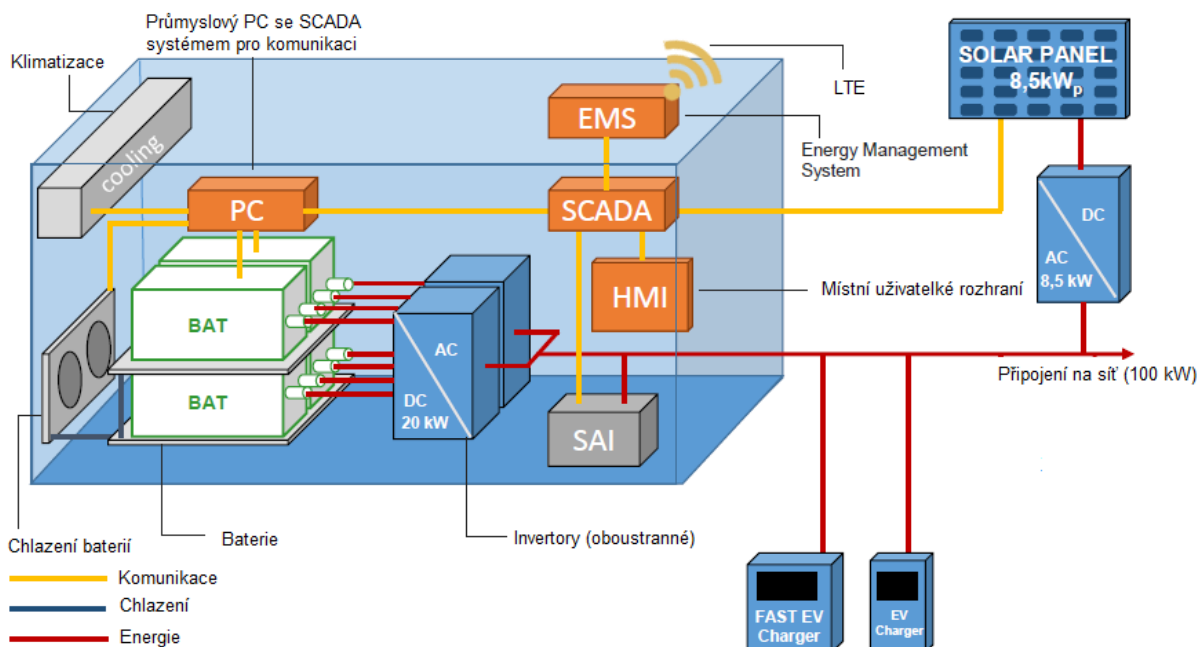
Obchodní kapacita [MWh]	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5
Roční příjem [tis. Kč]	1 700	2 531	3 375	4 162	4 994	5 734	6 553	8 131

Tabulka 18 VT – příjem v závislosti na volné obchodní kapacitě

Pro zvýšení výpovědní hodnoty modelu jsem opět stanovil tři možné scénáře vývoje výnosů z regulační energie na vyrovnávacím trhu. Střední scénář kopíruje již výše zmíněný růst cen silové energie, tedy každoroční růst o 3,1 %. Nízký scénář počítá se zvyšující se konkurencí, proto počítá s každoročním poklesem o 3,1 % a vysoký scénář počítá s ročním růstem 6,2 % z důvodu zvyšující se potřeby regulační energie.

5.2.4 Důležitá investiční zařízení

Pro správnou funkčnost bateriového úložiště je potřeba nejen samotných baterií, ale i podstatné množství dalších zařízení. Jedná se především o DC/AC invertory, dálkový řídicí SCADA systém, transformátory, úložný kontejner a klimatizaci. V případě realizace malých úložišť u dealerů je třeba započítat i rychlonabíjecí stanice. Příklad realizace malého úložiště ukazuje obrázek:



Obrázek 11 Příklad zapojení zařízení v bateriovém úložišti [62]

Abychom mohli připojit baterie k ES, musíme nejprve pomocí DC/AC invertorů změnit jejich povahu energie ze stejnosměrné na střídavou. Pro tento výpočetní model jsem

vybral moderní třífázový inverter o výkonu 50 kW od výrobce Kaco, který dodavatel dodává včetně integrovaného řídicího systému. Ten lze prostřednictvím USB nebo LAN portu připojit k nadřazenému systému celého dispečinku. Zařízení je uloženo v samostatné skříni velikosti 140x84x36 centimetrů, kterou lze umístit dovnitř nebo vně univerzální buňky. Cena na českém trhu byla stanovena pomocí portálu europe-solarshop.com na 111 980 Kč.

Univerzální buňky byly oceněny pomocí společnosti Algeco s.r.o., která staví v ČR modulární stavby s nejrůznějšími využitími. Pro tento model byly zkonzultovány dvě možnosti. První větší buňka s rozměrem 601x244x260 (d/s/v) centimetrů za cenu 75 000 Kč. Základní elektroinstalace včetně rozvaděče nn stojí 5000 Kč, klimatizace 25 000 Kč a protipožární obložení včetně signalizace požáru přibližně 100 000 Kč. Do tohoto kontejneru se vejde orientačně 28 baterií tak, aby mezi bateriemi byly dostatečné mezery na proudění vzduchu a zbylo místo i na malé zázemí pro klimatizaci, server a počítač. Druhá menší buňka s rozměrem 299x244x260 (d/s/v) centimetrů za cenu 50 000 Kč. Cena elektroinstalace a klimatizace zůstává stejná, jen protipožární ochrana stojí méně – přibližně 50 000 Kč. Odborná instalace baterií a připojení ostatních zařízení uvnitř bateriového úložiště byla oceněna pomocí hodinové sazby montáže na elektrickém zařízení za 355 Kč/hod. [63] Instalace jedné baterie zabere orientačně 1 hodinu a instalace celého kontejneru včetně inverterů a podpůrných zařízení asi 24 člověkohodin.

Malé decentralizované úložiště bude spadat do podkategorie výrobních modulů A2 (do 100 kV) nebo do podkategorie B1 (do 1 MW). Všechny výrobní z kategorie A2 se připojují přímo do nízkého napětí. U B1 záleží na lokálních podmínkách distribuční sítě, přičemž lze také tento zdroj připojit do nízkého napětí. Díky tomu nebude potřeba instalace drahého transformátoru na náklady automobilky. V případě velkého centrálního úložiště instalovaný výkon určitě překročí 1 MW, díky čemuž se dostane do podkategorie výrobních modulů B2. Tato kategorie se již připojuje pouze do vedení vysokého napětí. Pro přímé připojení k síti je tedy potřeba změnit nízké napětí uvnitř zařízení (400 V) na vysoké napětí (22 kV). K tomu použijí transformátory od společnosti RTS a.s. Transformátor s výkonem 1000 kVA stojí 360 000 Kč včetně montáže. Pravidelná roční revize a údržba stojí 11 000 Kč, přičemž se v rámci zjednodušení modelu platí jednorázově během pořízení.

Certifikace PpS se dle kodexu provádí pravidelně v časovém intervalu 4 roky. Při zjišťování ceny certifikace FCP jako bateriového úložiště jsem zjistil, že zatím neexistuje u žádné společnosti přesný ceník. Nicméně jeden z dotazovaných expertů orientačně stanovil

cenu pro tento případ na 50 000 Kč. Ve výpočtu je tato cena zahrnuta v položce montáž a revize.

Rychlodobíjecí stanice byla vybrána tak, aby měla komunikační rozhraní pro vzdálenou správu a byla vhodná pro veřejné využití. Druhá podmínka by v případě skutečné realizaci umožnila čerpat dotace na pořízení od EU až do výše 55 % uznatelných nákladů. Pro tento model jsem vybral nabíjecí stanici EVlink Parkoviště s výkonem 2 x 22 kW. Tato stanice je kompatibilní se zařízením Smart EV box, který umožní nepřetržitou správu nabíjecí stanice s možností optimalizace maximálního odebíraného výkonu. Cena včetně Smart EV boxu byla stanovena pomocí portálu smartev.cz na 132 309 Kč.

