

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Druhotné využití trakčních akumulátorů elektrických vozidel

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Disertační práce

Ing. Veronika Štekerová

2022

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracovala samostatně pod vedením školitele a uvedla jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.“

.....
Ing. Veronika Štekerová

Poděkování

Zde bych ráda poděkovala své konzultantce Ing. Veronice Hartové, Ph.D., která mi byla po celou dobu doktorského studia neocenitelnou podporou a pomocníkem. Poděkování patří také vedoucímu Katedry vozidel a pozemní dopravy, panu doc. Ing. Martinu Kotkovi, Ph.D., který byl pro mou práci také velkým přínosem a mohla jsem se na něj kdykoliv obrátit. Mé poděkování patří v neposlední řadě i e-mobilitnímu týmu (VAP/3) ŠKODA Auto a.s., kde jsem měla možnost spolupracovat po celou dobu s odborníkem v oblasti elektromobility panem Ing. Janem Špatným, který mi byl po dobu doktorandského programu v rámci ŠKODA Auto mentorem a rozvíjel mé znalosti.

A pak je tu rodina. Děkuji svým rodičům, za to, že jsou jací jsou a měla jsem díky nim možnost studovat na vysoké škole. Do svého jediného dítěte vložili veškeré svoje naděje a doufám, že jsem je nezklamala.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou trakčních akumulátorů elektrických vozidel (EV). V blízké budoucnosti doslouží velký objem baterií, které slouží jako pohon pro EV. Tyto baterie si však stále mohou uchovat kapacitu, která by mohla být využita v aplikacích druhého života baterií, například právě pro akumulaci elektrické energie z fotovoltaických panelů v rámci domácnosti. Díky tomu se baterie mohou stát součástí cirkulární ekonomiky, místo toho, aby se staly odpadem.

První fáze byla ověření deklarovaných parametrů vybraných elektrických vozidel. Ověření se provádělo v rámci testovacích jízd s jednotlivými vozidly na předem stanovené trase. Testovací jízdy byly prováděny v různých ročních obdobích, aby bylo vidět, jaký vliv má na trakční akumulátor například chladnější počasí.

Pro rozvoj projektů, kde lze využít vyřazené trakční akumulátory je nutný dostatečný počet baterií a s tím je tedy úzce spojený rozvoj elektromobility na našem území, který bez kvalitní infrastruktury nemůže nastat. Je tedy potřeba zhodnotit stávající infrastrukturu s nápady o její rozšíření, spolu s analýzou připravenosti elektrické přenosové soustavy ČR k zásobování elektrických vozidel na našem území, protože i to může mít vliv na elektromobilitu jako takovou. Pro pochopení, kdy vlastně baterie jako taková může skončit svůj první život v elektrickém vozidle, je v další kapitole popsán její životní cyklus.

V neposlední řadě je věnována pozornost i samotné metodice pro klasifikaci baterií, že je vhodná pro 2nd Life využití. Ne všechny baterie totiž lze efektivně využít dále a pro některé baterie je nutné zvolit variantu recyklace. Proto se práce zaměřuje na možnost vhodného posouzení.

Díky spolupráci se společností ŠKODA Auto a.s. se podařilo získat data z pilotního projektu, kde hrají hlavní roli právě 2nd Life baterie, které jsou využity jako akumulátor elektrické energie. Současný stav tohoto pilotního projektu je v práci uveden.

Klíčová slova: životní cyklus, recyklace, 2nd Life, cirkulární ekonomika

Abstract

The dissertation deals with the issue of traction electric batteries of electric vehicles (EV). It is expected that large volume of batteries will be used in the future. Those batteries serve as a drive for EV. However, these batteries can still retain the capacity that could be used in second-life battery applications, for example to store electricity from photovoltaic panels in the home. As a result, batteries can become part of the circular economy instead of becoming waste.

The first phase was the verification of the declared parameters of selected electric vehicles. The verification was performed as part of test drives with individual vehicles on a predetermined route. The test runs were carried out at different times of the year to see the effect of external conditions, for example colder weather on the traction battery.

A sufficient number of batteries is required for the development of 2nd Life projects as well as for the development of electromobility in our territory. This development cannot occur without quality infrastructure which is very closely connected with this. Therefore it is necessary to evaluate the existing infrastructure and bring new ideas for its expansion. This is addressed in another part of the work together with an analysis of the readiness of the Czech electricity transmission system to supply electric vehicles in our territory.

The next chapter is focused on life cycle of EV batteries. It is important to understand when the battery itself can end its first life in an electric vehicle. Once the battery has reached the end of its life, it can be classified as a 2nd Life battery. Then it is ready to be reused and avoid high recycling costs.

Last but not least, attention is paid to the methodology for battery classification, that it is suitable for 2nd Life use. Not all batteries can be used efficiently and for some batteries it is necessary to choose a recycling option. Therefore, the work focuses on the possibility of appropriate assessment.

Thanks to the cooperation with ŠKODA Auto we managed to obtain data from a pilot project. Batteries in this project play a major role and server as an electricity accumulator. The current state of this pilot project is presented in the work.

Key words: life cycle, recycling, 2nd Life, circular economy

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Literární přehled.....	3
2.1	Elektromobilita.....	3
2.2	Elektrická vozidla.....	5
2.2.1	Hybridní vozidla.....	8
2.3	Trakční akumulátor.....	11
2.3.1	Typy akumulátorových článků dle chemické technologie.....	12
2.3.2	Typy akumulátorových článků dle geometrie.....	16
2.4	Dobíjení elektrických vozidel.....	19
2.4.1	AC Nabíjení - pomalé.....	21
2.4.2	DC Nabíjení - rychlé.....	22
2.4.3	Veřejné dobíjení.....	23
2.4.4	Domácí/Soukromé nabíjení.....	25
2.5	Energetický mix České republiky.....	28
2.6	Recyklace trakčního akumulátoru.....	30
2.6.1	Recyklační náklady.....	31
2.7	2nd Life.....	32
3	Cíle disertační práce.....	34
3.1	Stanovení vědeckých hypotéz.....	34
4	Metodika disertační práce.....	35
5	Vlastní zpracování disertační práce.....	36
5.1	Metodika testovacích jízd.....	36
5.1.1	Testovaná vozidla.....	36
5.1.2	Přístrojové vybavení.....	40
5.1.3	Testovací trasa.....	42
5.1.4	Průběh testovacích jízd.....	43
5.2	Výsledky testovacích jízd.....	44
5.3	Charakteristika stávající infrastruktury dobíjecích stanic.....	46
5.3.1	Návrh pro posílení infrastruktury dobíjecích stanic.....	49
5.4	Analýza připravenosti elektrické přenosové soustavy ČR k zásobování elektrických vozidel na našem území.....	51

5.5	Charakteristika životního cyklu baterie.....	56
5.5.1	Výroba baterie.....	56
5.5.2	Manipulace a baterií	57
5.5.3	Využití ve vozidle	57
5.5.4	Oprava baterie	58
5.5.5	Recyklace baterie	58
5.5.6	2nd Life baterie	62
5.6	Analýza využití bateriového úložiště v komerční sféře.....	63
5.7	Analýza použití baterií z elektrických vozidel označovaných jako 2nd Life pro bateriová úložiště....	67
5.8	Bateriové úložiště	70
5.8.1	Auto Podbabská - Energy storage	72
5.8.2	Domácí bateriové úložiště.....	75
5.8.3	Pilotní projekt 2nd Life.....	78
5.9	Návrh metodiky pro využití vyřazených trakčních akumulátorů z elektrických vozidel.....	99
5.9.1	Analýza mechanického stavu baterie.....	100
5.9.2	Klasifikace baterie	100
5.9.3	Transport baterie	101
5.9.4	Skládání použitých baterií.....	102
5.9.5	Analýza "state of health" článků / modulů (SOH).....	103
6	Vyhodnocení hypotéz.....	105
6.1	Hypotéza č. 1 - <i>druhotné využití trakčních akumulátorů</i>	106
6.2	Hypotéza č. 2 - <i>teplota ovzduší</i>	108
6.3	Hypotéza č. 3 – <i>deklarovaná spotřeba</i>	110
6.4	Hypotéza č. 4 - <i>pokrytí spotřeby</i>	111
7	Diskuze.....	115
8	Závěr a doporučení.....	118
9	Seznam použitých zdrojů.....	121
10	Publikační činnost	130
10.1	Článek Scopus.....	130
10.2	Článek ve sborníku z akce (publikovaná přednáška – proceeding)	130
11	Přílohy	131

Seznam obrázků

Obrázek 1 Plnění emisních limitů CO ₂ [12].....	4
Obrázek 2 Typy elektrických vozidel [17]	6
Obrázek 3 Druhy pohonů [18].....	7
Obrázek 4 Dělení hybridů podle uspořádání jejich hnacího ústrojí [19]	9
Obrázek 5 Stupně elektrifikace [21].....	10
Obrázek 6 Trakční akumulátor [23]	11
Obrázek 7 Schéma Li-ion cylindrického článku [31].....	17
Obrázek 8 cylindrický článek - typ 18650 [31].....	17
Obrázek 9 Schéma prizmatického článku [31]	18
Obrázek 10 "Pouch cell" [31].....	19
Obrázek 11 Nafouknutá "pouch cell" [31].....	19
Obrázek 12 AC vs. DC dobíjení [33].....	20
Obrázek 13 Nabíjení lithium-iontového akumulátoru [35]	21
Obrázek 14 Konektor Mennekes Type 2 [38]	22
Obrázek 15 Konektory CCS2 a ChaDeMo [38].....	23
Obrázek 16 ICEing [42].....	24
Obrázek 17 Nabíjení z běžné zásuvky [46].....	26
Obrázek 18 Nabíjení z vícefázové nabíječky.....	27
Obrázek 19 Nabíjení z Wallboxu [49].....	28
Obrázek 20 Vývoj recyklačních nákladů	31
Obrázek 21 Diagnostická jednotka TEXA [93].....	40
Obrázek 22 Diagnostická jednotka VAG-COM [95]	41
Obrázek 23 BOSCH diagnostika KTS 590 [96]	42
Obrázek 24 Testovací trasa	43
Obrázek 25 Fiat 500e.....	45
Obrázek 26 Volkswagen eGolf	46
Obrázek 27 Provozovatelé veřejných dobíjecích stanic [70].....	47
Obrázek 28 Vývoj počtu dobíjecích stanic v ČR [71]	48
Obrázek 29 Mapa dobíjecích stanic [73].....	49
Obrázek 30 Dobíjecí infrastruktura na Šumavsku [73].....	50
Obrázek 31 Dobíjecí infrastruktura okolí České Lípy [73]	51
Obrázek 32 Struktura instalovaného výkonu elektráren ČR k 31. 12. 2019 [78].....	52
Obrázek 33 Predikce vývoje elektromobility [78].....	53
Obrázek 34 Vliv elektromobility na TNS jakožto jednoho z nástrojů dekarbonizace konečné spotřeby elektřiny k roku 2050 [78]	53
Obrázek 35 Nárůst počtu elektrických vozidel na našem území [82]	55
Obrázek 36 Životní cyklus baterie [83]	56
Obrázek 37 Bateriové úložiště ČEZ [86].....	64

Obrázek 38 Bateriové úložiště E.ON [88].....	65
Obrázek 39 Bateriové úložiště Solar Global [90]	65
Obrázek 40 Bateriové úložiště C-Energy Planá [91].....	66
Obrázek 41 Průměrná hodnota C (IN)	69
Obrázek 42 Průměrná hodnota C (OUT)	69
Obrázek 43 Projekt Advanced Battery Storage [94]	71
Obrázek 44 Bateriové úložiště ŠKODA Auto [95]	73
Obrázek 45 Dobíjecí stanice Auto Podbabská [95].....	74
Obrázek 46 Kompaktní all-in-one bateriové úložiště DES [97].....	75
Obrázek 47 UV index 12.8.2021 [99]	79
Obrázek 48 Globální záření 12.8.2021 [99]	80
Obrázek 49 UV index 11.11.2021 [100]	80
Obrázek 50 Globální záření 11.11.2021 [100]	81
Obrázek 51 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	82
Obrázek 52 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	82
Obrázek 53 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 10.11.2021.....	83
Obrázek 54 Pokrytí spotřeby 10.11.2021	84
Obrázek 55 Pokrytí spotřeby 11.11.2021	84
Obrázek 56 Pokrytí spotřeby (Bateriové úložiště F).....	86
Obrázek 57 Predikce spotřeby pro rok 2022 a jejího pokrytí.....	87
Obrázek 58 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	87
Obrázek 59 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	88
Obrázek 60 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	88
Obrázek 61 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	89
Obrázek 62 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	89
Obrázek 63 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	90
Obrázek 64 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	90
Obrázek 65 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	91
Obrázek 66 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	91
Obrázek 67 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	92
Obrázek 68 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	92
Obrázek 69 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	93
Obrázek 70 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	93
Obrázek 71 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	94
Obrázek 72 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	94
Obrázek 73 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	95
Obrázek 74 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	95
Obrázek 75 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	96
Obrázek 76 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021	96
Obrázek 77 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021.....	97

Obrázek 78 Vývojový diagram Metodiky využití 2nd Life baterie	99
Obrázek 79 Stanovení zdravotního stavu li-ion baterií: výrobní přístup nevratné entropie [101]	103
Obrázek 80 Diagram pro určení správného testu [102].....	105
Obrázek 81 Krabicový graf naměřené hodnoty C bateriových úložišť	107
Obrázek 82 Krabicový graf pro Hypotézu 2	109
Obrázek 83 Krabicový graf pro Hypotézu 3	111
Obrázek 84 Krabicový graf pro Hypotézu 4 - průměr	113
Obrázek 85 Krabicový graf pro hypotézu 4 – přehled měsíců	114

Seznam tabulek

Tabulka 1 Složení energetického mixu ČR [50]	29
Tabulka 2 Přehled vybraných elektrických vozidel.....	37
Tabulka 3 Testovaná elektrická vozidla.....	37
Tabulka 4 Výsledky měření.....	44
Tabulka 5 Přehled počtu EV na dobíjecí bod	49
Tabulka 6 Průměrná spotřeba elektrického vozidla za rok.....	54
Tabulka 7 Průměrná spotřeba elektrických vozidel v rámci ČR	54
Tabulka 8 Nárůst spotřeby elektrické energie	54
Tabulka 9 Průměrné hodnoty C bateriových úložišť	70
Tabulka 10 Modelový příklad rodinného domu	76
Tabulka 11 základní parametry solárních panelů	77
Tabulka 12 Cenová kalkulace	77
Tabulka 13 Úspora za elektrickou energii	77
Tabulka 14 Doba návratnosti.....	78
Tabulka 15 Charakteristika bateriových úložišť	78
Tabulka 16 Informace o Slunci 12.8.2021 [99].....	79
Tabulka 17 Informace o Slunci 11.11.2021 [100]	80
Tabulka 18 Průměrné pokrytí spotřeby domu baterií a FVE	85
Tabulka 19 Průměrné pokrytí spotřeby domu baterií.....	85
Tabulka 20 Průměrná denní spotřeba vs. průměrná denní výroba FVE.....	86
Tabulka 21 Souhrn průměrné denní spotřeby domácnosti a průměrné denní výroby FVE.....	97
Tabulka 22 Hodnota C z bateriových úložišť	106
Tabulka 23 Statistické výsledky pro hypotézu 1	107
Tabulka 24 Průměrné naměřené spotřeby při teplotě -10 °C a 10 °C.....	108
Tabulka 25 Statistické výsledky pro Hypotézu 2	109
Tabulka 26 Statistické výsledky pro hypotézu 3	111
Tabulka 27 Statistické výsledky pro hypotézu 4	114

Seznam zkratek

HV (High voltage) = Vysoké napětí: Pro účely tohoto dokumentu se stejnosměrné a střídavé napětí nad 50 V považuje za „vysoké napětí“.

DC (Direct current) = Stejnosměrný proud: DC je jednosměrný nebo elektrický proud proudící v konstantním směru, čímž se odlišuje od střídavého proudu (AC).

AC (Alternating current) = Střídavý proud: AC je elektrický proud, který periodicky obrací polaritu a mění svou velikost kontinuálně s časem na rozdíl od stejnosměrného proudu (DC), který proudí pouze jedním směrem.

BMS (Battery management system) = systém správy baterie: Primární funkcí BMS je monitorování článků nebo bateriových modulů, aby bylo zajištěno, že všechny parametry (například teplota nebo úroveň napětí) jsou v povolených mezích. Sekundární funkcí může být ovládání vyvažovacích systémů, bezpečnostní funkce, jako je reakce na signál havárie nebo výpočet dalších hodnot, jako jsou SOC, SOH nebo Ri.

FVE = fotovoltaická elektrárna

SOC (State of Charge) = stav nabití: Jedná se o úroveň zbývajících nabití baterie, obvykle vyjádřené v %.

SOH (State of Health) = Jedná se o skutečnou kapacitu ve srovnání s původní kapacitou baterie, obvykle se zobrazuje v %. Tato proměnná ukazuje stárnutí baterie.

Ri = vnitřní odpor článků baterie, obvykle udávaný v Ohmech.

ES, Energy Storage, Energetické úložiště = zařízení navržené a vyrobené pro skladování elektrické energie (pro účely tohoto dokumentu) v lithium-iontových bateriích.

ADR (Accord Dangereuses Route) = formálně Evropská dohoda ze dne 30. září 1957 o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí, je smlouvou OSN z roku 1957, která upravuje mezinárodní přepravu nebezpečných materiálů.

1 Úvod

Celosvětová poptávka po elektrické energii roste díky zvýšené elektrifikaci mnoha odvětví ekonomické činnosti a zvýšenému zaměření na udržitelnou spotřebu. Současně se zvyšuje podíl čisté elektřiny vyrobené přechodnými, obnovitelnými zdroji, jako je větrná a solární energie. Ať už lidé cestují autem, vlakem, letadlem, lodí nebo se jedná o dopravu zboží, výsledkem je produkce emisí CO₂. Z hlediska ekologie jsou nyní výrobci vozidel nuceni Evropskou Unií ke snížení emisí a snaze o výrobu dopravních prostředků, jejichž zátěž bude pro životní prostředí co možná nejmenší. Dále je požadováno, aby energie pro jejich pohon byla v nejlepším případě z obnovitelných zdrojů. Z tohoto důvodu vzniká v současné době mnoho nových modelů vozidel poháněných elektrickou energií nebo jiným alternativním pohonem.

Bateriová elektrická vozidla (BEV) jsou považována za slibnou technologii, která by mohla vést k dekarbonizaci flotily lehkých užitkových vozidel a k nezávislosti na fosilních palivech. Právě limitované zásoby fosilních paliv jsou stejně jako emise skleníkových plynů jedny z hnacích sil pro rychlý vývoj a zavádění elektrických vozidel. V důsledku nedávného pokroku v bateriových technologiích se prodej elektrických vozidel rok od roku zvyšuje [1].

Elektrická vozidla jsou podporována v posledních letech hlavně díky rostoucímu zájmu o životní prostředí a klima. Elektrická vozidla by mohla snížit závislost Evropské Unie na zahraniční ropě a současně snížit znečištění z dopravy. Míra, do jaké se účinně sníží znečištění prostředí, však bude záviset na jejich podílu na celkovém vozovém parku a také na tom, jak šetrné k životnímu prostředí zůstanou po celý svůj životní cyklus [2].

Dle studie International Energy Agency (IEA), bylo v roce 2010 na světových silnicích zhruba 17 000 elektromobilů. Do roku 2019 se tento počet zvýšil na 7,2 milionu a z toho 47 % elektrických vozidel bylo v Čínské lidové republice. Devět zemí mělo na silnicích více než 100 000 elektromobilů a nejméně 20 zemí dosáhlo tržních podílů nad 1 %. V roce 2017 očekávala IEA, že do roku 2020 vzroste počet elektrických vozidel na 18 milionů, což se nestalo. V roce 2019 se prodalo 2,1 milionu elektrických vozidel a to představuje 6% nárůst oproti předchozímu roku. Počet elektrických vozidel tedy stále narůstá a jejich přínos může zemím pomoci splnit jejich environmentální cíle. V mnoha zemích je již vlády začlenily do svých plánů a vyvinuly pobídky, které jim pomohou proniknout na trh. Dotace ze strany státu však zatím v České Republice nebyla podpořena [1, 3].

Podle předpovědí IEA by podíl elektrických vozidel na evropském trhu mohl v roce 2030 činit přibližně 23 %, což znamená, že do roku 2030 vzroste jejich počet na 125 až 220 milionů, pokud vezmeme v úvahu všechna vozidla silniční dopravy kromě dvoukolových a tříkolových vozidel. Vzhledem k tomu, že řada výrobců motorových vozidel oznámila, že v nadcházejících letech zastaví uvádění nových benzinových a naftových modelů na trh a uvede pouze plně elektrické nebo hybridní, je pravděpodobné, že se nabídka elektrických vozidel zvýší a jejich ceny poklesnou. Tento nárůst ovlivní především západní země, jako jsou Německo, Nizozemsko nebo Francie [2].

Přestože jsou elektrická vozidla šetrnější k životnímu prostředí než vozidla s běžným spalovacím motorem, recyklace trakčních akumulátorů na konci jejich životnosti v elektrickém voze může být problém. Důvodem je obsah materiálů a látek, které mohou poškodit lidské zdraví a také životní prostředí. Výrobci automobilů se proto domnívají, že i když tyto baterie dokončí svůj první život v elektrickém vozidle, stále obsahují dostatek energie a kapacity pro druhotné využití tzv. 2nd Life baterie, což může významně přispět ke zvýšení kvality udržitelné dopravy [4, 5].

Výrobci elektrických vozidel obvykle doporučují výměnu trakčních akumulátorů, když jejich stav zdraví (SOH = State of health) poklesl na přibližně 70 - 80 % nebo po 8 letech či najetých 160 000 km [6]. Pokud dojde k překročení některé z těchto hranic, nelze ve vozidle zaručit deklarované provozní parametry, zejména pokud jde o ujetou vzdálenost na jedno nabití, což je ve většině případů důsledkem ztráty kapacity baterie [7]. I po takové ztrátě kapacity však mohou tyto trakční akumulátory mít stále dostatek energie na to, aby mohly být použity pro jiné, méně náročné účely v rámci 2nd Life, jako je např. bateriové úložiště a lze je tedy znovu využít a oddálit konečnou fázi recyklace až o 20 let, přičemž následná recyklace představuje pozitivní příjmy [8]. Očekává se, že do roku 2025 dosáhne konce své životnosti 250 000 tun lithium-iontových baterií z elektrických vozidel [9].