FVE elektrárna nebude ve výpočetním modelu zahrnuta z důvodu malé instalační plochy na univerzální buňce. Také není snadné bez předem stanoveného místa určit potenciál FVE a ocenit tak její vyrobenou energii.

5.2.5 Řídicí dispečink

Pro zajištění bezproblémového a spolehlivého provozu bateriového systému je zapotřebí zřídit nepřetržitý kontrolní dispečink. Dispečer bude sledovat a řídit kapacitu baterií a v případě problému bezprostředně kontaktovat ČEPS. Mimo to, bude mít na starost také obchody s volnou kapacitou baterie na vyrovnávacím trhu a bude se podílet na tvorbě přípravy provozu. Aby byl zajištěn nepřetržitý provoz a komfort obsluhy, je potřeba najmout alespoň 5 dispečerů, kteří se budou cyklicky střídát na 12-hodinové směně. Roční náklad na jednoho dispečera byl stanoven na 960 000 Kč.

Jako dispečerský systém byl vybrán jednoduchý SCADA systém, který bude prostřednictvím průmyslových počítačů umístěných v každém kontejneru řídit jednotlivá zařízení. Program SCADA byl velice orientačně naceněn firmou působící v ČR na 250 000 Kč. Průmyslové PC bylo zvoleno od firmy Advantech za cenu 12 830 Kč.

I když se řídicí systém bude smět teoreticky ovládat online odkudkoliv, je třeba počítat i s trvalým fyzickým dispečinkem. Z tohoto důvodu se výpočtu objevuje položka pronájem kanceláře, která byla vypočítána pomocí jednotkové ceny pronájmu v Praze (350 Kč za m²). Potřebná plocha byla stanovena na 60 m², aby byl zajištěn komfort 5 pracovníků. Model také pracuje s nákladem na počítačovou soustavu pro každého dispečera v hodnotě 20 000 Kč za kus.

5.3 Předpoklady a úvahy vstupních parametrů

Zásadní předpoklad pro vybudování bateriové úložiště pro potřeby zajištění systémové rovnováhy sítě je příznivá legislativa. V řadě zemí EU (Rakousko) se již legislativa přizpůsobila této technologii, proto lze učinit předpoklad, že v nejbližší době (v modelu rok 2020) dojde k velké legislativní změně i v ČR.

Další neméně důležitý předpoklad je stanovení životnosti 2nd life baterie v případě využití jako zdroje regulační energie. Při výpočtu ceny 2nd life baterie byla mezi výpočtem zjištěna životnost 3,6 let při 40 % DoD a plném denním cyklu. Pro výpočetní model této strategie jsem zvolil životnost 5 let při 60 % DoD a denním cyklu. Ve výpočtu ceny baterie se při denním cyklu využije celý potenciál DoD baterie bez ohledu na skutečné využití. Naopak při reálném použití baterie pro potřeby služby FCP se téměř nikdy nevyužije plný potenciál DoD. To je způsobeno povahou služby FCP, která se nabízí jako primární oboustranný zdroj regulační energie. V ČR se neplatí za aktivaci FCP, proto nejsou k dispozici přesná data o aktivaci této regulační energie. Po konzultaci s odborníkem z ČEPSu bylo doporučeno hodnotu určit pomocí veřejných záznamů z Francie, která spadá do stejné synchronní zóny jako ČR. Díky tomu jsem dospěl k závěru, že při nasmlouvané roční pohotovosti 79 MW se ročně aktivuje pouze +59 750 MWh. To odpovídá asi 8 % z celkového teoretického množství energie za rok. Dalším faktorem nízkého opotřebení baterií je dostatečné dimenzování kapacity. Jelikož se FCP se realizuje jako oboustranná služba, například pro nabízení 4 MW výkonu bude zajištěna kapacita baterií ve výši 8 MWh. Z těchto důvodů je zřejmé, že reálná životnost baterie bude jistě vyšší než při výpočtu hodnoty 2nd life baterie. Životnost 5 let byla pesimisticky zvolena na základě výpočtového modelu hodnoty baterie, kde bylo dosaženo DoD 30 %.

Pro výpočet hlavních příjmů modelu je nutné stanovit teoreticky možnou dolní a horní hranici nabízené FCR. Dolní hranici model převezme z kodexu jako nejmenší možný poskytovaný výkon služby FCP (3 MW). Horní hranici stanovím pomocí historických dat rozdělení trhu s FCP. V roce 2019 byla služba FCP poskytována 11 společnostmi. Největší podíl s 23,22 % pokrývala společnost Alpiq (cca 19 MW), naopak nejmenší podíl s 3,7 % Energotrans (cca 3 MW). U všech společností jsem dle dostupných informací zpětně spočítal poskytovanou FCR. Seřadil jsem je a z první poloviny udělal průměr (5 MW), který jsem použil jako horní hranici FCR mého modelu. Opět se jedná spíše o pesimistický přístup, kde 5 MW výkonu u FCP lze u nového subjektu trhu považovat za realisticky dosažitelnou hodnotu. [64]

Další předpoklad pracuje se stanovením ročních nákladů na regulační energii. Strategie provozovatele přenosové soustavy ČEPSu spočívá spíše v celkovém přebytku soustavy než v nedostatku. Toto tvrzení potvrzuje celkové množství aktivované regulační energie v roce 2018. Při sečtení RE z PpS a VT dojdeme k výsledkům +280 025 MWh a -314 697 MWh. Rozdíl je dán především odlišnou cenou mezi kladnou a zápornou RE, kde RE+ bývá několikanásobně dražší než RE-. Výpočetní model při minimální prodejní ceně na VT za 1 950 Kč/MWh (viz výše) pracuje s 846 aktivacemi RE+ za rok. Při nahlédnutí do statistik VT za rok 2018 lze zjistit, že z celkových 8760 hodin se ve 2019 hodin prodala (aktivovala) záporná regulační energie za zápornou cenu (-1 Kč/MWh). Z toho plyne, že je teoreticky možné pokrýt potřebnou energii z VT za zanedbatelné náklady. Nicméně ani v rámci zjednodušeného modelu nelze plně předpokládat, že vždy bude tržní situace na VT během dne odpovídat potřebám bateriového úložiště. Proto jsem stanovil, že 25 % kladné energie prodané skrz VT bude pocházet z dlouhodobých kontraktů. Další možnosti dispečera, jak naložit s nedostatkem nebo přebytkem energie v bateriích, spočívá ve spekulaci na protiodchylku nebo v obchodování na vnitrodenním trhu.

Poslední velký předpoklad je projekce cen u všech ostatních nákladů, které nemají stanovený přesný vývoj v následujících letech. Zde byla využita prognóza ČNB, která stanovila na další roky inflační cíl ve výši 2 %. Proto všechny ostatní náklady budou ročně růst právě o 2 % ročně.

5.4 Strategie velkého bateriového úložiště ze 2nd life baterií

Velká bateriová úložiště se už dnes (2019) staví i v ČR (viz podkapitola Akumulátory v energetické soustavě). Díky tomu dodavatelské firmy nabízejí komponenty přímo pro tuto aplikaci a není potřeba žádný finančně náročný technologický vývoj. Tohoto faktu může využít automobilka, která převezme technologii od dodavatelů a sama dodá pouze 2nd life baterie. Z výše uvedených kapitol je již zřejmé, že díky jejich bateriím se výrazně sníží velikost celkové investice. Naopak musí počítat s častější výměnou baterií, což s sebou nese další náklady během provozu. Cyklické měnění baterií během celkové životnosti zařízení lze ale využít i ve prospěch automobilky. Podle situace na energetickém trhu může pravidelně snižovat nebo naopak zvyšovat kapacitu svého úložiště. Zadávaná změna počtu baterií je vždy vzhledem k výchozí investici. Naopak zvýšení připojeného výkonu vychází z poslední známé změny.

Vstupní parametry výpočetního modelu:

Výchozí investice

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	708,00	[kus]
Připojený výkon	9,03	[MW]
Peněžní diskont	7,2	[%]

Změny po 5 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Změna počtu baterií	49,00	[kus]
Zvýšení připoj. výkonu	0,97	[MW]

Změny po 10 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Změna počtu baterií	67,50	[kus]
Zvýšení připoj. výkonu	0,02	[MW]

Tabulka 19 Vstupní parametry strategie velkého úložiště

Hlavním vstupním parametrem je celkový počet 2nd life baterií využitých pro tuto aplikaci. Z této hodnoty se především pomocí aktuální ceny 2nd life baterie vypočítají investiční náklady na baterie, počet potřebných kontejnerů pro uložení baterií a celková dostupná obchodní kapacita zařízení. Aby zařízení fungovalo správně, musí mít dostatečně dimenzované připojení na síť. Proto jako druhý parametr uživatel volí připojený výkon, který umožňuje oboustranný přenos energie ze zařízení do ES. Model následně vypočítá investiční náklady na inventory a transformátory. Pro zvýšení stability dodávky regulační energie model u transformátoru počítá s potřebným množstvím transformátorů N+1. Během pravidelné výměny baterií lze operativně zvýšit nebo snížit množství baterií nebo zvýšit připojený výkon. Poslední uživatelem volený parametr je diskont, pomocí kterého se vypočítá hodnota finančního ukazatele NPV.

Výpočetní model sám optimalizuje množství nabízené služby FCP. Využívá série podmínek, které pracují s připojeným výkonem a obchodní kapacitou. Vždy se snaží, aby poskytování PpS bylo primárním zdrojem. To znamená, že na VT přesune pouze přebytečnou a jinak nevyužitou kapacitu. Ze série podmínek pro nabízení FCP je třeba zmínit interval nabízení FCR od 3 MW do 5 MW (viz předpoklady), dostatečně dimenzovaný připojený výkon a dostatečná obchodní kapacita na poskytování oboustranné služby FCP. Vyrovnávací trh následně zužitkuje zbývající obchodní kapacitu, opět za předpokladu splnění několika podmínek. Jako příklad může být podmínka minimálně nabízeného výkonu ve výši 1 MW nebo dostatečně dimenzovaný připojený výkon. Model nepracuje s přímou závislostí výnosů z VT na volné obchodní kapacitě, ale provádí korekturu množství zobchodované energie na základě analýzy historických dat VT.

Po vygenerování finančních toků z investiční činnosti model dopočítá výši odpisů pro stanovení daňového základu. Odpisy jsou lineární a doby ekonomické životnosti byly

stanoveny takto: baterie 5 let, inverter 15 let, univerzální buňka 15 let, transformátor 15 let, dispečink 15 let, nabíjecí stanice 15 let. Provozní peněžní toky kromě výdajů za elektřinu nejsou závislé na vstupních parametrech. Jedná se o personální výdaje a pronájem kanceláří.

Spotřebovaná elektřina se vypočítá pomocí počtu prodané kladné energie na VT a vlastní spotřeby klimatizací. Vzhledem k podnebí v ČR model počítá s ročním využitím klimatizace ve výši 2 232 hodin (6 měsíců – 12 hodin denně). Příkon klimatizace byl stanoven na 1500 W.

V rámci zpřesnění výsledků pracuji se třemi scénáři výnosů z poskytování regulační energie. Z tohoto důvodu pracuji i se třemi scénáři daňového základu a následně se třemi scénáři výše daně. Zde model pouze rozeznává, zdali výše odpisů není vyšší než daňový základ. Poté vypočítá peněžní toky za jednotlivé roky a určí čistou současnou hodnotu NPV.

Pro potřeby diplomové práce byly zadané parametry vypočítány pomocí doplňku Řešitel v aplikaci MS Excel tak, aby byla maximalizována výsledná hodnota NPV. Bylo využito Evolučního algoritmu s řadou omezujících podmínek vycházející z výše uvedených předpokladů. Výstupní parametry a mezi výpočty ukazuje tabulka:

Výchozí investice

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	708	[kus]
Kapacita baterie	43	[kWh]
Zbývající kapacita	77	[%]
DoD	60	[%]
Invertor – výkon	50	[kW]
Připojený výkon	9,00	[MW]
Obchodní kapacita	14,01	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	4,00	[MWh]
Počet kontejnerů	26	[kus]
Korporátní daň	19	[%]

Změny po 5 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	757	[kus]
Zvýšení výkonu	0,95	[MW]
Připojený výkon	9,95	[MW]
Obchodní kapacita	14,98	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	5,00	[MWh]
Počet kontejnerů	28	[kus]

Změny po 10 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	776	[kus]
Zvýšení výkonu	0,00	[MW]
Připojený výkon	9,95	[MW]
Obchodní kapacita	15,35	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	5,00	[MWh]
Počet kontejnerů	28	[kus]

Tabulka 20 Výstupní parametry výpočtu strategie velkého úložiště

Výsledné NPV pro dané scénáře vyšlo:

Výsledné NPV

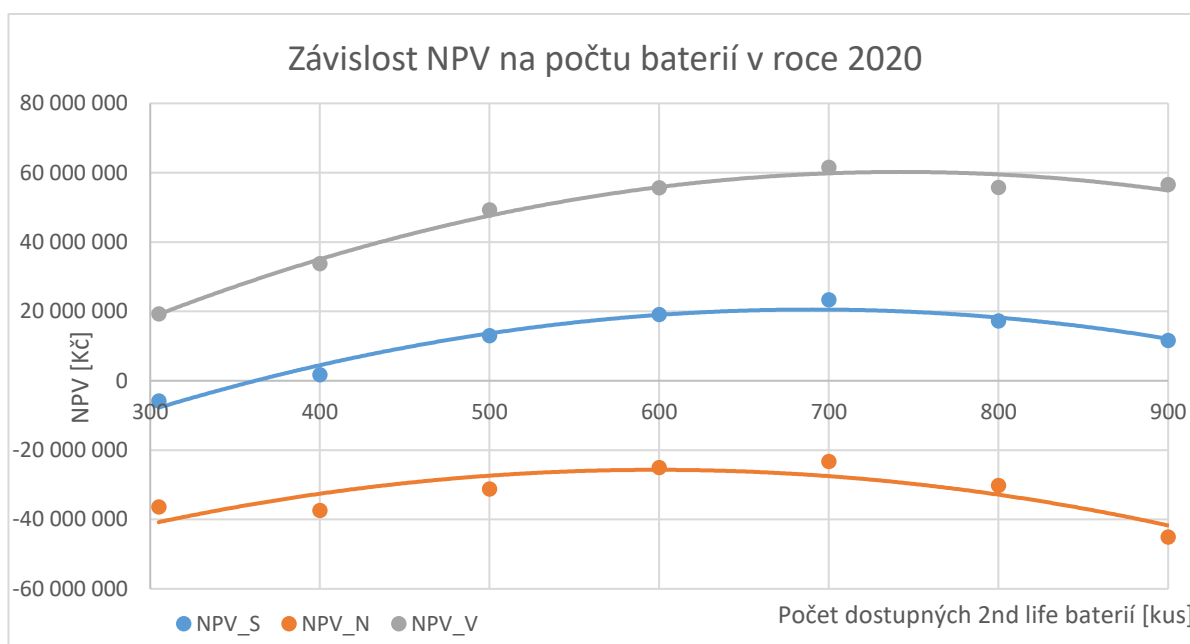
Scénář	Hodnota	Jednotka
NPV_S	24 003 868	[Kč]
NPV_N	-23 240 971	[Kč]
NPV_V	62 616 408	[Kč]

Tabulka 21 Výsledné NPV strategie velkého úložiště

Pro výše zadané parametry vyšlo NPV pro tuto strategii ve dvou ze tří scénářů kladně. Na základě definice kladného NPV lze tedy usoudit, že tato investice se doporučuje realizovat.