Díky tomu, že bateriové úložiště má mnohem nižší požadavky na trakční akumulátor než elektrické vozidlo, jedná se o efektivní využití trakčního akumulátoru jinak určeného k recyklaci.

2 Literární přehled

Elektromobilita je v současné době aktuální téma. Hlavními pojmy jsou mimo jiné elektrická vozidla, typy akumulátorů, dobíjení elektrických vozidel, energetický mix ČR, recyklace trakčního akumulátoru a s tím spojené recyklační náklady a v neposlední řadě je zde popsán princip 2nd Life.

2.1 Elektromobilita

Mnoho průmyslových odvětví se v současné době zabývá elektromobilitou. Automobilový průmysl však investuje nejvíce peněz do elektromobility a ačkoli má elektrické vozidlo takzvaně výfuk jinde, jsou jeho lokální emise nulové. To je jeden z hlavních důvodů proč je elektromobilita kladně přijímána zejména v oblastech velkých měst, kde je kladen důraz na snižování lokálních emisí, zejména z dopravy [10].

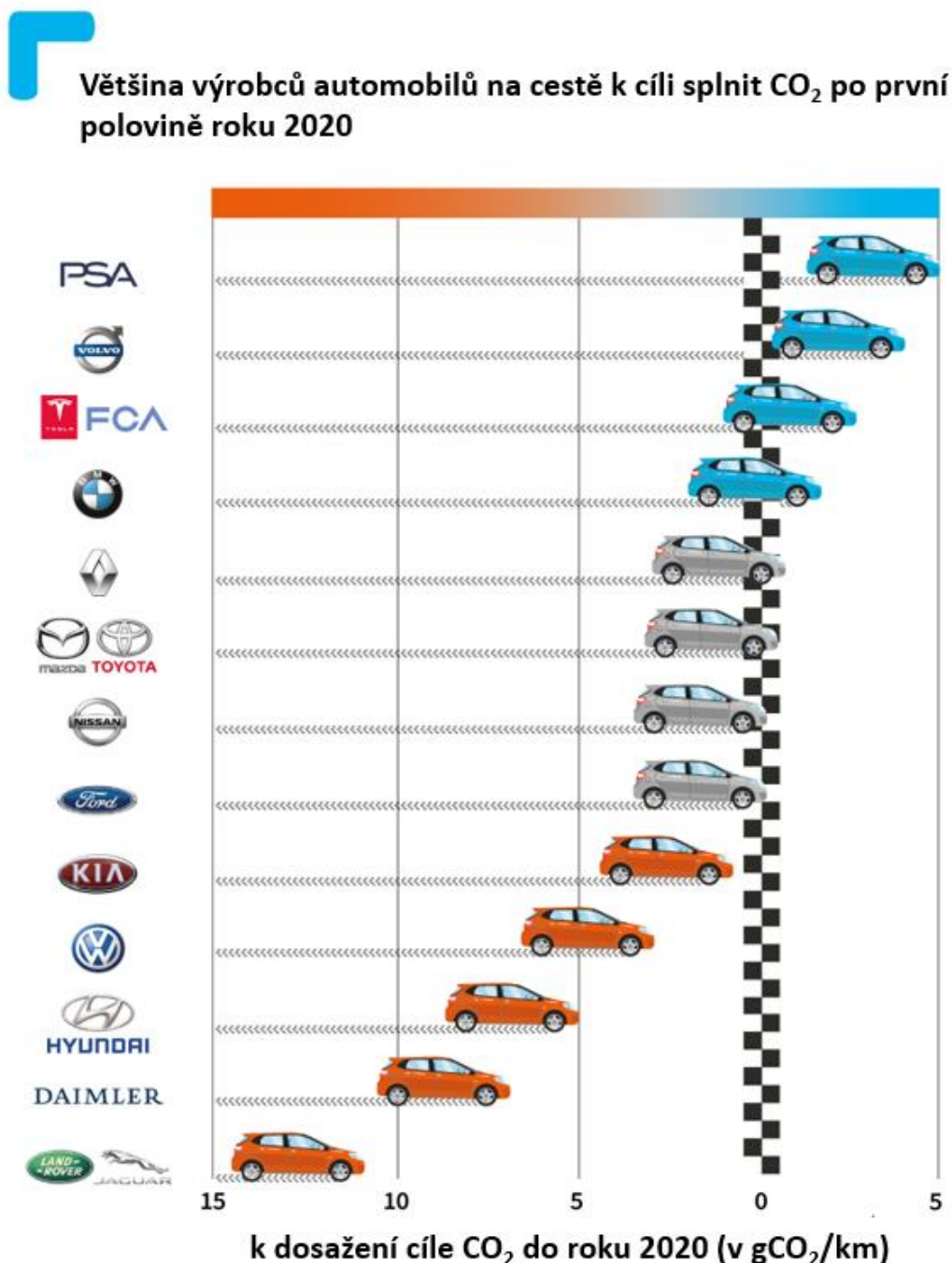
Díky současnému politickému tlaku nyní výrobci automobilů směřují k vývoji a výrobě elektromobilů. Tento tlak je způsoben především požadavky kladenými na ekologické předpisy o CO₂. Stávající nařízení EU 443/2009 stanovilo výkonové emisní normy pro nově vyrobené osobní automobily jako součást integrovaného přístupu Společenství ke snižování emisí CO₂. Emisní limity stanovené pro nová vozidla jsou 130 g CO₂ na km. Přísnější emisní limity dle Euro 7 podporují rychlejší rozvoj vozidel s alternativními pohony. Vozidla, která budou uvedena na trh po roce 2020, totiž musí vypouštět v průměru maximálně 95 g CO₂ na km. Tato úroveň emisí odpovídá spotřebě paliva kolem 4,1 l / 100 km benzínu nebo 3,6 l / 100 km nafty. Tento nový cíl se postupně zavádí v roce 2020 a od roku 2021 vejde v platnost. Pokud bude tento limit překročen, hrozí výrobcům automobilů finanční pokuty [11].

Na obrázku 1 lze vidět, jak výrobci automobilů plní emisní limity za první polovinu roku 2020. Analýza ukazuje, že přestože se tržní podíl elektrických vozidel v letošním roce zvýšil z 3 % na 10 %, a v příštím roce se zvýší na 15 %, můžeme očekávat, že se o čtyři roky později dočkáme pouze 20% podílu. Norsko ukazuje, jak rychle může trh s elektromobily růst: od 6 % tržeb v roce 2013 na téměř 50 % o pět let později, v roce 2018 [12].

Je znepokojivé, že prodej lukrativních a zároveň vysoce znečišťujících SUV se v první polovině roku 2020 vyšplhal na 39 %. Polovina všech dnes prodávaných elektrických vozidel

jsou takzvaně „falešně elektrické“ plug-in hybridy, které jsou zřídka nabíjeny a reálně emitují 2–4x více CO₂, než ukazují laboratorní testy. Transport & Environment (T&E), uvedla, že EU musí stanovit nejpozději rok 2035 jako konečné datum prodeje spalovacích motorů - včetně současné technologie PHEV [12, 13].

Obrázek 1 Plnění emisních limitů CO₂ [12]



Analýza společnost T&E ukazuje, že skupiny PSA (PSA = Peugeot Sociétés Anonyme), Volvo, FCA-Tesla a BMW Group již plní cíl EU týkající se průměrných emisí nových

automobilů na základě jejich prodeje v první polovině roku 2020. Renault, Nissan, Toyota-Mazda a Ford mají malou mezeru téměř 2 gramy CO₂ na km. Samotný prodej modelu Zoe v roce 2020 přinese 15 g CO₂, což pomůže zajistit, aby Renault vyhověl [12].

Koncerny Volkswagen (5 g), Hyundai-Kia (7 g - 3 g), Daimler (9 g) a Jaguar-Land Rover (13 g), by měly překročit hranice buď prostřednictvím svých strategií ohledně prodeje více plug-in hybridů, sdružením emisí s jinými společnostmi, nebo obojím. Očekává se, že Daimler překoná velkou část mezery vyšším prodejem svých plug-in hybridů, včetně třídy E, třídy C, třídy A a GLC - jejichž prodej v loňském roce rychle vzrostl [12].

2.2 Elektrická vozidla

Jedná se o velmi rozsáhlý pojem a ve svém nejširším smyslu zahrnuje jakýkoliv vůz, který využívá ke svému pohonu elektrickou energii. Elektrovozidla lze rozdělit na několik kategorií:

A) BATERIOVÁ ELEKTRICKÁ VOZIDLA (BEV)

Zkráceně BEV (z anglického Battery Electric Vehicles), využívají k pohonu pouze elektromotor bez spalovacího motoru. Pro jejich funkci využívají elektrickou energii, kterou získávají primárně z dobíjecích stanic a uchovávají elektřinu pomocí vysokokapacitních akumulátorů. Jejich energie z baterie se používá k chodu elektromotoru a veškeré palubní elektroniky. BEV nevydávají žádné škodlivé emise a rizika způsobená tradičními vozidly se spalovacími motory. BEV jsou nabíjeny elektřinou z externího zdroje [14, 15].

B) HYBRIDNÍ ELEKTROVOZIDLA (HEV)

Zkráceně HEV (z anglického Hybrid Electric Vehicles), se od BEV liší spalovacím motorem, který se ve vozidle nachází spolu s elektromotorem, který umožňuje městský provoz bez emisí, spalovací motor mimo město umožňuje dobré jízdní výkony a velké dojezdy. HEV jsou poháněny tedy jak spalovacím motorem, tak elektřinou. Elektrická energie je generována motor-generátorem v režimu brzdy. To se nazývá „regenerativní brzdění“. Jde o proces, při kterém elektromotor pomáhá zpomalit vozidlo a využívá část energie, kterou brzdy normálně přeměňují na teplo. Elektromotor pracuje obousměrně, jednak jako motor, kdy převádí

elektrickou energii z baterie na energii mechanickou a jedná jako generátor, kdy využívá mechanickou energii k výrobě elektrické energie a dobíjí tak trakční akumulátor [14, 15].

C) PLUG-IN HYBRIDNÍ ELEKTROVOZIDLA (PHEV)

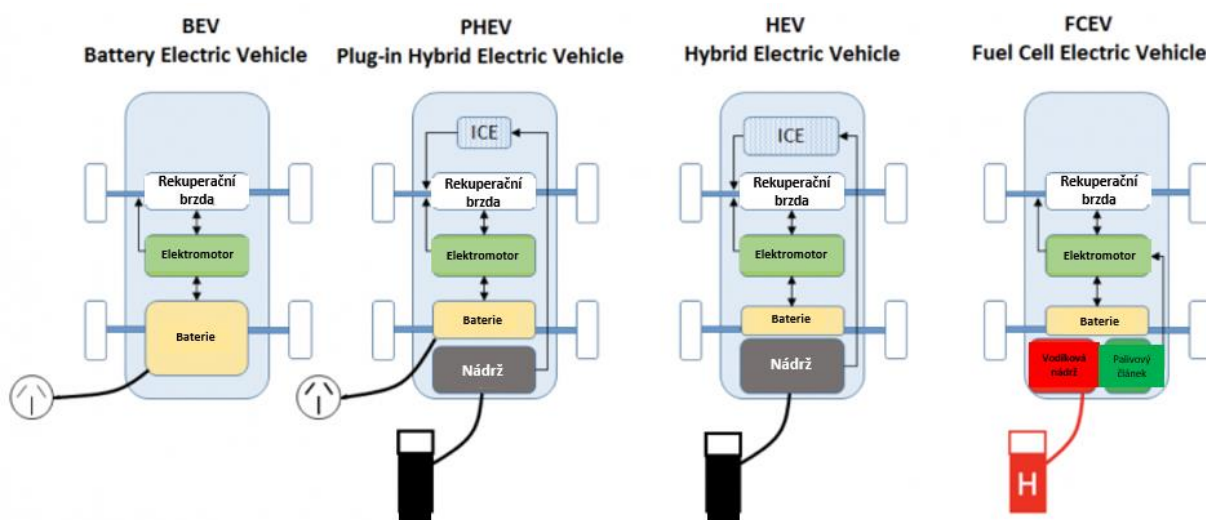
Zkráceně PHEV (anglického Plug-in Hybrid Electric Vehicles), fungují podobně jako vozy s hybridním pohonem. PHEV tak mohou nabíjet baterii prostřednictvím rekuperačního brzdění či „připojením“ k externímu zdroji elektrické energie. Modely PHEV mohou ujet vzdálenost od 10 až 40 km, než jim jejich spalovací motory poskytnou pomoc. Řidič může přepnout na režim, který šetří akumulátor a se spalovacím motorem absolvovat jen delší cesty [14, 15].

D) ELEKTROVOZIDLA S PALIVOVÝMI ČLÁNKY (FCEV)

Zkráceně FCEV (z anglického Fuel Cell Electric Vehicles), jsou dnes téměř výhradně na vodík. Elektrovozidlo na vodíkový pohon má, stejně jako BEV, pouze elektromotor. Liší se ale způsobem uchovávání, respektive získáváním elektrické energie – větší část trakční energie je u FCEV nahrazena nádrží na vodík a sestavou tzv. palivových článků. V těch se nachází vodík, který se chemickou reakcí přeměňuje na elektřinu a vodní páru. Ačkoliv se to jeví jako velice slibné řešení, vzhledem ke konstrukční složitosti a výrobním nákladům zůstává vodík zatím hubbou budoucnosti [16].

Konkrétní typy elektrických vozidel a jejich konstrukční uspořádání a zdroje paliva, lze vidět na obrázku 2.









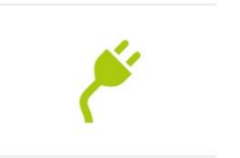

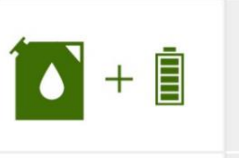
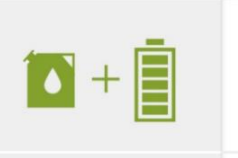





Obrázek 2 Typy elektrických vozidel [17]



Elektrická vozidla mají skvělou akceleraci a nízkou spotřebu. Jejich hlavní výhodou však stále zůstává lokální bezemisní provoz. V blízké budoucnosti bude ale možné elektrovozidlo využít i jako chytrý akumulátor přebytečné energie a poslouží tak jako velká powerbanka pro komerční využití nebo pohon domácností [14].

Rozdíl mezi konvenčním, hybridním, plug-in hybridním a elektrickým pohonem je vidět na obrázku 3.

Obrázek 3 Druhy pohonů [18]

					
		KONVENČNÍ	HYBRID	PLUG-IN HYBRID	ELEKTRICKÉ
ZDROJ ENERGIE					
SPOTŘEBA					
EMISE					

V současné době se pořizovací náklady na elektrické vozidlo pomalu přibližují cenám klasických konvenčních automobilů. Pod kapotou elektrických vozidel není většina součástí, které mají co do činění s mazivou. Servis a údržba elektrických vozidel je díky tomu tak výrazně levnější a ekologičtější. Trakční akumulátor elektrických vozidel zvládne řádově stovky tisíc dobíjecích cyklů, a když doslouží v elektrickém vozidle, vznikající trh s bateriemi umožní jejich odkup [14].

2.2.1 Hybridní vozidla

Hybridní pohon kombinuje elektřinu a spalovací motor, ve kterém obvykle využívá energii benzínu. Hybridní elektromobily lze rozdělit dvěma způsoby. Prvním způsobem je dělení podle uspořádání jejich hnacího ústrojí na sériové, paralelní a kombinované hybridy [14].

A) SÉRIOVÝ HYBRID

Je poháněn vždy jen elektrickým motorem. Jeho spalovací motor slouží pouze pro dobíjení baterií a jednotlivé komponenty systému jsou uspořádány vzájemně za sebou. Spalovací motor zde funguje v podstatě jako generátor elektrické energie a hybridní elektrické vozidlo je poháněno pouze elektromotorem. Díky tomu tak má mnohem blíže ke klasickému elektromobilu. Jestliže akumulátory nemohou pokrýt momentální potřebu energie, spalovací motor je automaticky nastartován. Nevýhodou sériového uspořádání je vícenásobná přeměna energie. Vzhledem k účinnosti nabití akumulátoru je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a hnanou nápravou sítě větší než 55 %. Nejsilnější stránkou je městský provoz, a především jízda stylem stop-and-go. Při té dosahuje spalovací motor konvenčních vozidel relativně nízké efektivity [14, 18].

B) PARALELNÍ HYBRID

Oproti sériovému hybridu je paralelní hybrid efektivnější při vyšších rychlostech, kdy dokáže v případě potřeby využít výkonový potenciál, který je poskytovaný kombinací obou motorů. Při tomto uspořádání je spalovací motor a elektromotor propojen společnou převodovkou. Toto uspořádání umožňuje pohánět vozidlo buď pouze spalovacím motorem, nebo pouze elektromotorem, nebo oběma současně. Maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám motoru spalovacího. Při provozu spalovacího motoru nedochází k rozdílu v účinnosti vůči konvenčnímu pohonu. Právě díky tomu může mít paralelní hybridní systém oproti sériovému, který má stejný výkon, menší spalovací motor i elektromotor [14, 18].

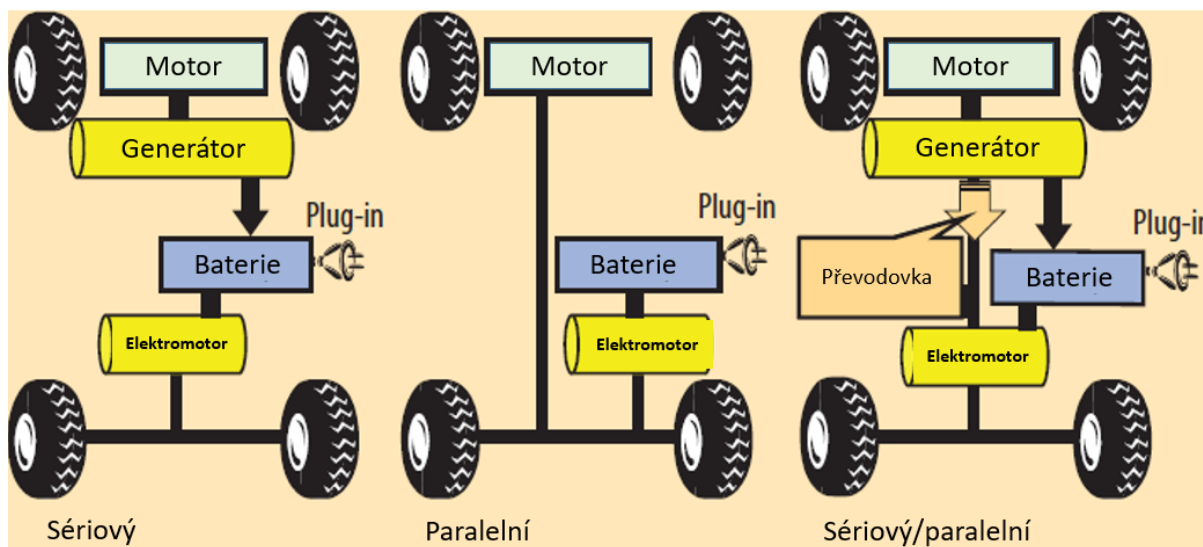
C) SÉRIOVÝ/PARALELNÍ HYBRID

Nevýhody paralelních a sériových hybridních systémů vedly k vývoji smíšeného hybridního systému. Jedná se v podstatě o kombinaci obou těchto systémů a dle potřeby umí přepnout mezi sériovým a paralelním režimem. Díky tomu tak kombinuje výhody obou dvou. Vozidlo je vybaveno spalovacím motorem i elektromotorem a pohon kol tak může být

rozmanitý. Vozidlo může být poháněno čistě elektromotorem, nebo pouze spalovacím motorem, oběma současně nebo může spalovací motor sloužit jen jako generátor elektrické energie [14, 18].

Dělení elektrických vozidel s hybridním pohonem dle uspořádání hnacího ústrojí, lze vidět na obrázku 4.

Obrázek 4 Dělení hybridů podle uspořádání jejich hnacího ústrojí [19]



Druhý způsob dělení hybridních elektrovozidel je na základě stupně jejich hybridizace. Dělí se na *micro*, *mild*, *full* a *plug-in hybridy*. To lze vidět na obrázku 5, který je dále.

A) MICRO HYBRID

Od běžných vozů se spalovacím motorem se liší tím, že má systém Start-Stop a také funkci rekuperace brzdové energie. Tato funkce je využívána k dobíjení 12 V akumulátoru, a to vede ke snížení spotřeby paliva spalovacího motoru. Tím dochází ke snížení škodlivých emisí CO₂. Jako první začal název micro hybrid používat koncern PSA [18, 20].

B) MILD HYBRID

Mild hybrid přinesl systém spojující 48 V elektromotor s tradičním spalovacím motorem, který dokáže obnovit kinetickou energii získanou při zpomalování, kterou následně využije k pohonu vozidla. Toto řešení reálně snižuje nejen spotřebu paliva, ale také emise CO₂ přibližně o 10 %. K pohonu kol však po celou dobu jízdy stále využívá spalovací motor.

Elektromotor při provozu vypomáhá spalovacímu motoru např. při rozjezdu nebo zrychlování. Bývá doplněn o pomocný akumulátor s větší kapacitou elektrické energie. Jedná se o cenově nejdostupnější hybridní řešení pro výrobce automobilů [18].