5.4.1 Citlivostní analýzy strategie velkého bateriového úložiště

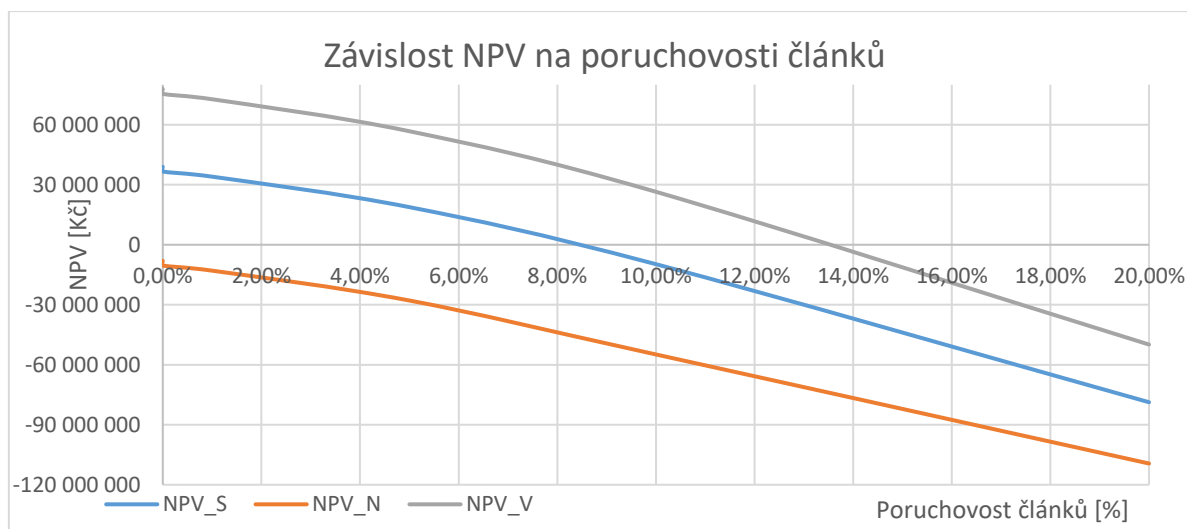
První citlivostní analýza ukazuje závislost nejlepší nalezené hodnoty NPV na počtu baterií instalovaných v roce 2020. Tato analýza vychází z předpokladu, že není jistý počet 2nd life baterií v roce 2020. Z tohoto důvodu by automobilka měla mít představu, od jakého množství se vyplatí do úložiště investovat. Pro nalezení nejlepší hodnoty NPV všech citlivostních analýz byl využit Řešitel v MS Excel s omezením doby nenaleznutí lepšího výsledku na 45 sekund.



Graf 11 Závislost NPV na počtu baterií strategie 1

Ve všech třech scénářích dosahuje NPV maxima kolem 700 instalovaných baterií v roce 2020. To je poměrně vysoké číslo, u kterého není zřejmé, zdali trh opravdu nabídne tolik baterií. Pro případné rozhodování bych doporučil využít střední scénář, který dosahuje nezáporné NPV od 370 instalovaných baterií v roce 2020.

Jako další důležitou analýzu jsem vybral závislost NPV na poruchovosti článků. Dnes přesně nevíme, jak velký servisní zásah budou 2nd life baterie potřebovat. Nicméně dnešní literatura odhaduje, že poruchovost by měla být maximálně v řádu desetin procent.



Graf 12 Závislost NPV na poruchovosti článků strategie 1

5.5 Strategie malých bateriových úložišť ze 2nd life baterií

Každá větší automobilka má svou síť autorizovaných dealerů. Nejinak je tomu i v České republice, kde například ŠKODA AUTO má přibližně 190 svých poboček. Právě tohoto faktu využívá strategie malých bateriových úložišť, která umístí malé úložiště do vybraných dealerství značky. Každé dealerství musí samozřejmě s projektem nejprve souhlasit, protože úložiště bude instalováno na jejich pozemku. Aby však nepřišlo dealerství zkrátka, automobilka na oplátku v rámci realizace vybuduje také rychlonabíjecí stanici. Ta bude sloužit nejen pro veřejnost, ale také pro samotné dealerství, které bude mít neustále rezervovanou jednu zásuvku pro potřeby prodeje nebo servisu elektrických aut. Také lze konstatovat, že v případě vybudování rychlonabíjecí stanice v okolí prodejny se s velkou pravděpodobností zvýší poptávka po elektromobilech.

Vstupní parametry výpočetního modelu:

Výchozí investice

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet dealerství	58	[počet]
Počet 2nd L B	13	[kus]
Připojený výkon	150	[kW]
Centrální rezervace	80	[%]
Cena nabíjení	1,50	[Kč/min]
Peněžní diskont	7,2	[%]

Změny po 5 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Změna počtu baterií	1	[kus]
Zvýšení počtu dealerství	8	[počet]

Změny po 10 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Změna počtu baterií	1	[kus]
Zvýšení počtu dealerství	1	[počet]

Tabulka 22 Vstupní parametry strategie malých bateriových úložišť

Hlavními vstupními parametry této strategie jsou počet dealerství a počet 2nd life baterií v jednotlivých instalacích. Vynásobením těchto dvou hodnot lze dojít k celkovému počtu použitých baterií a stejně jako v předchozím modelu určit všechny investiční náklady s nimi spojené. Jediný výpočtový rozdíl spočívá v nezapočítání nákladů na dopravu baterie, protože se předpokládá využití 2nd life baterií z místního dealerství. Samotný počet dealerství se následně používá ke spočtení investičních nákladů na univerzální buňky, rychlonabíjecí stanice a inventory. V tomto modelu se výkon invertorů zadává přímo jako vstupní parametr, a to hlavně z důvodu možnosti připojení úložiště na distribuční síť nízkého napětí. PDS má různé požadavky na maximální výkon připojitelný k jeho sítím, kterým je vhodné model přizpůsobit. Díky tomu v této strategii není potřeba budovat transformátory na náklady automobilky.

Dalším novým vstupním parametrem je centrální rezervace. Tato hodnota určuje, kolik procent z celkové použitelné kapacity jednotlivých zařízení bude použito pro centrálně řízený dispečink pro poskytování regulační energie. Zbylá část kapacity se využije pro potřeby rychlodobíjecí stanice, která by měla mít dostatečnou kapacitu na nabití alespoň jednoho elektromobilu pouze z baterií.

Samotná rychlonabíjecí stanice hraje v této strategii podstatnou ekonomickou roli. Nejedná se tolik o samotnou investici do zařízení, ale spíše o náklady a výnosy z jejího provozu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl počítat opět se třemi možnými scénáři. V prvním nízkém scénáři budu předpokládat, že veškeré provozní náklady pokryjí provozní výnosy (nikoliv samotnou investici). Střední a vysoký scénář vychází z predikcí nízkého a středního scénáře vývoje počtu elektrických vozů a dobíjecích stanic ze zdroje MPO [35]. Samotný výpočet výnosů a nákladů nabíjecí stanice a zavedení některých parametrů bylo inspirováno jinou diplomovou prací [65]. Konkrétně byly převzaty tyto hodnoty: průměrný roční nájezd majitele EV 13 000 km a koeficient využití veřejné AC stanice 20 %. Dále pro stanovení výnosu jsem spočítal počet nabíjení na jedné veřejné dobíjecí stanici za rok s ohledem na celkový počet EV a na celkový počet veřejných dobíjecích stanic. V poslední fázi stanovení výnosu se spočítala doba strávená jedním vozidlem na nabíjecí stanici (při průměrné kapacitě baterie 43 kWh) a vynásobena zvolenou cenou nabíjení ze vstupních parametrů. Provozní

náklady nabíjecí stanice stejně jako výnosy vycházejí z počtu nabíjení na jedné veřejné dobíjecí stanici. Nicméně tentokrát jsem již zavedl zjednodušení, že náklady budou pro střední i vysoký scénář stejné. Pomocí počtu nabíjení za rok a průměrné kapacity baterií jsem stanovil spotřebované množství elektrické energie. Tuto energii je potřeba co nejlevněji dostat ze sítě. Proto byla zvolena distribuční sazba pro elektromobily c27d na jističi 3x32 A od společnosti ČEZ. Tato sazba má 8 hodinový (noční) nízký tarif, při kterém se nabije baterie v úložišti, ze které se následující den bude primárně čerpat energie do elektromobilů.

Ostatní postupy výpočtu jsou obdobné jako u předchozí strategie. Výstupní parametry této strategie a mezi výpočty ukazují následující tabulky:

Výchozí investice

Parametr	Hodnota	Jednotka
Kapacita baterie	43	[kWh]
Zbývající kapacita	77	[%]
DoD	60	[%]
Invertor	50	[kW]
Nabíječka	22	[kW]
Využití veřejné nab.	20	[%]
Celkem baterií	754	[kus]
Připojený výkon	8,70	[MW]
Celková kapacita	14,92	[MWh]
Obchodní kapacita	11,94	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	1,90	[MWh]
Kapacita dealer	51,45	[kWh]
Korporátní daň	19	[%]

Změny po 5 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	924	[kus]
Počet dealerství	66	[počet]
Připojený výkon	9,90	[MW]
Celková kapacita	18,28	[MWh]
Obchodní kapacita	14,63	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	5	[MWh]

Změny po 10 letech

Parametr	Hodnota	Jednotka
Počet 2nd L B	938	[kus]
Počet dealerství	67	[počet]
Připojený výkon	10,05	[MW]
celková kapacita	18,56	[MWh]
Obchodní kapacita	14,85	[MWh]
Nabízené FCP	5	[MW]
Kapacita pro VT	5	[MWh]

Tabulka 23 Výstupní parametry výpočtu strategie malých úložišť

Výsledné NPV pro dané scénáře vyšlo:

Výsledné NPV

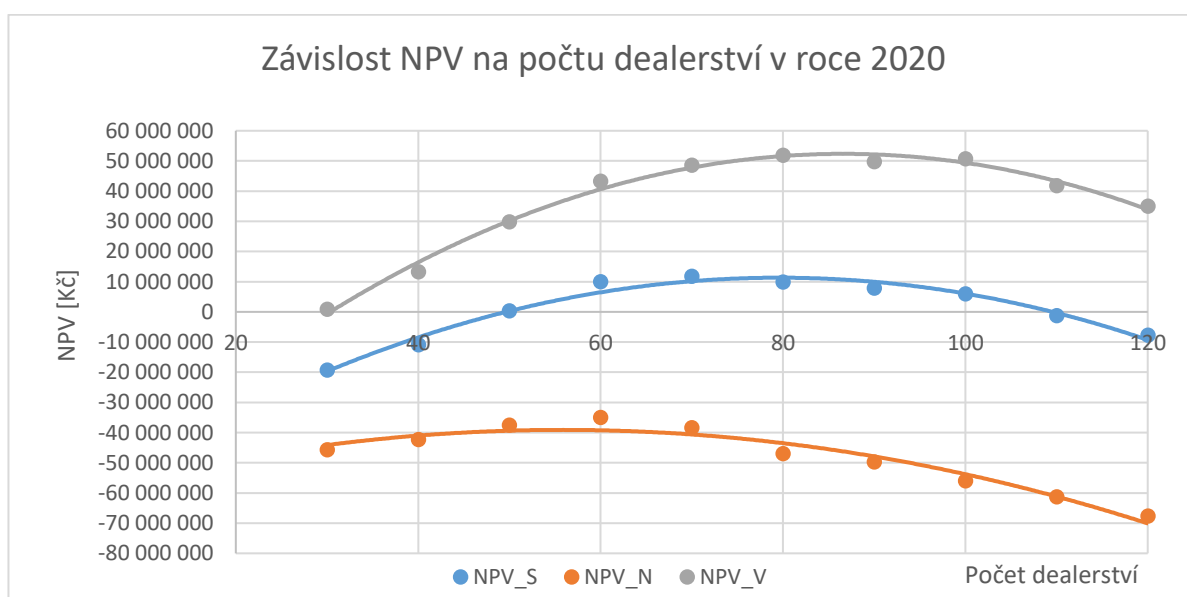
Scénář	Hodnota	Jednotka
NPV_S	16 932 884	[Kč]
NPV_N	-31 126 698	[Kč]
NPV_V	53 875 948	[Kč]

Tabulka 24 Výsledné NPV strategie malých úložišť

I v této strategii ve dvou ze tří scénářů nabývá NPV kladných hodnot. Z tohoto důvodu doporučuji investovat do tohoto projektu.

5.5.1 Citlivostní analýzy strategie malých bateriových úložišť

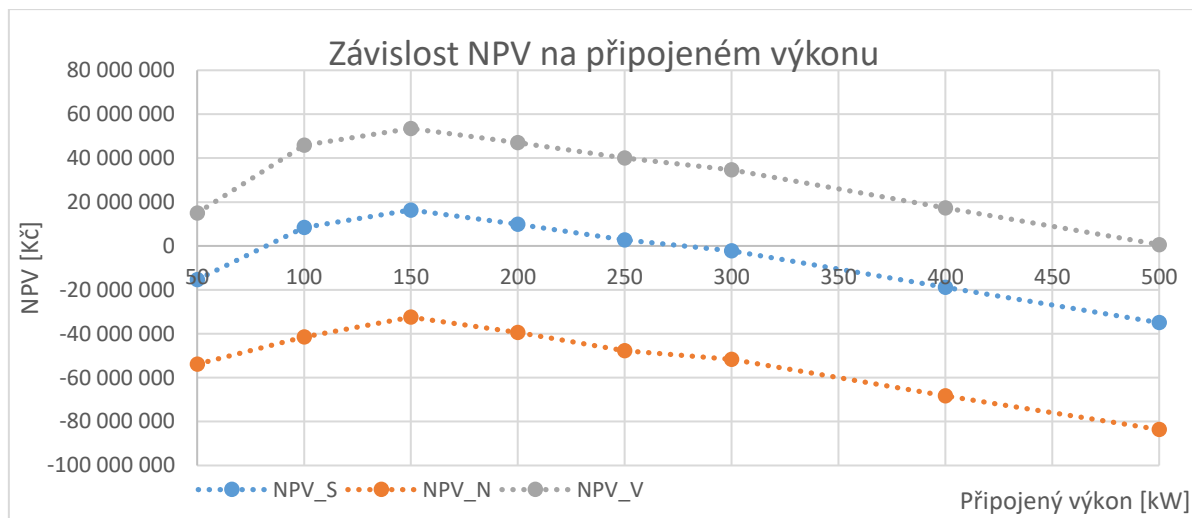
Jako první citlivostní analýzu v této strategii jsem zvolil závislost nejlepší nalezené hodnoty NPV na počtu dealerství v roce 2020. Většina automobilek má velký vliv na dění v dealerství značky. Nemůže jim však nařizovat instalaci „cizího“ zařízení na jejich pozemcích, ze kterého nebudou finančně profitovat. Proto je pro správné investiční rozhodování potřeba zkoumat závislost výchozího počtu dealerství v roce 2020 na NPV.