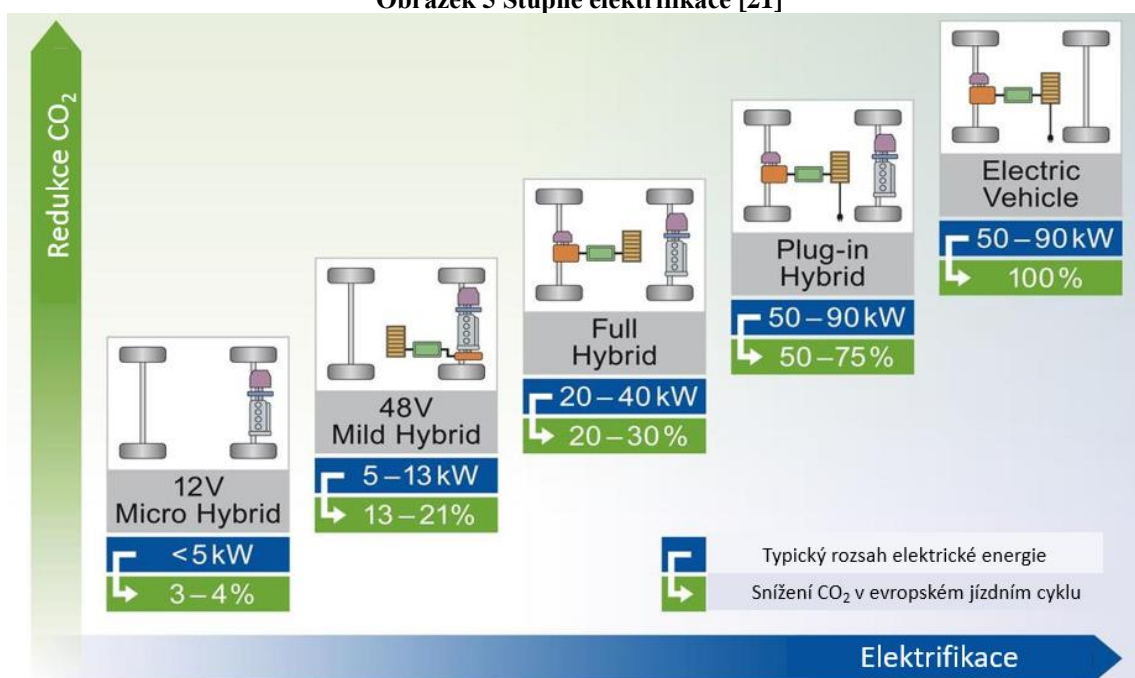
C) FULL HYBRID

Jedná se o plně hybridní vůz. To znamená, že dokáže jezdit čistě na elektrický pohon v závislosti na kapacitě baterie daného vozidla. Tradiční spalovací motor spolupracuje s elektromotorem a navzájem si pomáhají. Vyspělejší full hybridy zvládnou jízdu na elektřinu a díky rekuperaci umí především ve městě razantně snižovat spotřebu. Tento systém pracuje nejlépe s benzinovými jednotkami. Hybridy tohoto typu mají velmi dobrou životnost a také nízkou spotřebu [18].

D) PLUG-IN HYBRID

Je v technickém základu full hybrid, který je doplněný o další techniku. Rozdíl mezi full hybridem a plug-in hybridem spočívá v tom, že u full hybridu se trakční baterie dobíjí pouze rekuperací při brzdění nebo spalovacím motorem. U plug-in hybridu lze zvětšenou trakční baterii nabíjet také z externího zdroje elektrické energie - ze zásuvky či dobíjecí stanice. Díky tomu může dnes běžně dosahovat až 50 km čistě elektrického dojezdu bez nutnosti využití spalovacího motoru. V centrech velkých měst se jedná o nespornou výhodu. Tato hybridní technologie má za výsledek nejnižší produkci škodlivých emisí CO₂ [18].

Obrázek 5 Stupně elektrifikace [21]



2.3 Trakční akumulátor

Trakční akumulátor je zdrojem elektrické energie a představuje základní komponent elektrického vozidla. Tento zdroj je realizovaný jako sada sériově paralelní kombinací bateriových článků. Tyto bateriové články se nacházejí v bateriovém modulu. Bateriové moduly jsou vzájemně propojeny a uloženy na bateriovou vanu a společně s ní jsou zakryty víkem a tvoří kompaktní celek [22, 23].

Trakční akumulátor, který se využívá pro pohon elektrického vozidla, je vidět na obrázku 6.

Obrázek 6 Trakční akumulátor [23]



Základními parametry trakční elektrické baterie jsou minimální a maximální napětí, kapacita a vnitřní odpor baterie [23].

Minimální a maximální napětí jsou hranice baterie, které při překročení vedou k jejímu poškození. Kapacita baterie udává, jak velké množství energie lze do baterie uložit. Vnitřní odpor ovlivňuje, jak velké výkony je možné získat z baterie. Kapacita a vnitřní odpor ovlivňují zásadně vlastnosti elektrického vozidla. Vnitřní odpor také ovlivňuje výsledný maximální proud z baterie. A tím je ovlivněn maximální výkon. Ovlivňuje také tepelné ztráty uvnitř baterie. Je tedy zásadní pro dynamiku elektrického vozidla a nabíjecí čas baterie. Čím nižší bude vnitřní odpor, tím vyšší bude výkon [23].

Kapacita baterie se udává v kilowatthodinách (kWh) nebo ve watthodinách (Wh) a jedná se o zásobu elektrické energie. Kapacita baterie má zásadní vliv na dojezd elektrického vozidla. Čím je kapacita větší, tím je i logicky větší dojezd elektrického vozidla. Lze se setkat i s výrobcí, jako je například BMW, kteří udávají kapacitu v Ah [23].

Dojezd elektrického vozidla lze jednoduše spočítat tak, že se vydělí kapacita baterie jeho spotřebou. Ta se pohybuje u menších elektrických vozidel kolem 13 kWh/100 km. U velkých výkonných vozů, jako je SUV, je spotřeba vyšší (25 kWh/100 km) [23].

V trakční elektrické baterii s vysokým vnitřním odporem bude docházet k velkým ztrátám při odběru proudu a bude se tedy více zahřívat. Výrobci z tohoto důvodu někdy využívají aktivní chlazení baterie. Díky zkušenostem už je dnes jasné, že průměrný dojezd elektrického vozidla bude jiný v zimě a jiný v létě [23].

V zimě je dojezd elektrického vozidla kratší. Mnoho lidí a uživatelů elektrických vozidel se domnívá, že je to způsobeno vyšší spotřebou topení elektrických vozidel. Dojezd v chladnějším období ovlivní ale hlavně teplota baterie, protože na té je vnitřní odpor závislý. Pokud je teplota kolem $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, může dojít k nárůstu vnitřního odporu tak vysokému, že není možné baterii provozovat. Teploty lehce nad nulou na druhou stranu zpomalují statické stárnutí baterie. Při provozu elektrického vozidla působí vysoká teplota pozitivně na vnitřní odpor a dochází tak ke zvýšení výkonu, snížení ztrát a zrychlení nabíjení. Pokud ale dojde k překročení maximální teploty, může to vést k nevratnému poškození baterie. Pro skladování baterie se doporučuje jako nejvhodnější mírná teplota, která zpomalí stárnutí hlavně tehdy, když není elektrické vozidlo v provozu [23].

2.3.1 Typy akumulátorových článků dle chemické technologie

V současné době se používají čtyři hlavní technologie elektrických baterií: olověný, nikl-kov hydrid, lithium-iont (Li-ion) a chlorid nikl-nikl.

A) Olověný akumulátor

Jde o nejstarší známý akumulátor, který se využíval v prvních elektrických a hybridních vozidlech. V současnosti se dále hojně využívá, ale vzhledem k jeho nevýhodám, s ohledem na využití v elektrických vozidlech, se od něj dnes již upouští [24].

Zápornou elektrodu tvoří porézní olovo, kladnou elektrodu tvoří oxid olovičitý (PbO_2). Jako elektrolyt je použita kyselina sírová (H_2SO_4), případně její roztok, který je zahuštěný do formy gelu [24].

Mezi jejich hlavní výhody patří nízká pořizovací cena, vyspělá a ozkoušená technologie, pomalé samovybití, velká zatížitelnost, spolehlivost v širokém rozsahu teplot, vysoká životnost a snadná recyklace [24].

Mezi největší nevýhody, s ohledem na využití v elektrických vozidlech, patří jejich nízká energetická hustota, neekologičnost, vysoká hmotnost, nízký počet cyklů a nutnost uchovávat je v nabitém stavu. To je důvodem, proč se dnes už v elektrických a hybridních vozidlech nevyužívají. V případě hybridních systémů je ale lze nalézt v micro hybridních vozidlech. V současnosti má tento typ akumulátoru velmi dobré uplatnění u golfových vozíků [24].

B) Nikl-kadmiový akumulátor (Ni-Cd)

Tento typ akumulátoru má mnoho výhod jako například rychlé nabíjení, vysoký počet nabíjecích cyklů, celková spolehlivost i za nízkých teplot. Navzdory těmto výhodám je v současnosti na ústupu. Stále se využívá v přenosných rádiích, fotoaparátech, zdravotních zařízeních a kamerách [24, 25].

Na vině za jeho ústup je především jeho obsah toxických látek, také trpí samovybitím a na paměťový efekt. To znamená, že pokud je baterie dobíjena dříve, než je zcela vybita, dochází ke zmenšování kapacity a zkracuje se tím tak její životnost [24, 25].

Nikl-kadmiový akumulátor má poměrně malou hustotu energie a je nutná jeho pravidelná kontrola a servis. To je důvodem, proč se už pro elektrická vozidla nevyužívá. V nabitém stavu se skládá z kladné elektrody tvořené oxidem hydroxidu nikelnatého $[\text{NiO}(\text{OH})]$ a záporné elektrody, kterou tvoří kadmium. Jako elektrolyt se využívá hydroxid draselný (KOH) rozpuštěný ve vodě a napuštěný do separátoru. Jmenovité napětí článku je 1,2 V. Díky jeho nevýhodám se přechází k ostatním typům akumulátoru. To je dáno především obsahem toxických látek, samovybitím (okolo 20 % za měsíc) a nežádoucím paměťovým efektem. Ten funguje tak, že pokud se baterie dobíjí dříve, než je zcela vybita, zmenšuje tím tak svou kapacitu a zkracuje se její životnost. Tomuto jevu lze zabránit, pokud vždy po několika neúplných cyklech baterii zcela vybijeme a nabijeme na 100 % [24].

C) Nikl-metal hydridový akumulátor (Ni-MH)

Tato technologie akumulátoru se snaží eliminovat negativní vlastnosti Ni-Cd akumulátorů. Oba typy akumulátorů na bázi niklu mají dobré schopnosti krátkodobě odolávat

nízkým anebo vyšším teplotám. Výhodou oproti Ni-Cd akumulátoru je absence paměťového efektu a z důvodu nižší toxicity použitých materiálů je šetrnější k životnímu prostředí. Dále má o 30–40 % vyšší hustotu energie a menší paměťový efekt v porovnání s Ni-Cd akumulátorem, ale je nutné provádět pravidelné úplné vybití a nabití [24, 25].

Mezi jeho negativa patří nutný servis, náchylnost na úplné vybití, limitování maximálním vybíjecím proudem, nejlépe pokud se proud pohybuje mezi 0,2 – 0,5 celkové kapacity. Má také složitější algoritmus nabíjecího cyklu a je také nutné ho uchovávat v chladném prostředí. Při dlouhodobém uchovávání za zvýšené teploty dochází k trvalé degradaci [24, 25].

Kladná elektroda je složena v nabitém stavu z oxidu hydroxidu nikelnatého [NiO(OH)] a jako elektrolyt je použit vodný roztok hydroxidu draselného (KOH). Zápornou elektrodu tvoří speciální kovová slitina, která spolu s vodíkem vytváří směs hydridů neurčitého složení. Tato slitina je většinou složena z niklu, manganu, kobaltu případně hliníku a případně některých vzácných kovů, jako je například lanthan, cer, neodym, praseodym [25].

Výhodou oproti Ni-Cd akumulátoru je absence paměťového efektu a jejich menší ekologická zátěž. Nevýhodami jsou menší rozsah pracovních teplot a větší samovybití 15 - 25 % za měsíc vs. 10 - 15 % za měsíc u Ni-Cd akumulátoru [24].

D) Lithium-iontový akumulátor (Li-ion)

V současné době se jedná o nejnovější a nejvyspělejší technologii akumulátoru, která je běžně využívána. Tato technologie se dále vyvíjí a má potenciál do budoucna. Velký rozvoj nastal po roce 1980 při objevu oxidu kobaltu lithného (LiCoO₂). Výrobci neustále zdokonalují lithium-iontovou technologii. Nové a vylepšené chemické kombinace se zavádějí každých šest měsíců. Při tak rychlém pokroku je obtížné posoudit, jak dobře revidovaná baterie stárne [26].

Mezi hlavní výhody patří vysoká teoretická kapacita lithia, malé samovybití, vysoká gravimetrická hustota energie, vysoká volumetrická hustota energie, dlouhá životnost, vysoký potenciál, neobsahují nebezpečné kovy jako kadmium nebo olovo, poměrně široké možnosti optimalizace akumulátoru k danému použití. Skladování na chladném místě zpomaluje proces stárnutí lithium-iontů a dalších chemikálií. Výrobci doporučují skladovací teploty 15 °C. Kromě toho by měl být akumulátor během skladování částečně nabitý - výrobce doporučuje 40 % [24, 26].

Nevýhodou tohoto typu akumulátoru je vyšší cena, citlivost na správné zacházení s akumulátorem a menší rozsah provozních teplot. Jejich cena ale poklesla desetinásobně z původních 3200 \$/kWh na 200 \$/kWh a jejich kapacita se ztrojnásobila z původních 80 Wh/kg na 250 Wh/kg od roku 1991, kdy byly Li-Ion akumulátory uvedeny na trh [24].

Tři základní funkční složky lithium-iontové baterie jsou anoda, katoda a elektrolyt, který se liší dle použitého materiálu. Komerčně nejoblíbenějším materiálem pro anodu je grafit. Pro katodu je obvykle použit jeden z těchto materiálů: vrstevnatá struktura oxidu, elektrodové materiály založené na polyanionu nebo materiál se spinelovou strukturou. V závislosti na volbě materiálu pro anodu, katodu a elektrolyt se může napětí, kapacita, životnost, ale také i bezpečnost lithium-iontových baterií měnit [27].

E) Lithium-polymerový akumulátor (Li-pol, LiPo)

Oproti ostatním bateriím je největší změnou využití vodivého pevného polymeru jako elektrolytu. V praxi se to velmi složitě realizuje, vzhledem k nízké vodivosti polymeru by baterie musela ideálně pracovat nad hranicí 60 °C. Proto se pro funkci za běžných teplot přidává gelový elektrolyt, aby se zlepšila vodivost. Vlastnosti tohoto akumulátoru využívají především výrobci spotřební elektroniky (např. mobilní telefony, fotoaparáty, notebooky, RC modely,...) [26].

Pro použití v elektrických vozidlech tento typ akumulátoru není vhodný. Kromě vysoké ceny a složité výroby poskytuje menší hustotu energie než klasická Li-ion baterie a také neodstraňuje problém s tekutým (gelovým) elektrolytem. Proto se do budoucna počítá spíše s přechodem na akumulátory s pevným elektrolytem - „solid state“ [26].

Mezi jeho výhody patří velká kapacita na malém rozměru. Články mohou být tenké až 1 mm a dají se vrstvit do téměř libovolných tvarů. Dalšími výhodami je, že nemají paměťový efekt, dochází k minimálnímu samovybití a mají dlouhou životnost [24, 26].

F) Akumulátory s pevným elektrolytem - „solid state“

Jsou označovány za přelomového nástupce současných Li-Ion baterií, protože slibují větší kapacitu. To u elektrovozidel znamená větší dojezd, dále vyšší bezpečnost, ale i další pozitiva. Ačkoliv je tato technologie prozatím ve fázi vývoje, díky vysokým investicím ze strany automobilek (především Toyota, BMW, Honda, Nissan a Fisker), lze však předpokládat, že pevné akumulátory v blízké budoucnosti budou součástí velkého množství elektrovozidel.

Toyota Motor Corp. pracuje na elektrickém vozidle, které bude poháněno „solid state“ baterií. Ta výrazně zvýší dojezd a zkrátí dobu nabíjení. Toyota chce zahájit prodej elektromobilů se „solid state“ akumulátory v roce 2022 [28].

Tento typ akumulátoru bude stále využívat Lithium, ale na rozdíl od Li-ion technologie, zde nebude elektrolyt ani tekutý, ani gelový. Elektrolyt zde bude v pevné formě. Stejně jako u Li-pol baterií musíme zajistit funkci za běžných a nízkých teplot, a přitom dbát na bezpečnost a ekologické předpisy. Proto bude jeho složení a separace od elektrod technologickou výzvou [29].

Mezi hlavní přínosy těchto akumulátorů lze zařadit až 2x vyšší hustotu energie než u současných Li-ion, šetrnost k životnímu prostředí, vyšší počet cyklů a menší náchylnost na zvýšené teploty [29, 30].

2.3.2 Typy akumulátorových článků dle geometrie

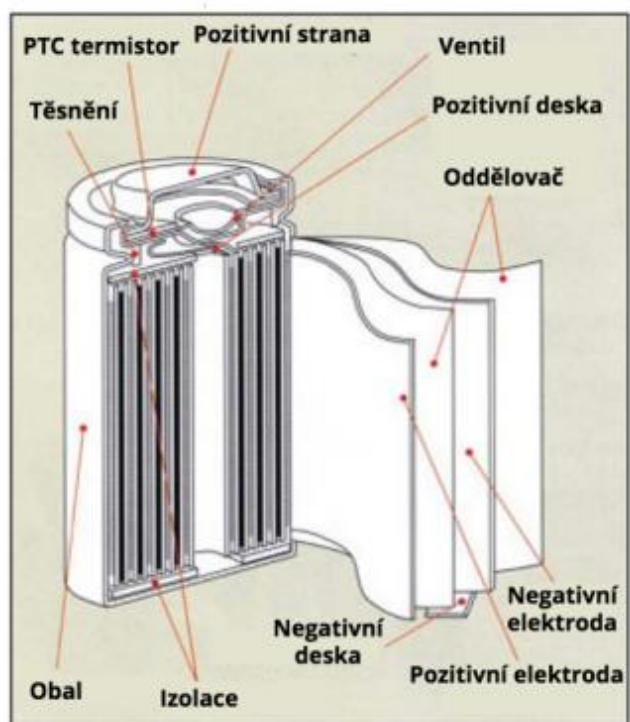
Vzhledem k tomu, že se články pro použití v automobilech musejí řadit do modulů a dále se pak sériově či paralelně zapojí do výsledné baterie, je výsledný tvar a velikost baterie závislý na geometrii uspořádání článků [31].

A) Cylindrické články

Pro elektrická vozidla se v současné době jedná o jednu z nejrozšířenějších a nepoužívanějších technologií výroby. Značka Tesla na tom má velkou zásluhu vzhledem k tomu, že v současnosti využívá sériového spojování tisíců Li-ion článků za. Výrobci je hojně využívána proto, že je tato technologie již ověřena desetiletími provozu [31].

Výhodou je jejich snadná výroba a dobrá mechanická stabilita. Trubkový válec vydrží vysoké vnitřní tlaky bez deformace. Nevýhodou těchto článků je jejich válcovitý tvar a s tím spojená výsledná velikost celé baterie. Vzhledem k tvaru článků se vytvářejí mezi články mezery a ty zvětšují celkový objem baterie. Tato nevýhoda je ale zároveň výhodou. Vzniká tak prostor pro aktivní nebo pasivní chlazení celé baterie. Schéma průřezu cylindrického článku lze vidět na obrázku 7 [31].

Obrázek 7 Schéma Li-ion cylindrického článku [31]



Mezi nejčastěji používané třídy patří: 18650, 21700 (2170) a 26700, kde první dvojčíslí značí průměr článku a druhé dvojčíslí značí výšku článku v milimetrech. Nejrozšířenějším typem cylindrického článku je typ 18650, který je na obrázku 8 [31].

Obrázek 8 cylindrický článek - typ 18650 [31]

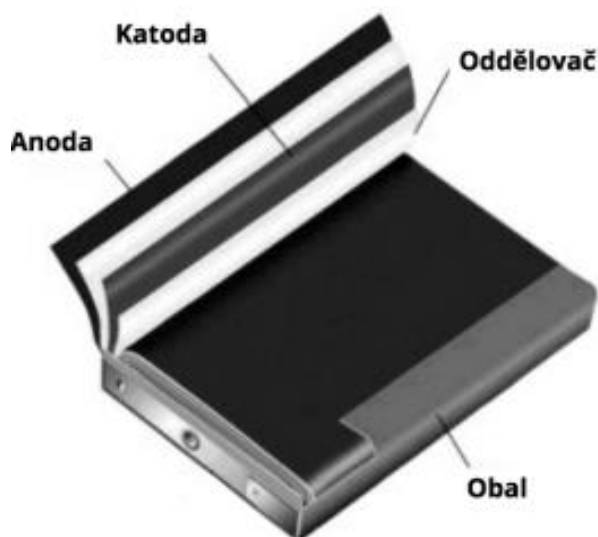


B) Prismatické akumulátorové články

Technologie výroby těchto článků se používá od konce minulého století. Tyto články dokonale splňují požadavky pro aplikaci ve spotřební elektronice. Mají tenký profil podlouhlého tvaru, který je zasazený do utěsněného hliníkového pouzdra - připomínající malou čokoládovou tyčinku [31].

Každá firma vyrábí tyto články s různě odlišnou chemickou technologií pro konkrétní aplikace. Nacházejí se převážně v mobilních telefonech, tabletech a notebookách s nízkým profilem v rozmezí od 800 mAh do 4 000 mAh. Uplatňují se v různých modifikacích také v elektrických a hybridních vozidlech. Tam se dá využít plošné seřazení s mezerami pro chlazení. Trakční baterie potřebují tyto mezery proto, že během zátěže a vlivem teploty mění svůj objem (až o 3 - 4 %). Schéma prismatického článku lze vidět na obrázku 9 [31].

Obrázek 9 Schéma prismatického článku [31]



C) „Pouch cells“

Jde o nejefektivnější konstrukční uspořádání článků baterie s ohledem na zabraný prostor. Neexistuje žádný standardizovaný rozměr článku. Dle požadavků zákazníka vyrábí každá firma své vlastní. Nejčastěji se vyrábí technologií Li-ion, Li-pol nebo případně jejich kombinací. Dle způsobu použití se liší jejich chování a vlastnosti. Je nutné počítat při jejich použití změnu objemu „nafukováním“ přibližně 8 - 10 % po zhruba 500 cyklech. Pro zajištění ideální funkce je nutné, aby na sebe jednotlivé články vyvíjely tlak. Tím dochází k zefektivnění

chemických procesů, které probíhají uvnitř. Je vhodný tam, kde jsou požadavky na vysoký proud a co nejnižší hmotnost [31].