Graf 13 Závislost NPV na počtu dealerství strategie 2

Z průběhu grafu je zřejmé, že správná volba počtu dealerství pro tuto strategii bude pro úspěch projektu zásadní. U všech tří scénářů má průběh tvar konkávní funkce, která dosahuje maxima v hodnotách od 60 do 90 dealerství. Pro finální rozhodování je opět vhodné využít střední scénář, který v tomto případě nabývá kladných hodnot v intervalu od 50 do 110 dealerství v roce 2020.

Druhá citlivostní analýza ukazuje závislost nejlepšího nalezeného NPV na připojeném výkonu, který může být omezen PDS na základě nedostatečně dimenzované sítě. Proto je vhodné před realizací znát vliv změny připojeného výkonu na NPV.



Graf 14 Závislost NPV na připojeném výkonu strategie 2

Při výběru středního scénáře je patrné, že kladných hodnot NPV strategie dosahuje pouze při volbě výkonu 100, 150, 200 nebo 250 kW. Dále jsou hodnoty záporné, a to hlavně z důvodu omezené velikosti kontejneru, umístěného u dealera a drahého 50 kW invertoru.

6 Závěr

Automobilový průmysl dnes (2019) prochází největší transformací od počátku svého vzniku. Z dosavadní výroby vozidel se spalovacím motorem se velmi rychle přechází na výrobu plně elektrických vozidel nebo plug-in hybridů. Díky tomu se zvyšuje poptávka po akumulaci elektrické energie nejen pro potřeby elektrických aut, ale také pro potřeby elektroenergetické soustavy, která je s elektromobilitou silně spojená. Jako příklady souvislostí v této práci uvádím problémovou integraci rychlodobíjecích stanic do stávající ES nebo závislost provozních emisí CO₂ elektromobilu na energetickém mixu daného státu. V podkapitole Produkce CO₂ na ujetý kilometr elektromobilu byla například zjištěna skutečnost, že v případě využívání uhelných elektráren se vypuštěné emise CO₂ elektromobilu přibližně rovnají emisím konvenčních vozidel.

Dnešní elektrická auta využívají převážně technologii lithiových baterií, které primárně určují celkový dojezd vozidla na jedno nabití. Bohužel během životnosti ztrácí tyto baterie svou kapacitu, a tím snižují i případný dojezd elektromobilu. Proto se předpokládá, že po dané ztrátě například 30 % původní kapacity bude baterie vyměněna za novou. Na základě povinnosti zpětného odběru (výkupu) použitých baterií bude automobilka postupně nabývat značného množství již jednou použitých baterií.

Ve výpočetní části této práce jsou navrženy a spočítány dvě možné strategie automobilky, které využívají energetický potenciál již jednou použitých baterií. První strategie vychází z dnes běžně instalovaných velkých bateriových úložišť. Naopak druhá strategie kopíruje vývoj decentralizace energetiky pomocí několika malých bateriových úložišť rozmístěných u dealerů automobilky.

U obou strategií bylo nejprve potřeba správně ocenit samotné použité baterie, při čemž jsem vycházel především z ceny nové baterie a koeficientu stavu použité baterie. Pro roky 2020, 2025 a 2030 byly hodnoty vypočítány na 790, 540 a 377 Kč za kWh. To pro lepší představu znamená, že automobilka v roce 2020 zaplatí majiteli elektrického vozidla 33 970 Kč za jeho nepotřebnou 43 kWh baterii. Nicméně majitel vozu bude muset pořídit novou baterii, která ho bude stát přibližně 200 až 300 tisíc Kč.

Pro zjištění ekonomické efektivnosti byly pro obě strategie vypočítány tři možné scénáře finančních toků, pomocí kterých se následně určila hodnota NPV. Ta vyšla ve středním a vysokém scénáři pro obě varianty kladná. V případě velkého bateriového úložiště

vyšlo nejvyšší NPV středního scénáře 24 003 868 Kč při využití 708 baterií z elektromobilu. U druhé strategie vyšlo nejlepší NPV stejného scénáře pouze 16 932 884 Kč při využití celkem 754 baterií. Z toho lze vyvodit, že obě strategie jsou při výše zadaných parametrech ziskové. Bohužel ale nelze realizovat obě zmíněné strategie současně, ať už z důvodu počátečního nedostatku 2nd life baterií nebo následného konkurenčního boje mezi projekty.

Na základě získaných výsledků bych k realizaci doporučil strategii velkého úložiště, a to hlavně z důvodu většího zisku a menších investičních nákladů. Také bych při volbě této strategie zohlednil menší množství legislativních a realizačních předpokladů. Strategii několika malých úložišť bych prozatím odložil na 5 až 10 let. Poté bych navrhl realizaci sloučit s již fungujícím projektem velkého bateriového úložiště. Také bych doporučil pozdější realizaci zaměřit spíše na vyrovnání denní výkonové bilance rychlodobíjecí stanice, než na poskytování regulační energie, a to z důvodů předpokládaného budoucího nedostatku výkonu v soustavě během denních špiček.

Tato práce si kladla za cíl podat přehled o elektromobilitě a jejím možném přímém i nepřímém vlivu na elektroenergetickou síť. Také bylo záměrem otevřít diskuzi o možnostech ekonomicky a ekologicky výhodného využití vyjmutých akumulátorů z elektromobilů. Věřím, že i díky této práci se podaří v blízké budoucnosti využívat technický pokrok spojený s vývojem elektromobility smysluplně.

7 Zdroje a seznamy objektů:

- [1] J. Budín, “Přečerpávací vodní elektrárna – princip a uspořádání,” *OEnergetice.cz*, 2015. [Online]. Available: <http://oenergetice.cz/elektrina/precerpavaci-vodni-elektrarna-princip-usporadani-2/>.
- [2] OTE, “Výsledky denního trhu ČR,” 2018. [Online]. Available: http://www.ote-cr.cz/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh/page_report_01.
- [3] K. Kabe, “Adiabatická tlakovzdušná akumulární elektrárna,” pp. 50–51, 2013.
- [4] K.-U. S. R. Crotagino, Fritz; Mohmeyer, “Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful OperationNo Title,” *Spring Meet.*, no. April, p. 1 to 7, 2001.
- [5] J. Campbell, “Major EU grant for Gaelectric Islandmagee cave project,” *BBC.com*, 2017. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/uk-northern-ireland-39477262>.
- [6] CEZ, “Cesty k akumulaci elektrické energie,” *Encyklopedie energetiky*, 2007. [Online]. Available: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/cesty_1.html. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [7] M. Libra, “Akumulace elektrické energie,” *Elektro*, pp. 2–5, 2011.
- [8] Bacon Power, “FES Stephentown, New York,” 2018. [Online]. Available: <http://beaconpower.com/stephentown-new-york/>.
- [9] R. Rounds, “Hazle Spindle , LLC Beacon Power 20 MW Flywheel Frequency Regulation Plant Project Description Goals / Objectives,” no. August, p. 2013, 2013.
- [10] “The supercapacitor electric bus is adopted in China,” *supercaptech.com*, 2016. [Online]. Available: <https://www.supercaptech.com/the-supercapacitor-electric-bus-is-adopted-in-china>. [Accessed: 22-Mar-2019].
- [11] “Filling up with H2 Hydrogen mobility starts now,” *H2.LIVE*, 2019. [Online]. Available: <https://h2.live/en>. [Accessed: 22-Mar-2019].
- [12] H. Koguchi, T. Yada, and K. Tamura, “Batteries for Large-Scale Stationary Electrical Energy Storage,” *Trans. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. B*, p. 49–S, 2010.
- [13] GVEA, “Battery Energy Storage System,” 2018. [Online]. Available: <http://www.gvea.com/energy/bess>.

- [14] “Sodium Sulfur (NAS) Batteries,” *ESA, Storage Energy Association*, 2018. [Online]. Available: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/sodium-sulfur-nas-batteries>.
- [15] “The largest NAS station stabilizes 51MW wind power,” *NGK INSULATORS, LTD.*, 2018. [Online]. Available: https://www.ngk.co.jp/nas/case_studies/rokkasho/.
- [16] C. Philibert *et al.*, “Technology Roadmap,” 2014.
- [17] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation q,” *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 511–536, 2015.
- [18] J. Tichý, “Lithiové akumulátory,” *UETE FEKT VUT v Brně*, 2015. [Online]. Available: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>.
- [19] I. Buchmann, “Battery University,” *Cadex Electronics*. [Online]. Available: <https://batteryuniversity.com/>.
- [20] L. Situ, “Electric Vehicle Development : The Past , Present & Future,” *2009 3rd Int. Conf. Power Electron. Syst. Appl.*, pp. 1–3, 2009.
- [21] S. Hanley, “Tesla Roadster,” *evobsession.com*, 2016. [Online]. Available: <https://evobsession.com/tesla-roadster-specs-history-prices/>.
- [22] V. Nývlt, “Elektrický Nissan Leaf,” *Idnes.cz*, 2018. [Online]. Available: https://auto.idnes.cz/novy-elektromobil-nissan-leaf-recenze-dhd-/auto_testy.aspx?c=A180530_082635_tec_tecnika_nyv.
- [23] F. Contract and E. Lot, “Competitiveness of the EU Automotive Industry in Electric Vehicles Final Report December 19 th of 2012,” vol. 030, no. Lot 3, 2012.
- [24] “European Car Sales Data,” <http://carsalesbase.com>, 2018. [Online]. Available: <http://carsalesbase.com/european-car-sales-data/>.
- [25] S. Muřický, Jan; Bezděkovský, Eduard; Krebs, Zbyněk; Votruba, “Elektromobilita - MPO,” 2018.
- [26] S. Kolman, “Test elektromobilů v reálném provozu,” *auto.cz*, 2018. [Online]. Available: <http://www.auto.cz/velky-test-elektromobilu-jakou-maji-realnou-spotrebu-a-kolik-energie-se-ztrati-pri-nabijeni-125150>. [Accessed: 13-Feb-2019].

- [27] ERU, “Roční zpráva o provozu ES ČR,” 2018.
- [28] V. Míchal, “Účinnost,” *Encykl. Energ.*, 1999.
- [29] The Alternative Fuels Data Center, “Emissions from Hybrid and Plug-In Electric Vehicles,” *afdc.energy.gov*, 2019. [Online]. Available: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html. [Accessed: 27-Feb-2019].
- [30] M. Coren, “One country is the electric car market for the world,” *Quartz*, 2018. [Online]. Available: <https://qz.com/1376470/china-is-becoming-the-electric-car-market-for-the-world/>. [Accessed: 31-Aug-2018].
- [31] R. Irle, “The Electric vehicle world sales database,” *Europe Electric Vehicle Sales*, 2018. [Online]. Available: <http://www.ev-volumes.com/>. [Accessed: 28-Nov-2018].
- [32] J. Špaček, “Elektromobily se v ČR množí,” *fdrive.cz*, 2018. [Online]. Available: <https://fdrive.cz/clanky/elektromobily-se-v-cr-mnozi-v-dotacich-ale-proti-jinym-zemim-tezce-zaostavame-2398>. [Accessed: 06-Jun-2018].
- [33] H. Bekker, “Electric and Hybrid Car Sales per EU and EFTA Country,” *best-selling-cars.com*, 2018. [Online]. Available: <https://www.best-selling-cars.com/europe/2017-full-year-europe-electric-hybrid-vehicle-sales-per-eu-efta-country/>. [Accessed: 01-Feb-2018].
- [34] a. s. ABF, Ed., “E-salon 2018,” in *Přehledka čisté mobility*, 2018.
- [35] EUROENERGY SPOL. S R. O., “Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR,” p. 146, 2018.
- [36] Plugsurfing GmbH, “Plugsurfing map,” 2019. [Online]. Available: <https://www.plugsurfing.com/en/personal/map.html>. [Accessed: 17-Apr-2019].
- [37] J. Horčík, “E.ON zprovoznil v Třebíči novou rychlonabíjecí stanici,” *hybrid.cz*, 2018. [Online]. Available: <http://www.hybrid.cz/eon-zprovoznil-v-trebici-novou-rychlona-bijeci-stanici>. [Accessed: 12-Dec-2018].
- [38] H. Wang, M. Vest, and B. Friedrich, “Hydrometallurgical processing of Li-Ion battery scrap from electric vehicles,” vol. 5, pp. 1–16.
- [39] M. Tomanka, “Vysoká cena za pokrok. V konžských dolech rubou kobalt dětští horníci,” *Idnes.cz*, 2018. [Online]. Available:

- https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/kobalt-tezba-kongo-deti-amnesty-international.A180501_180212_eko-zahranicni_mato. [Accessed: 14-Feb-2019].
- [40] D. Hall and N. Lutsey, “Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions,” no. February, 2018.
- [41] A. Ajanovic, “Promoting environmentally benign electric vehicles,” *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 807–816, 2014.
- [42] E. Policy, *Science for Environment Policy FUTURE BRIEF : Towards the battery of the future*, no. 20. 2018.
- [43] N. Jiao, “Second-life electric vehicle battery availability will reach 108GWh by 2029,” *IDTechEX Research*, 2018. [Online]. Available: <https://www.idtechex.com/research/reports/second-life-electric-vehicle-batteries-2019-2029-000626.asp?viewopt=desc>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [44] M. M. Dufková, “První velkokapacitní úložiště energie v ČR,” *3pol.cz*, 2018. [Online]. Available: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/bez-zarazeni/2119-prvni-velkokapacitni-uloziste-energie-v-cr>.
- [45] Siemens ČR, “E.ON spustil největší bateriové úložiště v České republice,” www.siemens.cz/press/, 2018. [Online]. Available: <https://www.siemens.cz/press/siemens-cr-e-on-spustil-nejvetsi-bateriove-uloziste-v-ceske-republice>.
- [46] František žert, *Analýza regulační energie v ČR*. 2017.
- [47] ČEPS, “Podpurné služby,” ceps.cz, 2019. [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/cs/podpurne-sluzby>. [Accessed: 25-Feb-2019].
- [48] ČEPS, “Kodex přenosové soustavy II. část 2019,” 2019.
- [49] OTE, “Roční zpráva o trhu 2015,2016,2017,2018.”
- [50] OTE, “Roční zpráva o trhu s elektřinou a plynem v ČR v roce 2017,” 2018.
- [51] L. Goldie-Scot, “A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices,” *BloombergNEF*, 2019. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>. [Accessed: 22-Mar-2019].
- [52] A. P. Brett, W., J. S. Neubauer, M. Ferry, J. Eyer, “A Techno-Economic Analysis of