Na Obrázku 10 je zobrazen Pouch cell článěk, který je v pořádku a na obrázku 11 je zobrazen extrémně nafouknutý vadný článěk.

Obrázek 10 "Pouch cell" [31]



Obrázek 11 Nafouknutá "pouch cell" [31]

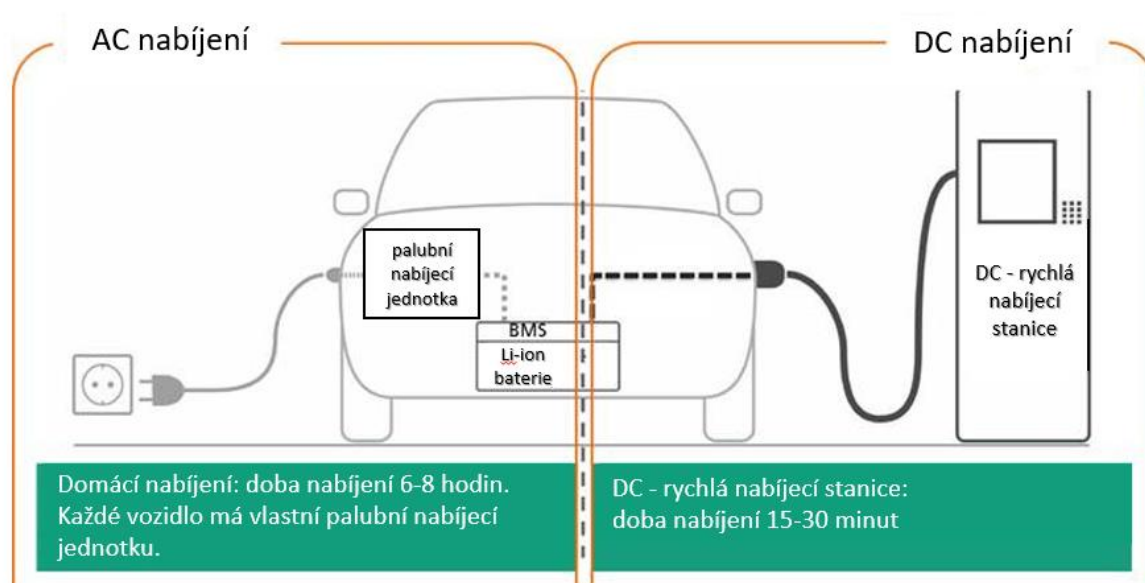


2.4 Dobíjení elektrických vozidel

Konsekvencí růstu počtu elektrických vozidel je dopad na energetickou síť firem, kterým se díky dobíjení elektrických vozidel zvýší spotřeba elektrické energie. Vzhledem ke značné spotřebě energie, je nutné i její řízení. Proto se využívá tzv. Load management [32].

Dobíjení je proces, při kterém dochází k ukládání elektrické energie z dobíjecí stanice do trakčního akumulátoru elektrického vozidla. Na vstupu elektrické baterie je stejnosměrný proud (DC), zatímco v elektrické síti se nachází proud střídavý (AC). Dle typu proudu, který je na vstupu dobíjecího procesu, lze dělit nabíjení na AC nabíjení a DC nabíjení. Oba tyto typy jsou vidět na obrázku 12 [32].

Obrázek 12 AC vs. DC dobíjení [33]

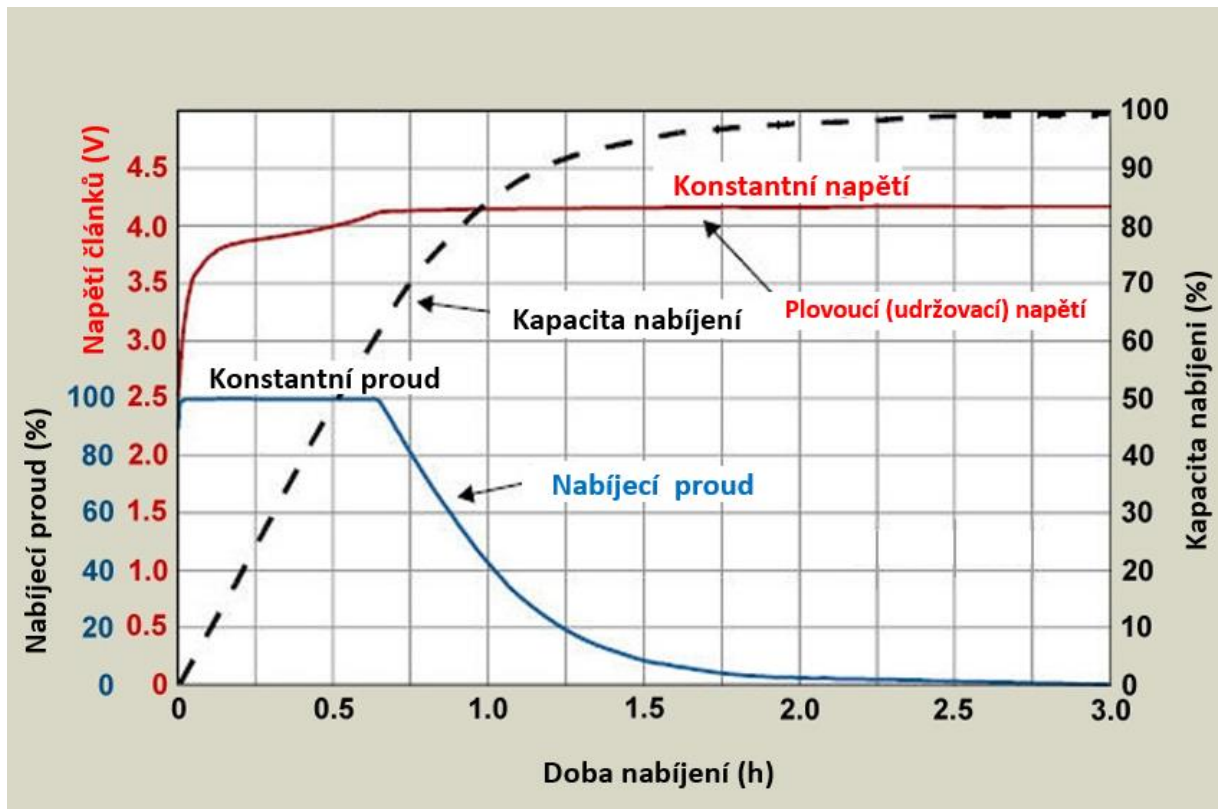


AC nabíjení podporuje každé elektrické vozidlo. Palubní nabíječka, která je k tomu potřeba, je drahá komponenta elektrického vozidla, jejíž výkon je limitován počtem využívaných fází AC zdroje. Oproti tomu DC nabíjením nedisponuje každé elektrické auto. Hlavně starší modely elektrických vozidel jako je třeba Fiat 500e [32].

Do sítě přináší nestabilitu právě DC dobíjení, díky průběhu nabíjení. Je to proto, že na začátku nabíjení je odebrán maximální výkon a ten pak relativně rychle klesá. V rámci DC dobíjení dochází ke komunikaci mezi vozem a dobíjecí stanicí. Elektrické vozidlo si samo upravuje výkon na vstupu dle aktuální potřeby, aby nedošlo k poškození baterie. Díky teplotním rázům a také kvalitě řídicího systému dobíjecí stanice, může příliš časté DC dobíjení vést k rychlejšímu snížení kapacity a opotřebení baterie. Obecně se doporučuje střídání AC a DC dobíjení [34].

AC nabíjení je díky nižším výkonům při dobíjení prakticky konstantní, zatímco u DC nabíjení se po dosažení cca 75 % kapacity díky poklesu dobíjecího proudu nabíjení značně zpomalí. Toto lze vidět na obrázku 13 [32].

Obrázek 13 Nabíjení lithium-iontového akumulátoru [35]



Tato charakteristika nabíjení je typická pro všechny baterie. Čím vyšší je nabíjecí proud, tím větší bude účinek. Nízké teploty nebo nabíjení článku s vysokým vnitřním odporem tento účinek zesilují [35].

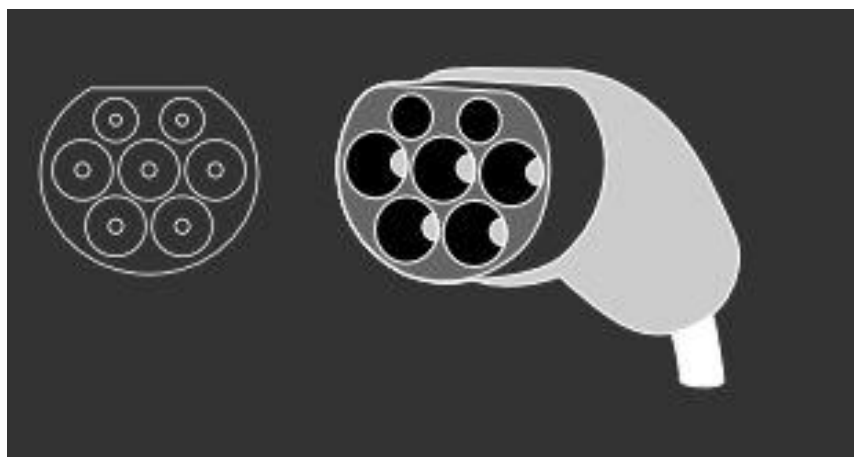
Největší výzvou je připojení k síti, které je limitováno maximálním výkonem. Infrastruktura pro nabíjení elektrických vozidel se nadále rozšiřuje. V roce 2019 bylo na celém světě asi 7,3 milionu nabíječek, z čehož asi 6,5 milionu byly soukromé nabíječky pro lehká užitková vozidla v domácnostech, obytných budovách a na pracovištích [36].

2.4.1 AC Nabíjení - pomalé

Jde o typ nabíjení, při kterém je na vstupu do elektrického vozidla střídavý proud. Vzhledem k tomu, že na vstupu elektrické baterie je vždy stejnosměrný proud, musí mít každé elektrické auto nainstalovanou palubní nabíječku. Ta mění střídavý proud na stejnosměrný. Pro každé elektrické vozidlo je výkon palubní nabíječky klíčový komponent a jeho výkon ovlivňuje rychlost AC nabíjení [37].

Výkon AC nabíjecích stanic je závislý na proudu, napětí a počtu zapojených fází. Standardně poskytují veřejné nabíjecí stanice 11 nebo 22 kW. Stanice může být zapojena také pouze na jedné fázi nebo nabíjet doma ze standardní jednofázové zásuvky prostřednictvím speciální nabíječky. Na následujícím obrázku 14 je zobrazen nejrozšířenější AC konektor Mennekes Type 2 [32].

Obrázek 14 Konektor Mennekes Type 2 [38]

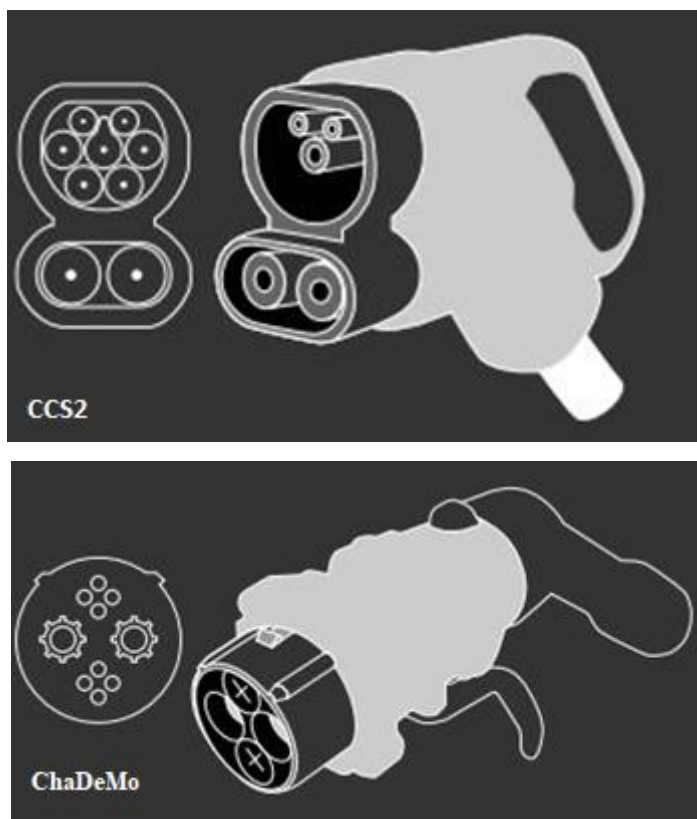


2.4.2 DC Nabíjení - rychlé

Jde o typ dobíjení, kdy je střídavý proud měněn na stejnosměrný již v dobíjecí stanici. Do elektrického vozidla jde tedy již proud stejnosměrný a ten je ukládán přímo do baterie. Tento typ dobíjecí stanice má výkon pohybující se typicky mezi 50 až 150 kW. V současnosti se už staví i hyperchargery a ty mají maximální výkon 350 kW. U většiny elektrických vozidel lze DC nabíjením dosáhnout 80 % nabití baterie za méně než 20 minut v závislosti na konkrétní kapacitě baterie a jejím stavu vybití [32, 39].

Na následujícím obrázku 15 jsou vidět aktuálně nejpoužívanější konektory pro DC dobíjení. Konektory *CCS2* a *ChaDeMo*.

Obrázek 15 Konektory CCS2 a ChaDeMo [38]



Dobíjecí stanice s řídicím a obchodním systémem komunikuje pomocí standardizovaného protokolu OCPP. Postačí k tomu ethernetová přípojka nebo je možné vložit SIM kartu, která poskytne dobíjecí stanici data. Pro zpoplatněné veřejné dobíjecí stanice, které musí dle zákona Zákon č. 311/2006 Sb. poskytnout možnost dobíjet za využití přímé platby (tj. bez kontraktu), je řídicí systém a komunikace s ním nezbytná. Poskytovatelé dobíjecí infrastruktury si tyto IT systémy typicky pořizují nebo sami vyvíjejí. Menší poskytovatelé využívají některé z možných cloudových služeb [32].

2.4.3 Veřejné dobíjení

Síť veřejných nabíjecích stanic nabízí v Česku v současné době něco přes 500 nabíjecích stanic. Jedna nabíjecí stanice obsahuje typicky jeden až tři dobíjecí body. Dobíjení na veřejné infrastruktuře může být součástí veřejné sítě některého z velkých poskytovatelů (například ČEZ, E.ON nebo PRE). Také se může jednat o dodatečnou službu u nákupních center a supermarketů. Případně tato služba může být poskytována firmou, která se rozhodla část své infrastruktury poskytovat jako veřejnou [40].

V současnosti existuje nespočet online map s přehledem nabíjecích stanic, které může uživatel elektrického vozidla využívat. Tyto mapy se hodí v případě, že má uživatel před sebou delší cestu, nebo naopak parkuje na veřejném místě, kde může být nabíjecí stanice k dispozici - třeba v obchodním centru. Pokud uživatel bydlí v bytě, musí využít dostupnou nabíjecí infrastrukturu v okolí svého bydliště či zaměstnání.

Veřejná dobíjecí infrastruktura je jedním z největších úskalí v rámci elektromobility. Zvýšení počtu veřejných stanic či bodů je zapotřebí, aby uživatelé elektrických vozidel měli pocit jistoty. Limitovaný dojezd, závislý na kapacitě baterie, může uživateli působit „range anxiety“. To v překladu znamená úzkost z dojezdu - vozidlo nemá dostatečný dojezd, aby dosáhlo svého cíle a uživateli tak hrozí, že uvízne ve vozidle. Tento termín je považován za jednu z hlavních překážek pro přijetí elektrických vozidel z pohledu řidičů [41].

S přibývajícím množstvím elektrických vozidel v provozu přibývá i odpůrců elektromobility. V současné době dochází všude po světě k takzvanému „ICEingu“. Tento pojem vychází z označení ICE (Internal Combustion Engine = motor s vnitřním spalováním). Jedná se o situaci, kdy vozidlo se spalovacím motorem úmyslně stojí na místě vyhrazeném pro nabití elektrického vozidla (to lze vidět na obrázku 16). Uživatel elektrického vozidla tak nemůže své vozidlo nabít a to může být překážkou pro další pokračování v cestě [42].

Obrázek 16 ICEing [42]



Aktuálně jsou proti tomuto přijímána nákladná řešení v podobě CCTV kamer, které mají majitele neelektrických vozidel odradit. V roce 2019 majitelé elektrických vozidel v Chorvatsku dokonce na protest proti ICEingu zablokovali benzínovou stanicí [43].

2.4.4 Domáci/Soukromé nabíjení

Nabíjení elektrických vozidel se v současnosti uskutečňuje nejčastěji doma v garáži přes noc (home charging). A to buď z klasické zásuvky (jednofázově), nebo z nainstalovaného wallboxu (třífázově). Dobíjet elektrické vozidlo doma přes noc, když vozidlo stojí a nikdo s ním nejezdí, je nejpohodlnější možnost dobítí. Vzhledem k síti je tato zátěž predikovatelná. S rozšířením elektromobility se budou postupně i zlepšovat funkce Wallboxů. Uživatel bude moci nastavit například minimum baterie, které musí být k dispozici nebo nabíjet co nejlevněji. Soukromé nabíjení doma tvoří zhruba 80% podíl dobíjení u soukromých elektrických vozidel. S rostoucím podílem elektromobilů, které si kupují obyvatelé bytových domů na sídlištích bez soukromého stání, tento podíl však mírně klesá. Dle analýzy KPMG (KPMG Mobility 2030 Analysis) se bude v průběhu času podíl veřejného nabíjení zvyšovat a tím pádem podíl domácího nabíjení snižovat [32, 44].

V domácích podmínkách je pro nabíjení elektrického vozidla nutné vzít v úvahu i technickou vybavenost domu. Britská energetická společnost National Grid na tuto skutečnost v loňském roce upozorňovala. Majitelé elektrických vozidel často nechali do domu nainstalovat 11 kW nabíjecí stanicí pro elektrické vozidlo a nezhodnotili její náročnost pro rozvody v domě. Po instalaci byli překvapeni, že není možné souběžně nabíjet elektrické vozidlo a spustit například rychlovarnou konvici. Proto je vždy důležité konzultovat celou věc s odborníkem [45].

- ***Nabíjení z běžné zásuvky***

Nejjednodušším a nejzákladnějším řešením jak nabíjet elektromobil doma, je použití standardní 230 V zásuvky. Z běžné zásuvky je možné nabíjet jakékoliv moderní elektrické vozidlo. Během nabíjení z běžné domácí zásuvky využívají elektrická vozidla své vlastní nabíječky, které střídavý proud ze zásuvky transformují na stejnosměrný. Během hodiny nabíjení ze zásuvky se dojezd elektromobilu zvýší přibližně o 14 km, což není nijak závratné číslo. Nabíjení z běžné zásuvky je tedy spíše nouzové řešení [45].

Obrázek 17 Nabíjení z běžné zásuvky [46]



- ***Nabíjení z vícefázové nabíječky***

Další možností, jak nabíjet elektrické vozidlo v domácích podmínkách, je využití vícefázové 16 A zásuvky. Tou disponuje většina rodinných domů. Používá se například k provozu stavební míchačky nebo cirkulárky. Použitím této zásuvky se po hodině nabíjení zvýší dojezd například vozu Tesla Model S o zhruba 55 km. To je oproti běžné 230 V zásuvce znatelný rozdíl. Aby mohl uživatel elektrického vozidla tento typ zásuvky využívat, musí si pořídit speciální adaptér 5-kolík, 16 A na Menekkes Typ 2, případně další nabíjecí standardy, které využívá dané elektrické vozidlo [45].

Obrázek 18 Nabíjení z vícefázové nabíječky



- **Wallbox**

Nabíjecí čas se při zvolení správného Wallboxu sníží oproti přenosovým nabíječkám. Kabel na obrázku 18 je v 32 A pětikolíkové červené zásuvce. Malá skříňka nacházející se na kabelu je vlastně konektor a jedná se v podstatě právě o přenosnou nabíjecí stanici. Ta umožňuje nabíjet baterii s 32 A. Za hodinu nabíjení je schopna nabít 110 km dojezdu [47].

Toto je nejideálnější nabíjecí stanice, cenově dostupná pro každého. Má 3 druhy zásuvek a nabíje se na ní každý elektromobil, včetně elektrických skútrů a elektrokol. Pro zvolení vhodného Wallboxu je potřeba vědět, jakou palubní nabíječkou je vybaveno konkrétní elektrické vozidlo [48].

Wallboxy se dají pořídit s integrovaným nabíjecím kabelem nebo popřípadě zástrčkou Mennekes Typ 2 (strana Wallboxu) do které je možno zapojit požadovaný nabíjecí kabel. Jako konektor na straně vozu se dříve používaly konektory Yazaki Typ 1, ty jsou v současnosti nahrazovány univerzálnějším Mennekes Typ 2 [48].

Jedná se většinou o třífázové zařízení do 22 kW/32 A, které využívá střídavý proud. Wallbox lze pořídit v rozmezí mezi 15 až 60 tisíci Kč. Záleží na jejich výkonu a požadovaných vlastnostech. I ty nejlevnější Wallboxy dokážou v porovnání s běžnou zásuvkou výrazně zkrátit

dobu nabíjení. S pořízením Wallboxu mohou být spojeny i další náklady jako úprava elektroinstalace v domě. Navzdory tomu se ale do budoucna většině uživatelů pořízení Wallboxu vyplatí. Při nočním nabíjení výrazně klesá cena elektrické energie. Když se poté cena za nabíjení přepočítá na ujetý kilometr, může se uživatel elektrického vozidla dostat až na hranici 30 haléřů za ujetý kilometr [45].

Bez úprav elektroinstalace se obejdou ti, kteří zakoupí již moderní Wallbox, který pracuje s tzv. proudovým čidlem. Toto čidlo neustále kontroluje výkon, který odebírají veškeré elektrické spotřebiče v domě. Díky tomu, tak Wallbox vždy ví, kolik energie si může vzít pro potřebu nabíjení elektrického vozidla, aby nedošlo k překročení hodnoty a vypnutí jističů v domě [45].

Obrázek 19 Nabíjení z Wallboxu [49]



2.5 Energetický mix České republiky

Přehled podílů jednotlivých zdrojů elektrické energie představuje národní energetický mix. Ten slouží dodavateli elektrické energie pro účely stanovení podílů jednotlivých zdrojů energie na celkovém složení paliv [50, 51].

Metodika pro stanovení národního energetického mixu, která byla vytvořena v rámci projektu Reliable Disclosure Systems for Europe (RE-DISS = projekt zaměřený na zásadní vylepšení spolehlivosti a přesnosti informací ohledně původu dodávané elektřiny poskytovaných spotřebitelům elektrické energie v Evropě), je používána pro účely stanovení Národního energetického mixu. Zajistila ji Evropská komise prostřednictvím programu Inteligentní energie pro Evropu (IEE) [51].

V tabulce 1 je vidět vývoj složení energetického mixu České republiky.

Tabulka 1 Složení energetického mixu ČR [50]

Zdroje energie	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Obnovitelné zdroje - Celkem	5,68%	10,95%	11,77%	10,11%	7,60%	6,17%	3,90%	6,75%
- Sluneční	1,96%	2,63%	2,88%	2,77%	2,14%	2,07%	1,66%	2,27%
- Větrné	0,47%	0,57%	0,71%	0,63%	0,45%	0,22%	0,00%	0,43%
- Vodní	1,93%	2,56%	2,67%	1,15%	1,43%	0,77%	0,44%	0,65%
- Geotermální	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
- Biomasa	1,33%	2,19%	2,34%	5,57%	3,58%	3,11%	1,81%	3,40%
- Ostatní	0,00%	2,99%	3,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fosilní zdroje - Celkem	57,65%	52,77%	55,10%	59,53%	57,40%	56,95%	57,01%	52,50%
- Hnědé uhlí	40,71%	41,27%	42,15%	43,91%	43,77%	44,63%	46,18%	40,00%
- Černé uhlí	6,11%	5,78%	6,31%	6,97%	5,38%	4,18%	2,84%	2,66%
- Zemní plyn	8,30%	5,52%	6,41%	8,40%	5,45%	5,80%	7,74%	9,61%
- Ropa a ropné produkty	0,01%	0,06%	0,05%	0,05%	0,06%	0,04%	0,15%	0,11%
- Druhotné zdroje a ostatní	2,52%	0,14%	0,18%	0,20%	2,73%	2,30%	0,10%	0,12%
Jaderné zdroje - Celkem	36,67%	36,28%	33,13%	30,36%	35,01%	36,88%	39,09%	40,75%

Fosilní zdroje energie měly v roce 2020 podíl na výrobě energie přes 52 %, což je o 5 % méně, než tomu bylo předchozí rok (2019). V současné době se snaží všechny země přecházet na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Tato změna by ovšem měla být postupná a plynulá. Většina uhelných elektráren již prošla modernizací nebo jsou nyní modernizovány. K modernizaci došlo proto, aby se co nejvíce zefektivnilo využívání našich zásob a zároveň to vedlo k co nejmenším dopadům na životním prostředí. Například odstavení uhlí v roce 2030 by Česku umožnilo dosáhnout nových cílů EU v oblasti klimatu. Jako schůdná cesta k odstavení uhlí z výroby elektřiny a tepla do roku 2030 se jeví rychlý rozvoj solární a větrné energetiky. Náročnými, ale spolehlivými opatřeními lze za deset let dosáhnout přechodu od uhlí k čisté energii. Alespoň to tvrdí studie společnosti EMBER [52].

2.6 Recyklace trakčního akumulátoru

Lithium-iontové baterie jsou považovány v současnosti za nejlepší volbu akumulátoru pro elektrická vozidla. Vzhledem k tomu, že trakční akumulátor obsahuje kovy, prvky vzácných kovů a také toxické materiály, které mohou ovlivnit životní prostředí i zdraví člověka, měly by se recyklovat ve specializovaných zařízeních. Mimo to, také proto, aby se mohly cenné materiály účinně a bezpečně separovat, protože lithium-iontové baterie jsou téměř 100% recyklovatelné [53–55].

Dva hlavní procesy recyklace jsou pyrometalurgie a hydrometalurgie, což jsou procesy chemické separace, které se často používají společně nebo v různých kombinacích k získání většiny materiálů v baterii [56].

Existují i jiné procesy, jako je mechanický přístup k získání kovů extrakcí elektrolytu a rozbitím článku od sebe nebo vylouhování a srážení používané k zaměření na lithium a kobalt, které lze použít jako recyklační procesy k maximalizaci využití prvků. Avšak kvůli stále malému množství trakčních akumulátorů určených k recyklaci a jejich různým typům (různý tvar, velikost, chemie atd.) je automatizace a specializace recyklace obtížná [57, 58].

To má za následek to, že se zachází s trakčními akumulátory jako s běžným odpadem a dochází k zaměření separace pouze na určité suroviny. V důsledku toho tyto recyklační přístupy neposkytují dostatečný ekonomický zisk. Každý kilogram recyklovaného trakčního akumulátoru ušetří 1 kg CO₂. Recyklace se v současné době pohybuje kolem 1 € za kg. Hodnota získané suroviny je však pouze třetinová. Recyklace lithia stojí pětkrát tolik jako těžba původního materiálu, a proto je v Evropě recyklováno pouze 5 % lithium-iontových baterií [59].

Je také nutné si uvědomit, že začátek životního cyklu trakčního akumulátoru, začíná již v dolech těžbou lithia a těžkých kovů. Největší naleziště samotného lithia se nachází v Austrálii a Chile. Naleziště kobaltu je v Demokratické republice Kongo a manganu v Číně a v jižní Africe. Ne vždy se ale během těžby těchto prvků hledí na ekologii a lidská práva. Pro příklad může být uvedeno využívání dětské práce při těžbě kobaltu v Kongu [60].

2.6.1 Recyklační náklady

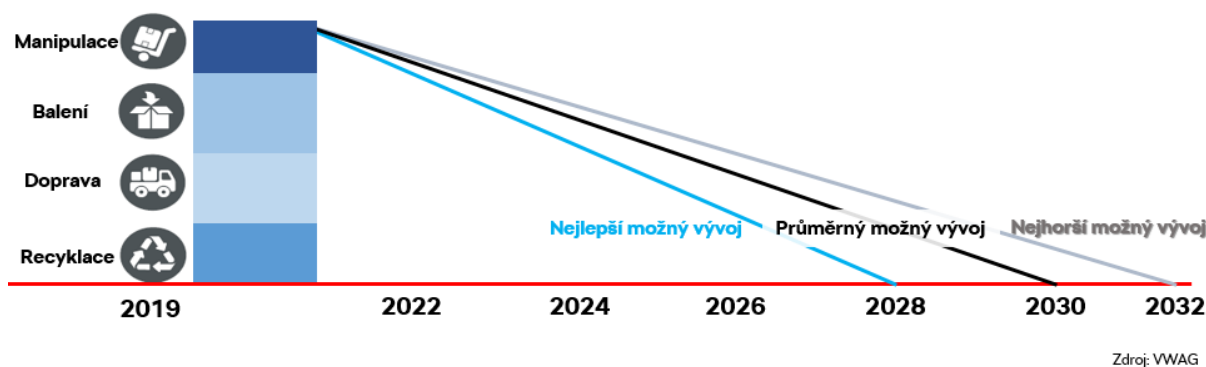
Tyto náklady nepředstavují pouze recyklaci samotnou. Pro ŠKODA Auto, jako výrobce automobilů se jedná o celý komplex činností.

Za první činnost lze považovat, že se elektrické vozidlo dostane k některému z obchodních partnerů dealerství ŠKODA Auto. Zde dochází k vyjmutí trakčního akumulátoru, který se musí správně zabalit, správně označit a musí se na něj objednat správná bedna určena na jeho přepravu [61].

Náklad, který pravděpodobně z recyklačních nákladů nikdy nezmizí, je náklad na přepravu. Pro trakční akumulátory se musí zajistit správná logistika z bodu A do bodu B ke společnosti, která bude provádět recyklaci. To představuje největší nákladovou položku. Důvodem je to, že v současné době se akumulátory nenacházejí pouze na našem území, ale může být například i ve Španělsku, což představuje velkou vzdálenost, kterou musí akumulátor urazit [61].

Další krok je samotná recyklace. Jak je patrné z obrázku 20, tak recyklační náklady budou v průběhu času klesat. Na pomyslnou nulu, by se tyto náklady mohly dostat okolo roku 2030. Děje se tak proto, že se počítá s tím, že se zefektivní recyklační technologie, optimalizuje se přeprava a zároveň se předpokládá, že vznikne nový business s recyklátem. Výše recyklačních nákladů je mimo jiné závislá na velikosti trakčního akumulátoru, jestli se jedná o čistě elektrickou baterii nebo o plug in hybridní, na chemickém složení, na konstrukci konkrétního akumulátoru atd. [61].

Obrázek 20 Vývoj recyklačních nákladů



Z obrázku 20 tedy jasně vyplývá, že neoptimističtější scénář, kdy bude recyklace výhodná, je rok 2028. Nejreálněji se ovšem nyní jeví rok 2030 a nejpesimističtější scénář je pak

rok 2032. Než tedy nastane období výhodné recyklace mohou použité trakční akumulátory plnit jinou funkci v projektech 2nd Life.

2.7 2nd Life

Tento pojem lze volně přeložit jako druhý život trakčního akumulátoru z elektrického vozidla. Jedná se tedy o jeho možné znovuvyužití.

Důvod, proč se automobilový průmysl ve světě začal zabývat 2nd Life je prostý. Například jen automobilová společnost ŠKODA Auto v příštích 10 letech vyrobí 1,6 milionu elektrických vozidel. Emisní limity, které jsou čím dál přísnější v rámci EU a také fakt, že ŠKODA Auto míří k čisté mobilitě, jsou hlavní hybnou silou pro takovouto produkci elektrických vozidel. Pokud přepočítáme 1,6 milionu elektrických vozidel na kapacitu, tak získáme zhruba 80 GWh elektrické energie. Toto množství bere v potaz pouze elektrická vozidla značky ŠKODA Auto [61].

Z prediktivních modelů, které má ŠKODA Auto k dispozici, lze usoudit, že se v příštích 10 letech získá 75 tisíc trakčních akumulátorů zpět. ŠKODA Auto se jako výrobce musí o tyto akumulátory postarat a dle evropské legislativy má povinnost je ekologicky recyklovat. To v současné době není ekonomicky výhodné, jelikož se nejedná o velké množství a náklady na recyklaci jsou v současné době velmi vysoké. Pokud by ale z 80 GWh šlo získat zpět alespoň 1,5 GWh a oddálit tak recyklační proces, začíná se jednat o poměrně zajímavou obchodní příležitost. Tato kapacita by se dala využít např. v bateriových úložištích [61].

Tato obchodní příležitost je pro výrobce elektrických vozidel velmi zajímavá a výrobci chtějí tuto možnost využít. Nové obchodní příležitosti mohou také přispět ke snížení konečné prodejní ceny elektrického vozidla [62]. Náklady na trakční akumulátor, představují přibližně 30 - 40 % konečné ceny elektrického vozidla [63]. Jejich opětovné využití by proto mohlo být klíčovým faktorem pro elektrická vozidla, aby definitivně překonaly konvenční vozidla a urychlil se tak přechod odvětví dopravy do udržitelné budoucnosti [64].

Mezi prvním a druhým životem baterií však existuje regulační mezera. Předpisy v celé Evropě stanovují, že společnost, která uvádí na trh trakční akumulátory, ať už samotné nebo obsažené v produktu, jako je tomu v případě elektrických vozidel, je rovněž odpovědná za

organizaci konečného sběru a správnou správu recyklace. Nicméně zavedením opětovného využití trakčního akumulátoru se toto může změnit. Diskuze o konečné odpovědnosti za akumulátory na konci jejich prvního života je něco, co chtějí všichni zúčastnění aktéři uzavřít, aby měli jasný obraz o právním rámci. Je také nutné brát v potaz, že ne všechny trakční akumulátory z elektrického vozidla budou vyhovovat účelům druhého života [5].

V závislosti na SOH, by trakční akumulátory mohly být znovu použity v elektrických vozidlech jako náhradní díl (pokud je SOH dostatečně vysoký), k druhému životu nebo přímo k demontáži a následné recyklaci (pokud je SOH opravdu nízký). Navíc v případě dopravní nehody elektrického vozidla, by bylo velmi riskantní znovu použít jeho trakční akumulátor a mohlo by dávat větší smysl poslat ho k přímé recyklaci. Ačkoliv lze říci, že z právního hlediska není vše stále jasné, opětovné využití akumulátorů se jeví jako atraktivní a mnoho automobilek na tom začíná nezávisle pracovat [5].

Zatímco prodaná vozidla v Evropě s běžným spalovacím motorem vyprodukovala v roce (2019) 121,8 g CO₂ na km, což je o 1,3 g CO₂ na km více než v předchozím roce, elektrická vozidla vyprodukují v průměru 35 g CO₂ na km, což je rozhodně lepší číslo. Elektrická vozidla se ale při jejich vstupu na trh prezentovala jako čistě ekologická, bezemisní. To je sice pravda, ale jen do té míry, že elektrická vozidla neprodukují přímé lokální emise. Díky 2nd Life se toto číslo však může snížit až na 17 g CO₂ na km. Důvodem je prodloužení životního cyklu trakčního akumulátoru, kdy je odsunuta recyklace na později. V budoucnu se díky opakovanému využití recyklovaného materiálu budeme schopni dostat až na 0 g CO₂ na km [36, 65].

3 Cíle disertační práce

Cíle disertační práce jsou tematicky zaměřeny na oblast elektromobility. Hlavním cílem práce je vytvořit metodiku pro druhotné využití trakčních akumulátorů elektrických vozidel a jejich následné využití pro 2nd Life (druhotného využití). Dílčími cíli budou analýza možností recyklace baterií elektrických vozidel a zhodnocení možnosti takzvaného 2nd Life trakčního akumulátoru. Závěrem by měla disertační práce zodpovědět otázku, jaké jsou reálné možnosti využití bateriových úložišť v komerční sféře. Práce bude prováděna mimo jiné i ve spolupráci s automobilovou společností ŠKODA Auto a.s.

3.1 Stanovení vědeckých hypotéz

Cílem práce je dále ověřit několik základních hypotéz, které přímo souvisí s oblastí elektromobility.

Hypotéza č. 1: *Vyřazené trakční akumulátory nelze využít v bateriových úložištích.*

H₁₀: Maximální zatížení C je stejné jako naměřené C.

H₁₁: Maximální zatížení C není stejné jako naměřené C.

Hypotéza č. 2: *Teplota ovzduší má vliv na dojezd elektrického vozidla.*

H₂₀: Teplota ovzduší má vliv na dojezd elektrického vozidla.

H₂₁: Teplota ovzduší nemá vliv na dojezd elektrického vozidla.

Hypotéza č. 3: *Deklarovaná spotřeba elektrovozidla je dosahována v reálném provozu.*

H₃₀: Deklarovaná spotřeba elektrovozidla je dosahována v reálném provozu.

H₃₁: Deklarované spotřeby elektrovozidla nelze dosáhnout v reálném provozu.

Hypotéza č. 4: *Bateriové úložiště pokryje 1/3 průměrné měsíční spotřeby domácnosti.*

H₄₀: Bateriové úložiště pokryje 1/3 průměrné měsíční spotřeby domácnosti.

H₄₁: Bateriové úložiště nepokryje 1/3 průměrné měsíční spotřeby domácnosti.

4 Metodika disertační práce

Nejdříve bylo nutné otestování jízdních vlastností a provozních parametrů vybraných elektrických vozidel za provozu, za různých podmínek a v různém geografickém prostředí pro ověření deklarovaných jízdních parametrů elektrických vozidel. Dále bude provedena charakteristika stávající infrastruktury dobíjecích stanic pro elektrická vozidla a s tím pojící se analýza připravenosti elektrické přenosové soustavy v rámci České republiky k zásobování elektrických vozidel na našem území. Následovat bude charakteristika životního cyklu baterie a také analyzovat využití bateriového úložiště v komerční sféře. Závěrem bude provedena analýza použití baterií z elektrických vozidel označovaných jako 2nd. Life pro bateriové úložiště.

5 Vlastní zpracování disertační práce

Jedná se o přípravy kterými bude dosaženo hlavního cíle práce, tedy návrhu metodiky pro využití vyřazených trakčních akumulátorů elektrických vozidel až po jejich samotné druhotné využití v bateriovém úložišti.

5.1 Metodika testovacích jízd

Testovací jízdy k ověření jízdních parametrů elektrických vozidel byly prováděny ve spolupráci s katedrou Vozidel a pozemní dopravy na Technické fakultě, ČZU v Praze.

Tato část práce se věnuje testování jízdních vlastností a provozních parametrů vybraných elektrických vozidel za provozu, za různých podmínek a v různém geografickém prostředí. Vyhodnocení testovacích jízd je dalším krokem. Sledovány byly jízdní parametry, jako jsou spotřeba elektrické energie, reálný dojezd, okamžité hodnoty odebíraného/rekuperovaného proudu, rychlost vozidla, parametry trasy a okamžité klimatické podmínky.

Cílem těchto testovacích jízd bylo ověření jízdních parametrů deklarovaných výrobcí. Vzhledem k finanční náročnosti hmotného zajištění testovacích jízd této části výzkumu byla většina materiálu potřebného pro řešení této disertační práce pořízena v rámci grantů v roce 2019, 2020 a 2021.

5.1.1 Testovaná vozidla

Testovací jízdy byly dosud provedeny s elektrickými vozidly BMW i3, BMW i3s, CITIGOE iV, Fiat 500e, Hyundai Kona, Mercedes EQC, SMART electric drive 2, Volkswagen e-Golf, Volkswagen Golf GTE hybrid a Volkswagen ID 3. Přehled elektrických vozidel, se kterými byly provedeny testovací jízdy, je uveden v tabulce 2, kde jsou i jejich základní charakteristiky.

Tabulka 2 Přehled vybraných elektrických vozidel

Vozidlo	Hmotnost	Točivý moment	Výkon	Hmotnost baterie	Kapacita baterie	Dojezd	Maximální rychlost	Spotřeba na 100 km
BMW i3	1 195 kg	250 Nm	125 kW	204 kg	33 kWh	160 km	150 km·h ⁻¹	13,5 kWh
BMW i3s	1 365 kg	270 Nm	135 kW	278 kg	42 kWh	300 km	160 km·h ⁻¹	13,1 kWh
CITIGOe iV	1 530 kg	212 Nm	61 kW	248 kg	36,8 kWh	252 km	130 km·h ⁻¹	14,8 kWh
Fiat 500e	1 352 kg	200 Nm	83 kW	260 kg	24 kWh	135 km	142 km·h ⁻¹	18 kWh
Hyundai Kona	1760 kg	395 Nm	150 kW	450 kg	64 kWh	484 km	167 km·h ⁻¹	14,7 kWh
Mercedes EQC	2495 kg	760 Nm	300 kW	650 kg	80 kWh	445 km	180 km·h ⁻¹	21,5 kWh
Smart Electric Drive 2	810 kg	120 Nm	30 kW	180 kg	16,5 kWh	135 km	100 km·h ⁻¹	12,2 kWh
VW e-Golf	1 585 kg	270 Nm	85 kW	312 kg	24,2 kWh	231 km	150 km·h ⁻¹	12,7 kWh
VW Golf GTE hybrid	1 599 kg	400 Nm	250 kW	120 kg	8,7 kWh	50 km	222 km·h ⁻¹	12 kWh
VW ID3	1719 kg	310 Nm	150 kW	206 kg	58 kWh	420 km	160 km·h ⁻¹	16,1 kWh

V následující tabulce 3 jsou fotografie vybraných vozidel, která byla zapůjčena pro účely testování.

Tabulka 3 Testovaná elektrická vozidla

Smart Electric Drive 2



BMW i3



Volkswagen ID 3



Fiat 500e



CITIGOe iV



Mercedes EQC



Peugeot 3008 Hybrid



Hyundai Kona



Volkswagen Golf GTE hybrid



Volkswagen e-Golf



5.1.2 Přístrojové vybavení

Pro experimentální část byla využita diagnostická zařízení TEXA, BOSCH a VAG-COM a GPS Garmin.

Diagnostický systém TEXA

Tento diagnostický systém (obrázek 21) je určen primárně pro sériovou diagnostiku osobních vozidel. Pro účely této práce je využíván především pro monitoring a vyhodnocování okamžitých provozních parametrů z řídicího systému elektrického pohonu. Zařízení je tedy připojeno k diagnostické zásuvce vozidla a pomocí Bluetooth zajišťuje komunikaci mezi vozidlem (řídicí jednotkou) a počítačem s nainstalovaným příslušným software. Díky kontinuálnímu měření je možné sledovat a průběžně ukládat jednotlivé provozní parametry motoru a baterie při jízdě [66].

Obrázek 21 Diagnostická jednotka TEXA [93]



Diagnostický systém Vag-COM (HexCAN-V2)

Toto diagnostické zařízení umožňuje komunikaci s koncernovými vozy (Volkswagen, Audi, Seat, Škoda Auto) pomocí komunikačního interface HexCan-V2 a počítačového programu VAG-COM, který je určen pro diagnostiku vozidla prostřednictvím sériové diagnostiky. Software umožňuje zobrazit a ukládat okamžité hodnoty provozních parametrů připojením k příslušné řídicí jednotce vozidla. Toto diagnostické zařízení lze vidět na obrázku 22 [67].

Obrázek 22 Diagnostická jednotka VAG-COM [95]



Diagnostický systém BOSCH KTS 590

Bosch diagnostika KTS 590 je vidět na obrázku 23, Jedná se zařízení pro kontrolu, diagnostiku, vyhledávání a odstraňování závad u elektronických systémů řízení moderních zážehových a vznětových motorů, mimo jiné také systémů ABS, ASR, ESP, řízení automatických převodovek, řízení komfortních a bezpečnostních systémů a mnoho dalších. Toto zařízení spolu se softwarem ESI-Tronic umožňuje provádět na vozidle mnoho diagnostických úkonů. Mezi diagnostické úkony patří například číst paměť závad, vymazat paměť závad, sledovat měřené hodnoty, provést test akčních členů, vynulování servisních intervalů nebo třeba komunikovat s řídicími jednotkami. Diagnostický přístroj KTS 590 má integrovaný dvoukanálový multimetr pro měření napětí, odporu a proudu. Připojení k osobnímu počítači lze provést pomocí USB kabelu nebo bezdrátovou technologií Bluetooth [68].