- PEV,” *SAE Int.*, 2012.
- [53] F. Lambert, “Tesla battery degradation at less than 10% after over 160,000 miles, according to latest data,” *electrek.co*, 2018. [Online]. Available: <https://electrek.co/2018/04/14/tesla-battery-degradation-data/>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [54] “Battery Capacity Loss Warranty Chart For 2016 30 kWh Nissan LEAF,” *insideevs.com*, 2016. [Online]. Available: <https://insideevs.com/battery-capacity-loss-chart-2016-30-kwh-nissan-leaf/>. [Accessed: 23-Mar-2019].
- [55] “NOVÝ NISSAN LEAF,” *nissan.cz*, 2019. [Online]. Available: <https://www.nissan.cz/vozidla/nova-vozidla/leaf/uspory-a-vyhody.html>. [Accessed: 25-Mar-2019].
- [56] Auto Styl a.s., “Ceník servisních služeb ŠKODA,” *Auto Styl a.s.*, 2019. [Online]. Available: <http://www.auto-styl.cz/servis-skoda/cenik-servis-skoda/>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [57] S. Hanley, “Nissan LEAF Replacement Battery Cost,” *cleantechnica.com*, 2017. [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2017/10/04/nissan-leaf-replacement-battery-will-cost-5499/>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [58] L. C. Casals, “A cost analysis of electric vehicle batteries second life businesses,” no. July, 2014.
- [59] J. Neubauer *et al.*, “Identifying and Overcoming Critical Barriers to Widespread Second Use of PEV Batteries Identifying and Overcoming Critical Barriers to Widespread Second Use of PEV Batteries,” no. February, 2015.
- [60] J. Budín, “Ceny podpůrných služeb v ČR prudce klesají,” *OEnergetice.cz*, 2018. [Online]. Available: <https://oenergetice.cz/prenos-elektriny/ceny-podpurnych-sluzeb-cr-prudce-klesaji-dalsi-pokles-mohou-zpusobit-bateriova-uloziste/>. [Accessed: 28-Mar-2019].
- [61] ENTSO-E, “Price of Reserved Balancing Reserves,” *transparency.entsoe.eu*, 2019. [Online]. Available: <https://transparency.entsoe.eu/balancing/r2/balancingVolumesReservationPrice/show?name=&defaultValue=true&viewType=TABLE&areaType=MBA&atch=false&dateT>

ime.dateTime=28.03.2019+00:00%7CUTC%7CDAY&dateTime.endDateTime=30.03.2019+00:00%7CUTC%7CDAY&contractTypes.values=A13&contractTypes.values=A01&contractTypes.values=A02&contractTypes.values=A03&contractTypes.values=A04&contractTypes.values=A06&reserveType.values=A95&marketArea.values=CTY%7C10YAT-APG-----L!MBA%7C10YAT-APG-----L&reserveSource.values=A04&reserveSource.values=A05&reserveSource.values=NOT+SPECIFIED&dv-datatable_length=10. [Accessed: 28-Mar-219AD].

- [62] G. Cruz, “Sunbatt : Use of a Second Life Battery System from PHEV in Stationary Use of a Second Life Battery System from PHEV in Stationary Applications Project Partners : Co-financed by : Project Collaborators :,” no. November, 2015.
- [63] M. Vančík, “Revize elektro.” [Online]. Available: <http://www.revize-vancik.cz/clanky/cenik-sluzeb.html>. [Accessed: 28-Apr-2019].
- [64] ČEPS, “Statistiky SVR,” *ceps.cz*, 2019. [Online]. Available: <https://www.ceps.cz/cs/statistiky-svr>. [Accessed: 08-Apr-2019].
- [65] J. Kott, “Rozvoj dobíjecí infrastruktury pro elektromobily v České republice” 2016.

Seznam příloh:

Příloha číslo 1 Výpočetní model ve formátu MS Excel

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Investiční náklady akumulace [16] [17]	20
Tabulka 2 Lithiové baterie – přehled [19]	21
Tabulka 3 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na hloubce vybití [19]	22
Tabulka 4 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na nabíjecím napětí [19]	23
Tabulka 5 Produkce CO ₂ na ujetý kilometr	26
Tabulka 6 Pomocná tabulka s roční procentuální výrobou elektrické energie	26
Tabulka 7 Prodeje elektromobilů v Evropě za rok 2016, 2017, 2018 [31].....	28
Tabulka 8 Prodeje elektromobilů v zemích EU [33]	29
Tabulka 9 Predikce počtu čistě elektrických vozidel v ČR [35].....	30
Tabulka 10 Přehled typů dobíjecích stanic	32
Tabulka 11 Přehled cen nabíjení [36]; *platba pouze od 120 minut.....	33
Tabulka 12 Predikce počtu veřejně dostupných dobíjecích stanic [35].....	34
Tabulka 13 Zastoupení vstupních materiálů akumulátoru a jejich ceny [40].....	35
Tabulka 14 Výkonové dopady elektromobility [35].....	47
Tabulka 15 Vstupní parametry výpočtu ceny 2nd life baterie	53
Tabulka 16 Výstupní hodnoty výpočtu 2nd life baterie	54
Tabulka 17 Citlivostní analýza – cena 2nd life baterie.....	55
Tabulka 18 VT – příjem v závislosti na volné obchodní kapacitě.....	58
Tabulka 19 Vstupní parametry strategie velkého úložiště.....	63
Tabulka 20 Výstupní parametry výpočtu strategie velkého úložiště	64
Tabulka 21 Výsledné NPV strategie velkého úložiště.....	65
Tabulka 22 Vstupní parametry strategie malých bateriových úložišť	67
Tabulka 23 Výstupní parametry výpočtu strategie malých úložišť	68
Tabulka 24 Výsledné NPV strategie malých úložišť	69

Seznam obrázků:

Obrázek 1 Princip PVE [Jan Kubica, Jiří Vojnar – Elektrotechnika].....	13
Obrázek 2 Model AACAES [RWE Power AG – ADELE]	14
Obrázek 3 Princip FES [Innocent Kamwa]	15

Obrázek 4 Princip superkapacitoru [Karl Young].....	16
Obrázek 5 Vodíkové hospodářství [Martin Libra].....	17
Obrázek 6 Pb baterie [Marin Libra]	18
Obrázek 7 Výkonová bilance NAS [NGK Insulators]	20
Obrázek 8 Princip funkce lithiových akumulátorů [18].....	21
Obrázek 9 Zásuvka ČSN EN 62196-3	31
Obrázek 10 Blokové schéma životního cyklu akumulátoru v EV [38].....	35
Obrázek 11 Příklad zapojení zařízení v bateriovém úložišti [62]	58

Seznam grafů:

Graf 1 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na hloubce vybití [19]	22
Graf 2 Cykličnost lithiových baterií v závislosti na nabíjecím napětí [19].....	23
Graf 3 Projekce celosvětové produkce elektromobilů [30].....	27
Graf 4 Predikce počtu elektromobilů v ČR [35]	30
Graf 5 Roční kapacita akumulátorů pro 2nd life [43]	37
Graf 6 Vývoj ceny lithiových baterií [51]	50
Graf 7 Degradace baterie v závislosti na ujetých kilometrech [53] [54]	52
Graf 8 Vývoj ceny 2nd life baterie	54
Graf 9 Závislost ceny 2nd life baterie na volbě koeficientu poptávky	55
Graf 10 Vývoj ceny služby FCP	57
Graf 11 Závislost NPV na počtu baterií strategie 1	65
Graf 12 Závislost NPV na poruchovosti článků strategie 1	66
Graf 13 Závislost NPV na počtu dealerství strategie 2	69
Graf 14 Závislost NPV na připojeném výkonu strategie 2	70

Seznam rovnic:

Rovnice 1 Výpočet pokuty při překročení emisních limitů CO ₂	25
Rovnice 2 Výpočet změny výkonu bloku pro proces FCP [48].....	41
Rovnice 3 Ocenění 2nd life baterie [52]	51
Rovnice 4 Výpočet koeficientu stavu [52].....	51
Rovnice 5 Výpočet současné hodnoty dodané energie [52]	52