Obrázek 23 BOSCH diagnostika KTS 590 [96]



GPS Garmin

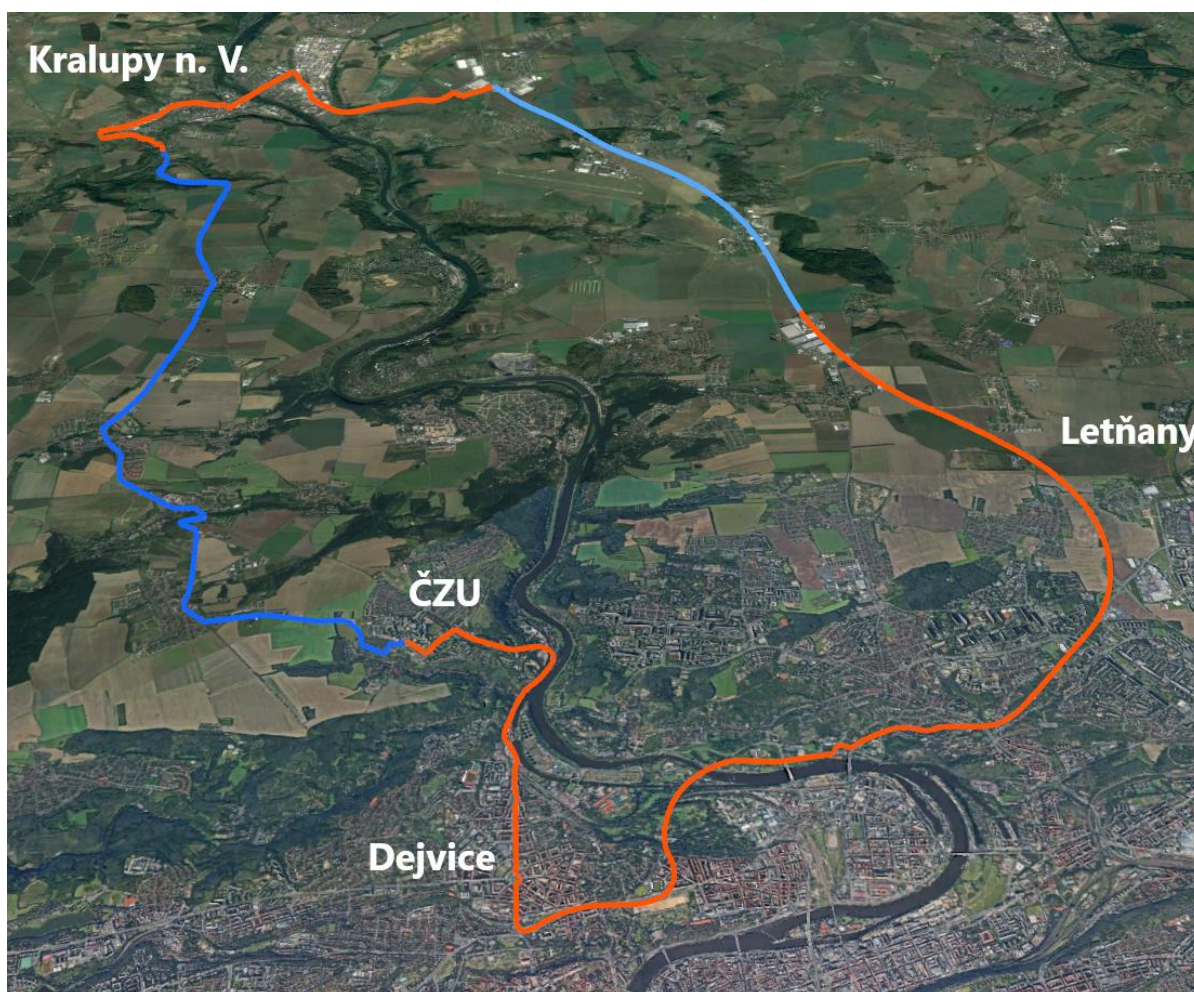
Pro snímání okamžité polohy vozidel byl využit satelitní přijímač Garmin GPS-18x USB a v prostředí ControlWeb byla vytvořena aplikace pro záznam okamžitých hodnot ze snímače GPS.

5.1.3 Testovací trasa

Vytvořená testovací trasa vycházela z předpisu pro homologaci vozidel WLTP (World Harmonized Light-duty Procedure), zejména části RDE (Real Driving Emissions). Testovací trasa obsahovala městský, mimoměstský a dálniční provoz dle přesných specifikací, které dále definují dosahované průměrné rychlosti, převýšení trasy, časové rozložení trasy, klimatické podmínky a další. Celková délka trasy činí 56,1 km. Navržená testovací trasa se projížděla vždy oběma směry. Začátek a konec trasy byl vždy v prostorách dílen Technické fakulty ČZU.

Na následujícím obrázku 24 je zobrazena testovací trasa. Oranžová část znázorňuje městský provoz (ČZU-Letňany, Kralupy nad Vltavou), tmavě modrá mimoměstský provoz (ČZU-Kralupy nad Vltavou) a světle modrá dálniční provoz (Kralupy nad Vltavou-Letňany).

Obrázek 24 Testovací trasa



5.1.4 Průběh testovacích jízd

Před zahájením testovacích jízd byla nutná příprava vozidla. Do vozidla bylo nutné umístit diagnostický systém a nastavit GPS pro sledování vozidla na trase. Posádku vozidla tvořila vždy dvojice - řidič a spolujezdec, který zapisoval průběžná data do předem připravených dokumentů.

Po ukončení prvního okruhu byl záznam měření ukončen a vozidlo zastavilo. Následoval druhý, identický okruh v opačném směru. Zaznamenávány byly údaje jako je aktuální vybíjecí a nabíjecí proud, rychlost vozidla, stav kapacity baterie, průměrná rychlost, průměrná spotřeba a aktuální spotřeba. Data byla dále zpracovávána.

5.2 Výsledky testovacích jízd

V tabulce 4 jsou shrnuty základní souhrnné výsledky provedených experimentů. Cílem bylo ověřit deklarované jízdní vlastnosti vozidel v reálném provozu. Během měření se často vyskytovaly problémy s měřicí technikou, kdy se ne vždy podařilo navázat komunikaci s řídicí jednotkou vozidla. Případně tato komunikace nebyla spolehlivá a docházelo ke ztrátě dat. Problémy způsobovaly též nejnovější vozidla na trhu, pro která ještě diagnostické systémy neměly potřebná data. Pokud to bylo možné, data byla snímána nejen z řídicí jednotky vozidla, ale také z infotainmentu vozidla.

Průměrnou rychlost vozidel ovlivňovala pouze okamžitá dopravní situace, při defenzivním stylu jízdy a dodržování dopravních předpisů. Dosahovaná průměrná rychlost testovaných vozidel se pohybovala od 40 do 47 km/h a nevykazovala výrazné výkyvy.

Tabulka 4 Výsledky měření

Vozidlo	Spotřeba na 100 km	Průměrná spotřeba během testu kWh/100 km	Rozdíl mezi deklarovanou spotřebou a naměřenou spotřebou	Průměrná rychlost km/h	Datum	Venkovní teplota °C
BMW i3	13,5 kWh	-	-	39	22.10.2020	13
BMW i3s	13,1 kWh	13.9	0,8	46	13.01.2021	1
CITIGOe iV	14,8 kWh	12.6	2,2	42	14.10.2020	6.5
Fiat 500e	18 kWh	12.3	5,7	40	21.10.2020	12
Hyundai Kona	14,7 kWh	12.2	1,8	45	25.08.2020	23
Mercedes EQC	21,5 kWh	20.5	1	45	03.06.2020	19
Smart Electric Drive 2	17,2 kWh	-	-	-	15.10.2020	10
VW e-Golf	12,7 kWh	11.9	0,8	42	06.10.2020	12
VW Golf GTE hybrid	12 kWh	2.2 kWh + 3.9 l benzínu	-	48	11.06.2020	19
VW ID3	16,1 kWh	22.4	6,3	47	11.02.2021	-10

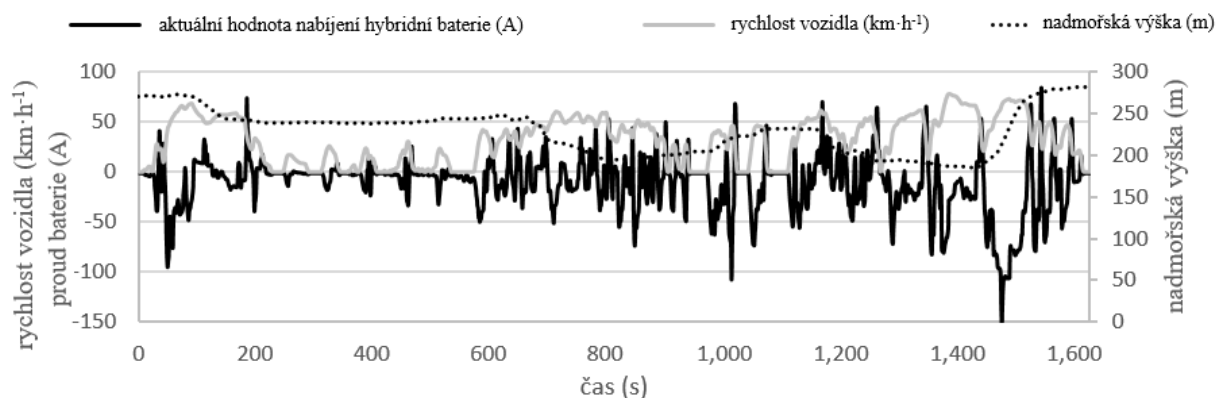
V případě BMW i3s byla naměřená hodnota spotřeby o 0,8 kWh/100 km vyšší než deklarovaná. Nižší spotřebu elektřiny naopak vykazaly Škoda CITIGOe iV a Fiat 500e. Konkrétně v případě Škody CITIGOe iV o 2,2 kWh/100 km a v případě Fiatu 500e až o 5,7 kWh/100 km. Nejvyšší spotřeby elektřiny dosáhlo vozidlo Volkswagen ID3, a to 22,4 kWh/100 km, tedy o 6,3 kWh/100 km vyšší než deklarovaná hodnota. Dalším vozem s vysokou spotřebou byl dle očekávání Mercedes EQ, díky svým rozměrům a zejména hmotnosti.

Experimenty dále prokázaly, že deklarované jízdní parametry byly v reálném provozu v zásadě dodrženy, byť značný vliv měly okamžité klimatické podmínky, kdy docházelo až k třetinovému poklesu odhadovaného dojezdu při nízkých venkovních teplotách.

Z následujících dvou obrázcích (obrázek 25 a 26) lze vyčíst úroveň elektrického proudu testovací trasy. Monitorován byl především měnící se úroveň vybíjecího elektrického proudu akumulátoru v závislosti na provozu, výškovém profilu trasy a rychlosti vozidla. Negativní hodnoty proudu značí spotřebovaný proud, kladné hodnoty značí rekuperační energii. Pro demonstraci byla zvolena elektrická vozidla Fiat 500e a Volkswagen eGolf [69].

Obrázek 25 znázorňuje hodnoty proudu elektrického vozidla Fiat 500e. Z grafu lze vyčíst, že průměrná spotřeba proudu byla 18,9 A. Maximální proud dosahoval hodnot 152,5 A, které spotřeboval Fiat 500e při prvním stoupání v suchdolském kopci. Průměrný rekuperační proud dosáhl 16,3 A. Maximální hodnota rekuperačního proudu byla naměřena ve výši 82,8 A.

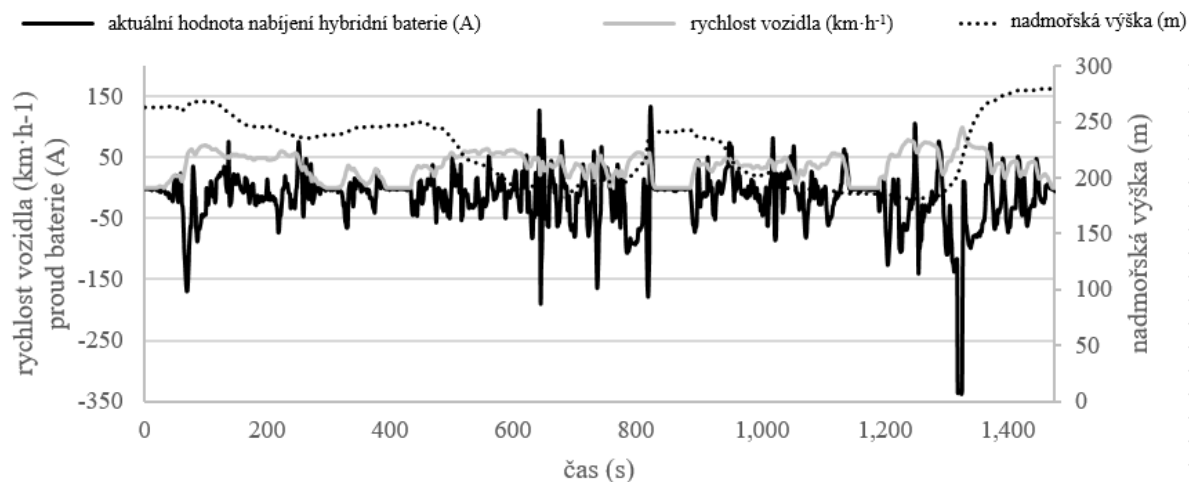
Obrázek 25 Fiat 500e



Z obrázku 26, lze vyčíst hodnoty proudu elektrického vozidla e-Golf, kde se průměrná spotřeba proudu pohybovala okolo 31,77 A, maximální hodnota spotřeby proudu byla 338,25 A,

průměrný rekuperační proud byl okolo 22,71 A, maximální rekuperační proud dosáhl hodnoty 134,5 A [69].

Obrázek 26 Volkswagen eGolf



5.3 Charakteristika stávající infrastruktury dobíjecích stanic

Ke konci roku 2020 bylo na našem území v provozu 734 dobíjecích stanic a jednalo se celkem o 1516 dobíjecích bodů. Tyto veřejné dobíjecí stanice, provozují v součtu 71 % 3 energetické skupiny: ČEZ (35 %), PRE (26 %) a E.ON (10 %). Celkem se jedná o 54 subjektů, které provozovaly veřejné dobíjecí stanice v ČR. Seznam provozovatelů veřejných stanic je zobrazen na obrázku 27 níže [70].

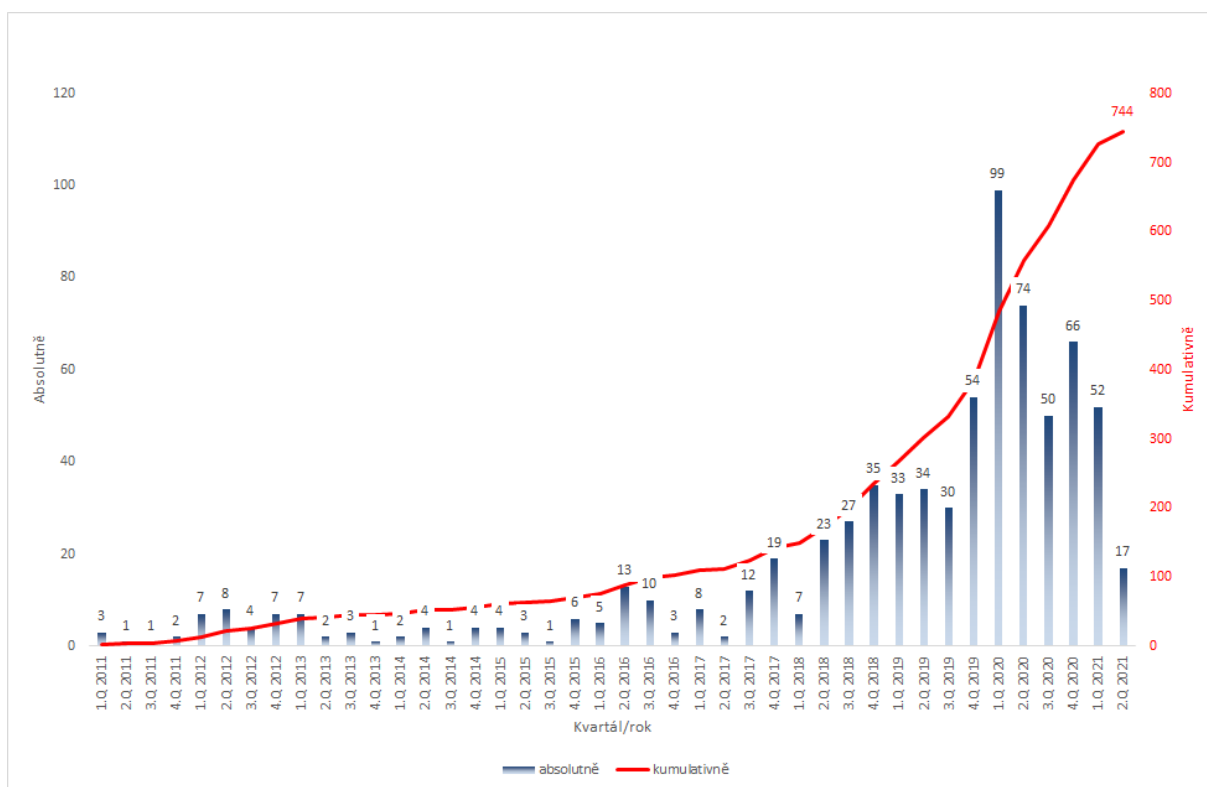
Obrázek 27 Provozovatelé veřejných dobíjecích stanic [70]

Provozovatel	Stanic	Bodů	Poměr bodů na stanici	Provozovatel	Stanic	Bodů	Poměr bodů na stanici
ČEZ, a.s.	254	703	2,8	AUTOKLEVER spol. s r.o.	1	2	2,0
Pražská energetika, a.s.	195	265	1,4	AUTOSERVIS JINDRA s.r.o.	1	1	1,0
E.ON Česká republika, s.r.o.	42	103	2,5	Autostop, spol. s r. o.	1	1	1,0
ŠKO-ENERGO, s.r.o.	36	72	2,0	BORS SERVIS s.r.o.	1	2	2,0
E.ON Energie, a.s.	31	72	2,3	CB Auto a.s.	1	1	1,0
ELEKTRO-PROJEKCE s.r.o.	26	26	1,0	CDS CARS s.r.o.	1	1	1,0
MOL Česká republika, s.r.o.	22	44	2,0	DOBE - CAR s.r.o.	1	2	2,0
Lidl Česká republika v.o.s.	19	20	1,1	ENGIE Services a.s.	1	2	2,0
Olife Energy Net, a.s.	19	38	2,0	EURO CAR Zlín s.r.o.	1	1	1,0
innogy Energo, s.r.o.	12	18	1,5	Gebo Immobilia - Rondel s.r.o.	1	2	2,0
Autokomplex Menčík a.s.	8	10	1,3	Gerhard Horejsek a spol., s.r.o.	1	3	3,0
Auto Drásta s.r.o.	7	7	1,0	ISP Hradec Králové, a.s.	1	4	4,0
Teplárny Brno, a.s.	5	13	2,6	Kovocité a.s.	1	2	2,0
InterCora - Bory, s.r.o.	3	6	2,0	KPB INTRA s.r.o.	1	2	2,0
InterCora, spol. s r.o.	3	8	2,7	LAURETA AUTO a.s.	1	1	1,0
KARIREAL a.s.	3	6	2,0	MAGNUM CAR,a.s.	1	1	1,0
MK CARS s.r.o.	3	4	1,3	město Písek	1	2	2,0
Tesla Motors Netherlands B.V.	3	22	7,3	ORI, spol. s r.o.	1	2	2,0
ARAVÉR CZ, s.r.o.	2	2	1,0	PP AUTOCENTRUM s.r.o.	1	2	2,0
Autocentrum Lukáš s.r.o.	2	2	1,0	Projekční společnost obchodních center v.o.s.	1	2	2,0
elmont-invest s.r.o.	2	4	2,0	PV - AUTO spol. s r.o.	1	3	3,0
e-Šumava.cz s.r.o.	2	4	2,0	Statutární město Plzeň	1	2	2,0
Město Bechyně	2	6	3,0	Technické služby Tábor s.r.o.	1	2	2,0
Special Tours Prague s.r.o.	2	2	1,0	Teplu Hlučín, spol. s r.o.	1	3	3,0
Veolia Energie ČR, a.s.	2	4	2,0	UHCAR, s.r.o.	1	2	2,0
AUTO CB, spol. s r. o	1	2	2,0	Veolia Průmyslové služby ČR, a.s.	1	1	1,0
Autocentrum Přešov CZ s.r.o.	1	3	3,0	ZM - TECH s.r.o.	1	1	1,0
Celkem					734	1 516	2,1

V registru vozidel bylo na konci roku 2020 registrováno 7 109 bateriových elektrických vozidel kategorie M1, z nichž bylo jen v roce 2020 registrováno 3 488, což je téměř polovina registrací. Na konci roku 2020 připadalo na jeden dobíjecí bod 4,7 vozidel [70].

V srpnu 2021 zveřejnilo Centrum dopravního výzkumu tiskovou zprávu, podle které bylo v ČR k 30.6.2021 registrováno přes 8,5 tisíce bateriových elektrických vozidel. Elektrických vozidel kategorie M1 bylo v centrálním registru vozidel evidováno 12 520, z toho se jednalo o 8 533 čistě elektrických vozidel a 3 987 PHEV. Tento počet znamenal, že na jeden dobíjecí bod připadalo 8,8 elektrických vozidel. To vyplývá z počtu nabíjecích stanic v ČR, jejichž počet činil k 30.6.2021 744 a bylo evidováno celkem 1417 dobíjecích bodů (460 DC a 957 AC bodů). Aktuálně celkem 64 subjektů provozuje v České republice veřejné dobíjecí stanice. Zhruba 67 % veřejných dobíjecích stanic provozují 3 energetické skupiny: ČEZ (38 %), PRE (19 %) a E.ON (10 %). Celkový nominální výkon dobíjecích stanic na našem území činil 46 MW. Vývoj počtu dobíjecích stanic od roku 2011 do poloviny roku 2021 lze vidět na obrázku 28 [71].

Obrázek 28 Vývoj počtu dobíjecích stanic v ČR [71]



K 30.9.2021 je dle dat z evidence dobíjecích stanic 799 dobíjecích stanic a jednalo se celkem o 1 525 dobíjecích bodů (510 DC a 1 015 AC bodů). Celkový nominální výkon dobíjecích stanic na našem území činil 51 MW. Elektrických vozidel kategorie M1 k tomuto datu bylo registrováno na našem území 13 691 a jednalo se o 9 129 BEV a 4 562 PHEV. Na základě těchto údajů připadalo na jeden dobíjecí bod 9 elektrických vozidel [72].

Tyto veřejné dobíjecí stanice, provozují v součtu 68 % 3 energetické skupiny: ČEZ (39 %), PRE (18 %) a E.ON (10 %). V České republice provozuje veřejné dobíjecí stanice aktuálně 69 subjektů [72].

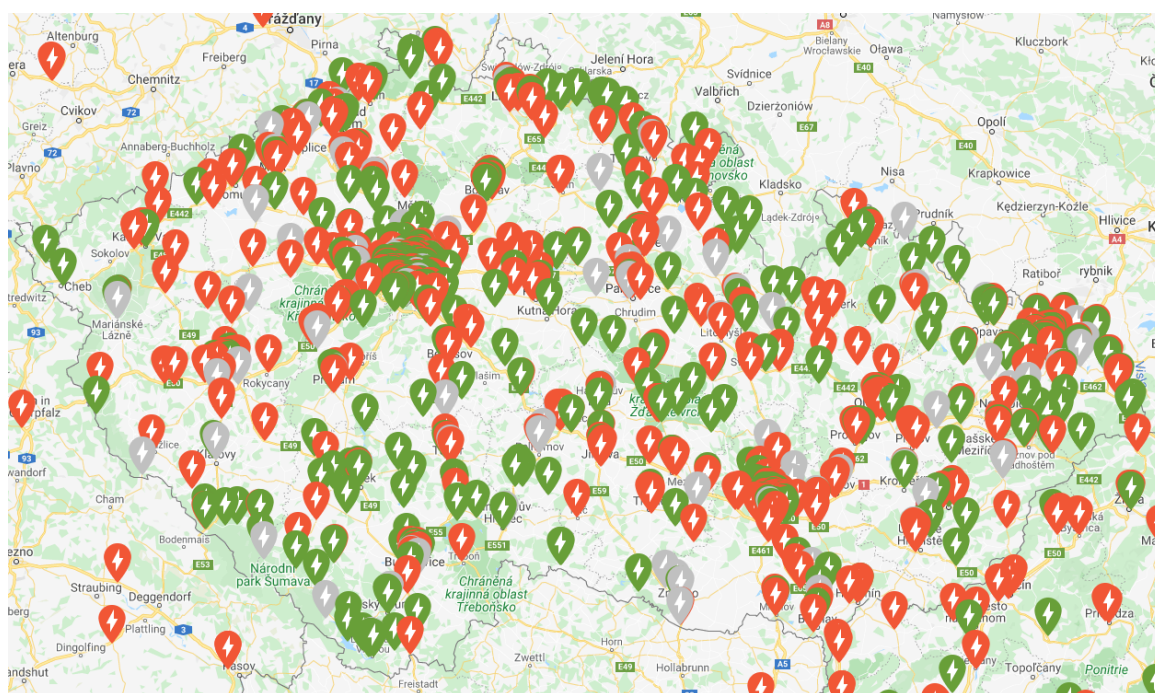
S přibývajícím počtem elektrických vozidel narůstá samozřejmě počet dobíjecích stanic, aby uživatelé mohli dobít své elektrické vozidlo téměř kdykoliv. Nicméně oproti konci roku 2020, kdy připadalo na jeden dobíjecí bod 4,7 elektrických vozidel, je to k 30.9.2021 už 9 elektrických vozidel. Počet dobíjecích bodů sice narůstá, ale ne tak rychle, v poměru k růstu počtu elektrických vozidel. To lze vidět v tabulce 5.

Tabulka 5 Přehled počtu EV na dobíjecí bod

Stav k	Počet EV	Počet dobíjecích stanic	Počet subjektů provozujících veřejné dobíjecí stanice	Počet dobíjecích bodů	Počet EV na dobíjecí bod
31.12.2020	7109	734	54	1516	4,7
30.6.2021	12520	744	67	1417	8,8
30.9.2021	13691	799	69	1525	9

Na obrázku 29 níže, je vidět počet dobíjecích stanic na našem území. Oranžová barva znázorňuje rychlodobíjecí stanice, zatímco zelená barva znázorňuje standardní dobíjecí stanice.

Obrázek 29 Mapa dobíjecích stanic [73]



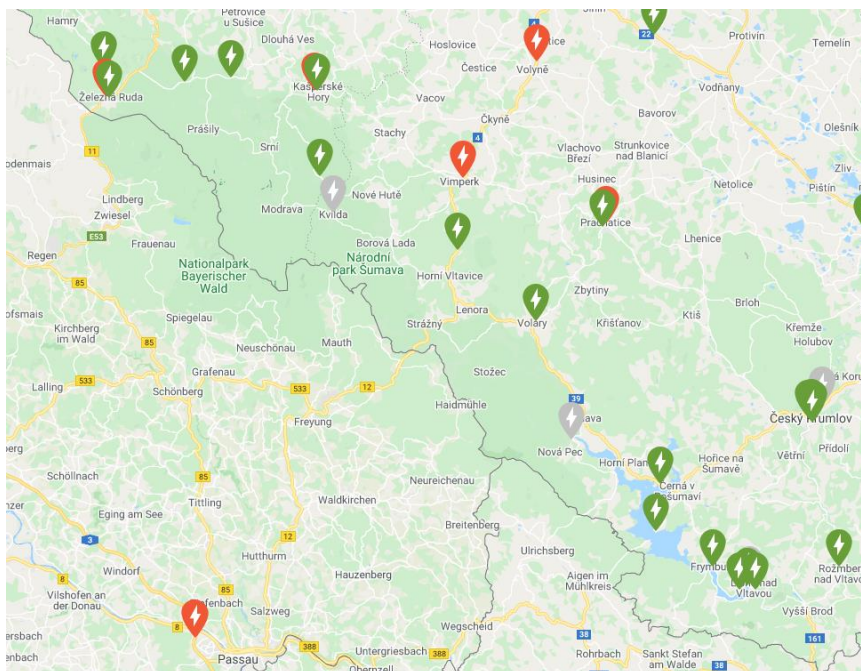
Pro řidiče elektrických vozidel je stěžejní, aby byli schopni najít veřejnou dobíjecí stanici, kde mohou dobít své elektrické vozidlo, pokud nemohou využít nabíjení doma nebo v práci. V současné době již existuje mnoho online map, kde si uživatelé mohou vyfiltrovat dobíjecí stanice dle svých potřeb preferencí.

5.3.1 Návrh pro posílení infrastruktury dobíjecích stanic

Dobíjecí infrastrukturu pro elektrická vozidla je nutné neustále rozšiřovat. Jako jeden z možných návrhů, kde síť dobíjecích stanic rozšířit, může být Šumavsko (obrázek 30), kde se v okolí Národního parku Šumava vyskytují pouze 4 rychlodobíjecí stanice, jak je patrné z obrázku 39, což může být například pro návštěvníky národního parku nekomfortní. Lze

pochopitelně uvažovat tak, že pokud se někdo vydá na túru po národním parku, nepotřebuje rychlodobíjecí stanici a spokojí se s obyčejnou. Za předpokladu, že ale řidič elektrického vozidla touto oblastí jen projíždí, je rychlodobíjecí stanice žádoucí.

Obrázek 30 Dobíjecí infrastruktura na Šumavsku [73]



Na spoustě míst v České republice je problém se zastaralou infrastrukturou distribuční sítě nebo tam jsou slabé trafostanice, a tudíž se nabízí využití právě bateriové úložiště pro provoz rychlodobíjecích stanic. Bateriové úložiště navíc může během dne akumulovat energii z obnovitelných zdrojů, například ze solárních panelů.

Jako další slabé místo s dobíjecí infrastrukturou se jeví okolí České Lípy (obrázek 31), kde by také určitě bylo vhodné umístit dobíjecí stanici. Jedno z řešení by například mohlo být umístění solárních panelů na samoobslužné myčky vozidel v kombinaci s bateriovým úložištěm, kdy by úložiště mohlo akumulovat energii ze Slunce.

Obrázek 31 Dobíjecí infrastruktura okolí České Lípy [73]



5.4 Analýza připravenosti elektrické přenosové soustavy ČR k zásobování elektrických vozidel na našem území

Na základě dat Českého statistického úřadu, dosáhl k 31. 12. 2020 instalovaný výkon elektráren v České republice hodnoty 21 329,6 MW. Největší podíl na instalovaném výkonu měly parní elektrárny (47,2 %), dále následovaly jaderné elektrárny (20,1 %), FVE (9,6 %), paroplynové (6,4 %), vodní (5,1 %), plynové a spalovací (4,5 %) a větrné elektrárny (1,6 %). Celkem bylo vyrobeno 81 427,6 GWh elektrické energie [74, 75].

Předchozí rok, tedy v roce 2019 bylo vyrobeno celkem 86 964,0 GWh elektrické energie. Rozdíl 5 536,4 GWh může mít za příčinu celosvětovou pandemii COVID-19, během níž se v roce 2020 vyrobilo nejméně elektrické energie za posledních 18 let. Pokles výroby byl způsoben snížením spotřeby elektrické energie u velkooběru i malooběru podnikatelů. Naopak v reakci na pandemická opatření stoupla spotřeba elektrické energie v domácnostech.

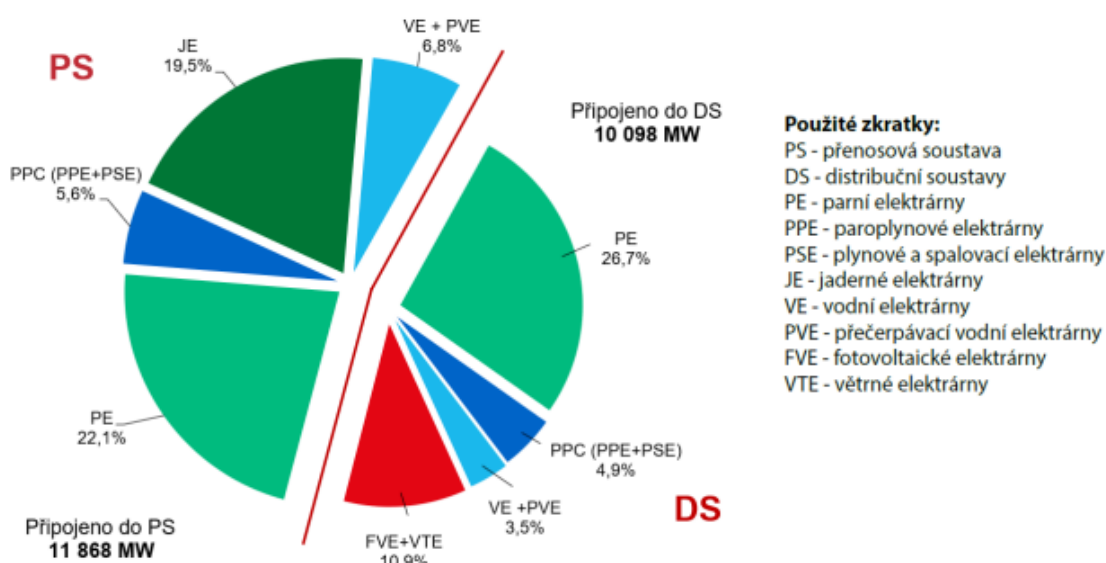
K 31. 12. 2019 dosáhl instalovaný výkon elektráren v České republice hodnoty 21 965,8 MW. Nejvyšší podíl na instalovaném výkonu měly parní elektrárny (48,8 %), dále pak jaderné elektrárny (19,3 %), FVE (9,3 %), paroplynové (6,2 %), vodní (5,0 %), plynové a spalovací (4,3 %) a větrné elektrárny (1,5 %) [76, 77].

Přenosová soustava spolu s distribuční soustavou zajišťují přenos elektrické energie od výrobců k odběrným místům. Přenosovou soustavu tvoří vedení na napěťových hladinách

400 a 220 kV, které zajišťují přenos po celém území ČR. Slouží pro přenos velkých výkonů na velké vzdálenosti a k propojení elektrizační soustavy se soustavami zahraničními. Dále také slouží pro vyvedení výkonu z velkých systémových elektráren. Výhradním provozovatelem přenosové soustavy ČR je společnost Česká energetická přenosová soustava (ČEPS), a to na základě licence č. 13010001 udělené Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Stát Česká republika je jediným akcionářem ČEPS který vlastní 100 % akcií a výkon akcionářských práv provádí z pověření státu Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) [78].

K 31.12.2019 tvořila přenosovou soustavu České republiky 3 780 km vedení 400 kV a 1 737 km vedení 220 kV. V majetku společnosti ČEPS je také 6 vedení 110 kV o celkové délce 84 km. Přímo do přenosové soustavy je připojena více než polovina instalovaného výkonu elektráren ČR. Celková hodnota činí 21 966 MW (brutto k 31. 12. 2019). Rozdělení této hodnoty mezi PS a DS s dělením na jednotlivé druhy elektráren znázorňuje obrázek 32 [79].

Obrázek 32 Struktura instalovaného výkonu elektráren ČR k 31. 12. 2019 [78]

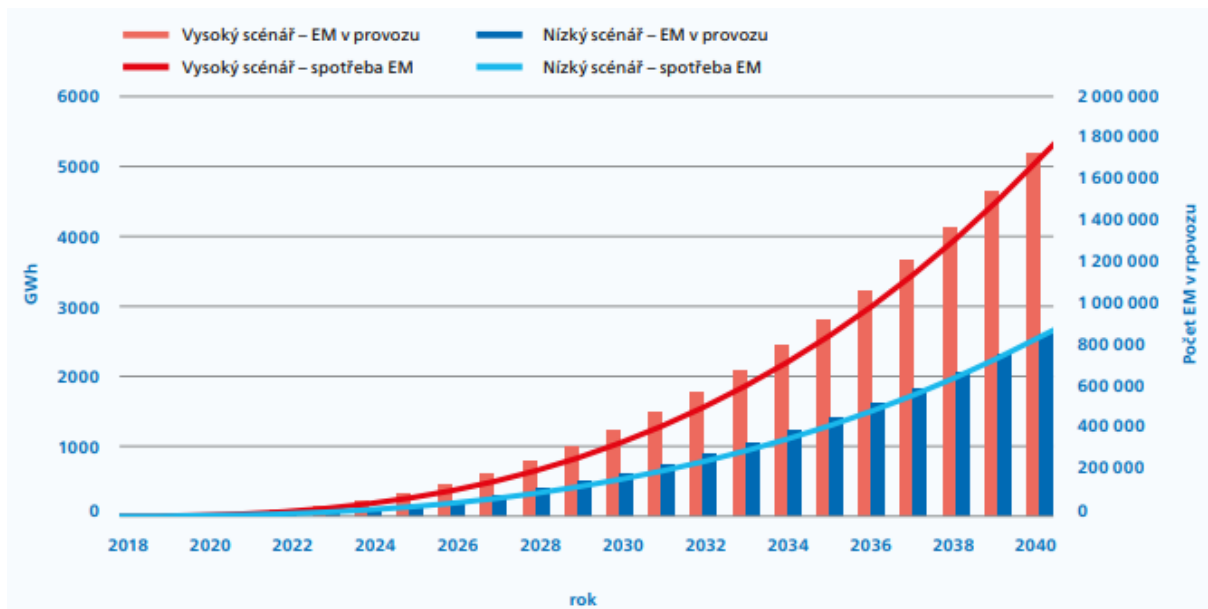


Společnost ČEPS uvádí ve svém dokumentu *Desetiletý plán rozvoje přenosové soustavy České republiky 2021-2030*, že jednou ze strategických priorit pro energetiku ČR, které mají zásadní vliv na budoucí činnost ČEPS je oblast „Priorita I – Vyvážený energetický mix“. V této oblasti se předpokládá rozvoj elektromobility a tepelných čerpadel se kterými je spojen zvýšený nárůst spotřeby elektrické energie [78].

Predikce rozvoje elektromobility (obrázek 33) je ve stejnojmenném dokumentu uvedena ve dvou scénářích – Nízký a Vysoký. Nízký scénář vývoje elektromobility je zahrnutý do

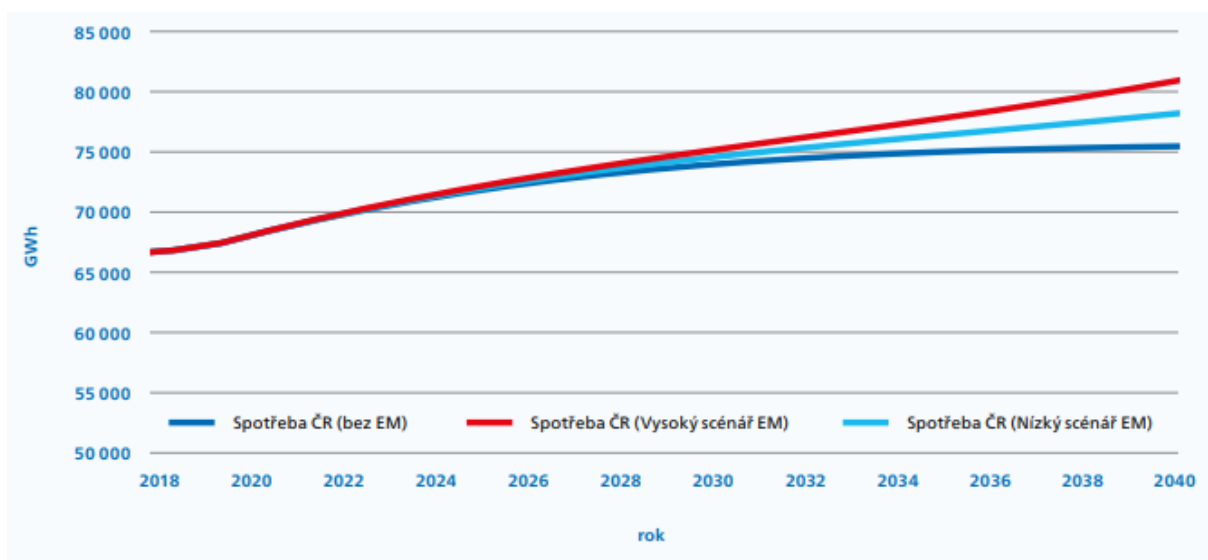
hlavního scénáře vývoje spotřeby elektrické energie v rámci ČR, zatímco vysoký scénář je zde použit pro demonstraci velikosti vlivu elektromobility na celkovou spotřebu elektřiny [78].

Obrázek 33 Predikce vývoje elektromobility [78]



Na obrázku 34 je vidět, jaký vliv může mít nízký a vysoký scénář vývoje elektromobility na tuzemskou netto spotřebu (TNS) do roku 2050.

Obrázek 34 Vliv elektromobility na TNS jakožto jednoho z nástrojů dekarbonizace konečné spotřeby elektřiny k roku 2050 [78]



V následující tabulce číslo 6 je uvedena roční spotřeba elektrické energie elektrického vozidla za předpokladu, že jeho roční nájezd bude činit 20 000 km a jeho průměrná spotřeba na 100 km bude 20 kWh. Spotřeba jednoho elektrického vozidla za rok představuje 4 MWh.

Tabulka 6 Průměrná spotřeba elektrického vozidla za rok

Průměrný roční nájezd	Průměrný denní nájezd	Průměrná spotřeba	Spotřeba za rok
20 000 km	55 km	20 kWh / 100 km	4 MWh

Na základě těchto výpočtů lze spočítat, kolik byla spotřeba elektrických vozidel, která byla registrována v České republice k 31.12.2020, k 30.6.2021 a k 30.9.2021. To je znázorněno v tabulce 7.

Tabulka 7 Průměrná spotřeba elektrických vozidel v rámci ČR

Stav k	Počet EV	Spotřeba za rok
31.12.2020	7 109	28,4 GWh
30.06.2021	12 520	50,1 GWh
30.09.2021	13 691	54,8 GWh

V roce 2020 bylo vyrobeno 81 427,6 GWh a spotřeba elektrické energie za rok 2020 činila 71 350 GWh. Spotřeba elektrických vozidel 28,4 GWh za rok je tedy poměrně malá a nelze říci, že by nebyl dostatek elektrické energie pro nabíjení elektrických vozidel. Pokud by nastal scénář, že by v rámci České republiky byl registrován 1 milion elektrických vozidel, došlo by k nárůstu spotřeby elektrické energie zhruba o 5,6 % (tabulka 8).

Tabulka 8 Nárůst spotřeby elektrické energie

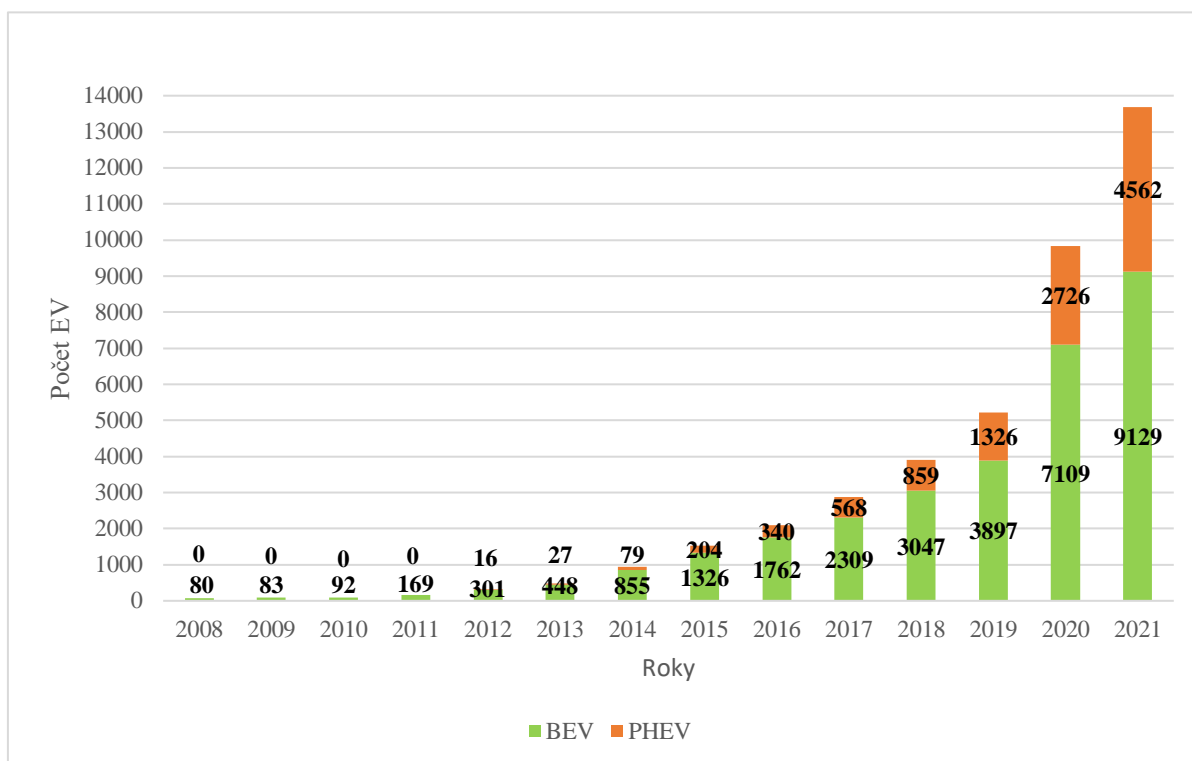
Spotřeba elektrické energie v ČR (2020)	Počet EV	Spotřeba za rok	Nárůst
71 350 GWh	1 000 000	4 000 GWh	5,6 %

Vzhledem k tomu, že značnou část vyrobené elektrické energie prodáváme do zahraničí, by tento nárůst elektrické energie neměl být nic, čeho bychom se museli nutně obávat. Velkou roli budou pochopitelně hrát uhelné elektrárny, k jejichž omezení jsme tlačeni zelenou dohodou pro Evropu (Green Deal). Principem této dohody je transformace Evropské unie na moderní, konkurenceschopnou ekonomiku, která bude účinně využívat zdroje, a kde se do roku 2050 dosáhne nulových emisí skleníkových plynů. Jedním z opatření, jak tohoto cíle dosáhnout je mimo jiné přechod na čistou energii. Výrobou a využíváním energie vzniká více než 75 % emisí skleníkových plynů v rámci Evropské unie, a i proto je stěžejní energetický systém Evropské unie dekarbonizovat. Díky tomu je možné, aby se nám podařilo splnit cíle v oblasti klimatu, které byly stanoveny na rok 2030 a rok 2050, kdy je cílem dosáhnout uhlíkové neutrality Evropské unie [80].

Scénář s 1 milionem elektrických vozidel na našich silnicích je ale zatím hudbou budoucnosti a vzhledem k tomu, že u nás není pobídka od státu v podobě dotací, která by mohla motivovat lidi ke koupi elektrického vozidla, nelze předpokládat, že by zhruba v 6ti milionové flotile osobních automobilů (6 125 932 osobních vozidel k 31.12.2020), měl být v blízké budoucnosti podíl celý 1 milion elektrických vozidel [81].

Na obrázku 35 můžeme vidět, že k nárůstu elektrických vozidel na našem území dochází, nicméně k 1 milionu elektrických vozidel nás čeká ještě pořádný kus cesty.

Obrázek 35 Nárůst počtu elektrických vozidel na našem území [82]

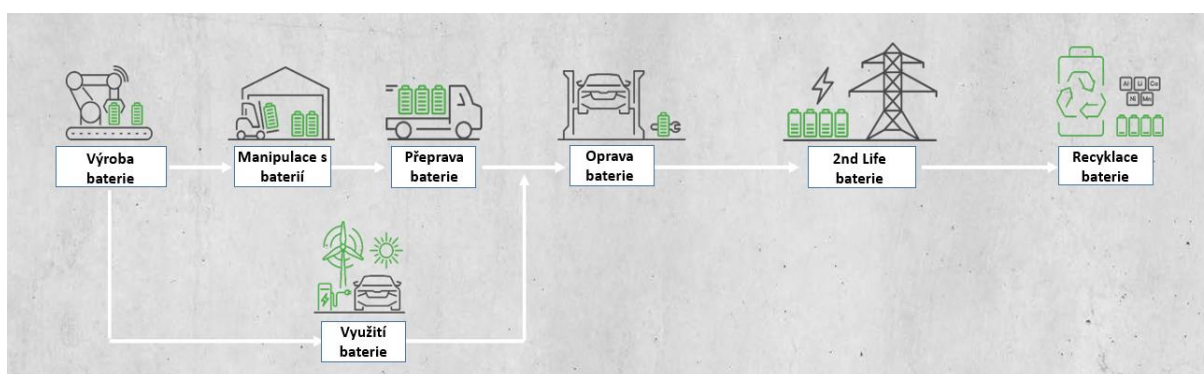


Již v této době dle Komory obnovitelných zdrojů energie pokryje Slunce, voda nebo vítr v České republice spotřebu 1,5 milionu elektrických vozidel. To je více než dvojnásobek počtu, s jakým počítá Ministerstvo průmyslu a obchodu v nejoptimističtější scénáři pro rok 2030. Podle Komory obnovitelných zdrojů energie bude Česká republika soběstačná, co se týče čisté mobility. Další FVE mohou přibývat třeba na střeších čerpacích stanic a energii mohou dodávat ve větším i bioplynové stanice. To vše vyplývá z analýzy, kterou si Komora nechala udělat. A že je elektrické energie nadbytek potvrzuje i mluvčí PRE, Vít Holubec „Je jí tolik, že ji můžeme nabízet kromě dobíjecích stanic i běžným zákazníkům“. Analýza také uvádí, že je nutné i přes dostatek elektrické energie hledat nové zdroje. Jako příklad uvádí střechy čerpacích stanic nebo nákupních center, které jsou vhodné pro umístění FVE [82].

5.5 Charakteristika životního cyklu baterie

Elektromobilita nepředstavuje pouze alternativní pohon, ale jedná se o celý ekosystém. Od samotného vozidla, přes nabíjecí služby, aby zákazník byl schopný nabít svoje vozidlo doma i na veřejnosti a během dlouhých cest. Dochází také k synergii s energetickým sektorem, aby elektrická vozidla nezpůsobovala výpadky proudu a blackouty. S elektromobilitou je také spojený životní cyklus baterie. Životní cyklus baterie je znázorněn na obrázku 36.

Obrázek 36 Životní cyklus baterie [83]



5.5.1 Výroba baterie

Životní cyklus začíná výrobou baterie. Současné generace baterií jsou založeny na lithiu pro jeho schopnosti vysoké hustoty energie. Pro srovnání lze říci, že nejlepší baterie současnosti pojmu kolem 350 Wh do jednoho litru baterie, avšak nafta nebo benzín mají ve stejném objemu více než 10 000 Wh. Proto pro dosažení srovnatelného využití elektrického vozidla potřebujeme obvykle hmotnost baterie 400 kg místo 50ti litrové nádrže.

K výrobě baterie ve formě článků později sestavených do modulů a celých bateriových sad potřebujeme obvykle stovky článků. Naprostá většina výrobců vozidel včetně Volkswagen a ŠKODA Auto v současné době nemá vlastní závody pro výrobu baterií. Jedinou výjimkou je Tesla s jejich Giga továrnami. V minulosti proto byly uzavřeny smlouvy s LG Chem a Samsung SDI s cenou 106 - 116 € za kWh baterie. V blízké budoucnosti (rok 2024) za účelem snížení nákladů na vysokonapěťové baterie plánuje Volkswagen Group otevřít vlastní závod na výrobu bateriových článků ve spolupráci se společností Northvolt.

Výroba baterií představuje pro výrobce automobilů zcela novou oblast. Rozdíl mezi dobrou a špatnou baterií se dělá v chemické laboratoři a výroba vyžaduje přesnost v mikroskopickém nanoměřítku. Tesla zahájila a stále pokračuje s výrobou baterií s odborníky z Panasonic, ti se ale mezitím také rozhodli investovat do vlastních výrobních závodů. V dnešní době díky tomuto kroku slouží Tesla jako měřítko pro všechny ostatní konkurenty. Skupina Volkswagen jako nováček v oblasti elektrifikované mobility také získává výrobní know-how ze strategického spojení s odborníky na baterie ze společnosti Varta a Northvolt. Tato spolupráce byla navázána v posledních letech. Hlavním cílem je postavit první baterie ve společném podniku v letech 2024/2025. Vlastní výroba umožní Volkswagen optimalizovat výrobní a také logistický proces. Tesla díky vlastní výrobě dokázala za posledních 10 let snížit cenu baterie. K prolomení bariéry a stlačení ceny pod 100 € za kWh chybí ještě jeden velmi důležitý kousek skládačky, a to: „Cirkulární ekonomika bateriových materiálů.

5.5.2 Manipulace a baterií

Když je baterie vyrobená, dochází k její manipulaci, aby byla dopravena na místo, kde je dále využita. Samotná manipulace a skladování baterií je náročné. Převoz baterií se řídí mezinárodní úmluvou ADR, a tedy není možné převážet baterie jen tak v papírové krabici. Musí být také speciálně upravené sklady, které zvládnou sledovat teplotu baterií, aby nedošlo k jejímu poškození nebo požáru baterie. Baterie se skladují za kontrolované teploty, aby baterie při skladování nedegradovala.

5.5.3 Využití ve vozidle

Baterie ve vozidle plní svou funkci a její kapacita by neměla klesnout během 8 let nebo po 160 000 km pod 70 % své původní kapacity. Pokud však dojde k poklesu dříve než po 8 letech nebo 160 000 km, je nutné navštívit servis.

Životnost nové baterie je dlouhá a předpokladem je, že baterie vydrží plnit svou funkci po celou dobu morální životnosti vozidla.

5.5.4 Oprava baterie

V servisu mohou vyměnit vadný modul nebo vyměnit celou baterii za jinou. Pro opravu baterií musí být speciálně proškolený personál, aby mohl manipulovat s baterií a mohl dodržovat stanovené servisní postupy. Baterie, která už dále nemůže plnit svou funkci ve vozidle, je určena k recyklaci.

5.5.5 Recyklace baterie

Cílem samotné recyklace je, aby se co nejvíc materiálu dostalo zase zpátky do výroby nových baterií. Recyklace se dá dělat mnoha způsoby. Pro vývoj nových recyklačních metod je podporován jak univerzitní sektor, tak v rámci koncernu je kladen důraz na vývoj nových recyklačních metod. Volkswagen má dokonce pilotní linku na recyklaci baterií, aby dostali co nejvíce materiálů z baterií zpět v co nejlepší kvalitě pro výroby nových baterií.

Recyklace se provádí v několika krocích, které vyžadují práci, kterou zatím nelze automatizovat. Baterii je potřeba rozebrat. Zbytek procesu provádějí stroje.

Ceny uváděné recyklačními společnostmi dokazují, že náklady na práci a pořízení strojů v současné době nelze kompenzovat dostatečnou poptávkou po recyklovaných materiálech. Měď a hliník lze snadno recyklovat již nyní, ale výnosy z těchto dvou kovů nemohou pokrýt všechny náklady. Klíčovým procesem je recyklace katodových materiálů s látkami obsahujícími kobalt a lithium. Společně s optimalizací nákladů povedou tyto procesy k bodu zlomu přibližně v roce 2030.

A) Rozdělení nákladů na recyklaci

Abychom identifikovali ekonomický potenciál recyklace, musíme vyhodnotit operace vedoucí k úspěšné a ekologické likvidaci HV baterií. Recyklační proces je z pohledu automobilky ŠKODA Auto v dnešní době reprezentován několika nákladovými pozicemi, z nichž samotná recyklace je až tou poslední.

B) Klasifikace a manipulace s baterií

Baterie je součástí vozidla, proto je pro opravu nebo výměnu baterii nutné z vozidla demontovat. Operace je časově náročnější u plug-in hybridních vozidel, kde demontáž vyžaduje

i odstranění výfuku. V průměru tato operace trvá asi 30 minut a vyžaduje dva technické odborníky. Cena práce byla odhadnuta na 30 €.

Po demontáži následuje klasifikační proces. Tento proces je mimořádně důležitý pro správné zabalení baterie. Vizuální kontrola, měření teploty a diagnostika speciálním zařízením pomáhá ke klasifikaci baterie. Existují tři kategorie baterií:

- 1) **Normální** – tato baterie nevyžaduje žádný zvláštní přístup;
- 2) **Kritické** – již existuje riziko, že baterie může negativně reagovat s okolím;
- 3) **Nebezpečné** – jedinou povolenou akcí je umístit baterii do karantény, poté počkat a překlasifikovat stav baterie, je-li to možné. Reklasifikaci baterie může provést pouze vyškolený odborník s názvem *High Voltage Expert*.

C) Balení baterií

Balení baterií je popsáno v celosvětové knize pravidel pro přepravu nebezpečného zboží, známé jako ADR. Obal musí být testován a certifikován pro přepravu konkrétního druhu baterie.

Normální baterie vyžadují obal s pevným vnějším obalem, který je obvykle vyroben z lepenky nebo dřeva. Dřevěné krabice ve skupině Volkswagen jsou řešeny jako vícecestné a je počítáno s 10 smyčkami krabice – od recyklačního partnera až po trh.

Balení kritických baterií je mnohem složitější a mnohem dražší. Krabice musí být ohnivzdorné a obvykle jsou vyrobeny z kovu. Posledním krokem procesu balení je plnění krabic speciálním nehořlavým materiálem známým jako pyrobubliny.

Podle interních výpočtů bude množství baterií v kritickém stavu minimální a průměrné náklady na dopravu se budou blížit 150 € na jednu baterii.

D) Náklady na logistiku

Doprava baterie směrem k recyklačním partnerům je nejdražší nákladovou pozicí. Přeprava ADR je obvykle dvakrát dražší než běžná přeprava kvůli speciálnímu školení řidičů a dodatečnému vybavení přepravovanému na palubě kamionu. Náklady na logistiku se liší v závislosti na vzdálenosti, kterou musí náklad urazit. Druhým faktorem, který zvyšuje náklady

na logistiku, je nízká frekvence případů. Bez možnosti snižovat přepravní náklady naplněním nákladních kapacit je posuzována možnost shromažďovat více baterií v tzv. bateriových hubech strategicky rozmístěných po celé Evropě. Tyto huby by byly zřízeny a udržovány externí smluvní přepravní společnostmi. Baterie od různých prodejců budou shromažďovány, dokud nebude dosaženo plné přepravní kapacity vozidla.

E) Recyklační partneři

Volkswagen Group již podepsal smlouvy již s několika recyklačními společnostmi v západní Evropě, které jsou schopny recyklovat lithium-iontové baterie v dostatečném množství. Všechny jsou certifikovány pro přijímání a ekologickou recyklaci baterií. Jediný rozdíl mezi nimi je technologie, kterou používají k recyklaci baterií.

V současné době není žádný z recyklačních partnerů schopen podnikat ziskově pouze na recyklaci, protože se cena za recyklaci 1 kg baterie pohybuje mezi 0 až 1,70 €. Jeden z recyklačních partnerů nabídl nulovou cenu za recyklaci, a to díky doplňkovému obchodu, který společnost plánuje spustit – Výběr baterií pro sekundární využití. Cena těchto baterií pak může kompenzovat náklady na recyklaci zbývajících – nekvalifikovaných baterií. Tato strategie umožňuje značkám Volkswagen recyklovat tam zdarma, ale naznačuje to, že může dojít k promarněné příležitosti v druhé životnosti baterie.

F) Zdroje baterií

Recyklace je klíčem k budoucímu snížení ceny vozidla. Recyklace bude mít pozitivní vliv na životní prostředí a bilanci emisí CO₂ pocházejících z výroby baterií. Aby však bylo možné vyhodnotit, zda je recyklace ekonomickou šancí pro nový tok příjmů nebo hrozbou potenciálního finančního rizika (co recyklace znamená v číslech), je třeba vyvinout metodiku pro přesný výpočet. Dva hlavní zdroje baterií jsou interní zdroje a externí zdroje. Díky predikci počtu baterií z těchto oblastí, je mnohem jasnější, o jaké množství HV baterií se bude muset ŠKODA Auto jako výrobce postarat.

1) Interní zdroj baterií

- *Výrobní zařízení* – baterie nevyhovující k instalaci do vozidla kvůli mechanickým problémům způsobeným během montážního procesu
- *Technický vývoj po interních testech*
- *Oddělení kvality* - zde jsou vozidla neustále testována pro sběr dat o poruchách všech komponentů

Ročně lze počítat s maximálně stovkami baterií z interních zdrojů.

2) Externí zdroj baterií z trhů:

- *Záruční případy*
- *Autonehody*

Tento bateriový zdroj je ve srovnání s interním zdrojem mnohem významnější. Povinnost recyklovat vozidla vyplývá z evropské legislativy. Není to nic nového, protože stejná situace je i u vozidel se spalovacími motory. Situace se však dramaticky mění v případě vozidel s elektrickými akumulátory. V případě automobilů se spalovacími motory se celý recyklační průmysl kolem recyklace formoval během desetiletí a soukromé podniky jsou schopny vytvářet výnosy z autovraků.

A) Objem vozidel

Prvním krokem je výběr měřítka. ŠKODA Auto plánuje výrobu v tzv. plánovacích kolech, z nichž vyplývá konkrétní harmonogram pro továrny. Nejnovější verze již plánuje modely do roku 2030. ŠKODA Auto musí přesně plánovat, aby se vyhnula sankcím za překročení maximálních povolených emisí CO₂.

Celkem ŠKODA Auto plánuje v letech 2020 - 2030 vyrobí více než 1,6 milionu elektrifikovaných vozů v poměru 70 % BEV a 30 % PHEV.

B) Návratnost

Očekávané množství použitých baterií lze vypočítat na základě návratnosti. Míru návratnosti ovlivňují takové faktory, jako jsou:

♣ *Nehodovost* – 0,5 % vozidel z kumulovaného vozového parku utrpí každý rok úplnou nehodu. Hodnota byla dohodnuta a harmonizována napříč všemi značkami v rámci skupiny Volkswagen

a představuje průměr, přestože v některých městských oblastech s častým provozem je míra rozhodně vyšší.

♣ *Poruchovost* – hodnota pravidelně aktualizovaná podle modelu a typu vozidla. Velmi důležitý z hlediska kvality a záruky, slouží také pro reverzní inženýrství a ovlivňování produktu. V zásadě se učít z chyb (poučení) a proto je třeba provádět sběr dat o poruchách způsobených technologií baterií. V průměru se bere v úvahu hodnota 0,25 %, která se každým rokem zvyšuje (se stářím vozidla).

♣ *Rychlost degradace baterie* – další faktor, který je specifický pro elektrifikovaná vozidla. Degradace baterií se předpovídá na 10 let. Experti Volkswagen Group předpokládají, že baterie ročně ztratí 3,5 % kapacity zdravotního stavu. Míra degradace odráží skutečnost, že všechny značky Volkswagen Group garantují zákazníkovi minimálně 8 let nebo 160 000 km a také skutečnost, že HV baterie bude mít minimálně 70 % původní kapacity.

♣ *Míra udržení se v ekosystému* – velmi důležité procento vyjadřující podíl vozidel, která skončí zpět v ekosystému ŠKODA Auto /Volkswagen Group. Pozorování situace, kdy vozidlo během svého životního cyklu opouští Evropskou unii a míří převážně do východních zemí, není ve světě vozidel se spalovacím motorem žádnou novinkou. V případě eMobility koncern Volkswagen neočekává tak silný efekt. Především kvůli nižší hustotě dobíjecí infrastruktury se nepředpokládá masivní migrace elektrifikovaných vozů ŠKODA Auto do východních regionů. Proto počítáme, že 90 % vozidel zůstane v ekosystému a prodejci musí být připraveni tato vozidla přijmout, aby zajistili ekologickou recyklaci. Po sumarizaci všech výše uvedených návratností se konečné číslo pohybuje mezi 4 až 5 %.

5.5.6 2nd Life baterie

To, že baterie už nemůže plnit svou funkci ve vozidle, nemusí nutně znamenat její konec. V rámci 2nd Life businessu, je možné tyto baterie dále využívat a oddálit tak recyklační náklady. Baterie by se tak tedy recyklovala až po konci její životnosti v 2nd Life projektech.

Životnost baterie je dána chemickým poměrem. Baterie může být miniaturní a má v sobě hodně energie, třeba baterie v telefonu. Na telefon je ale záruka 2 roky. Na baterii v elektrickém vozidle, která díky jinému chemickému poměru výrobci dávají v současné době

8 let nebo 160 000 km, záleží, co nastane dříve. Během této doby by baterie neměla klesnout pod 70 % své kapacity.

Baterie, které se nehodí pro 2nd Life (například baterie s nízkou zůstatkovou kapacitou) tedy čeká recyklace. Díky recyklaci jsme schopni získat drahé a cenné kovy a můžeme tak snížit emise CO₂, které bychom produkovali při jejich těžbě.

Oddálení recyklace díky druhotnému využití baterie je však efektivní způsob, jak baterii využít do konce její životnosti.

5.6 Analýza využití bateriového úložiště v komerční sféře

Akumulace elektrické energie je budoucnost. V současné době se Česká republika potýká se zvyšujícími se cenami elektrické energie a plynu. V roce 2022 tomu nebude jinak. ERU oznámil, že elektřina a plyn podraží díky nárůstu regulované složky ceny elektrické energie pro domácnosti v průměru o 3,7 % a plyn o 2,4 %. Zdražení se týká také neregulované složky ceny energie. Do té dodavatelé energií promítají nákup drahé energie na burze. V letošním roce také ukončila činnost Bohemia Energy. Jednalo se o největší uskupení alternativních dodavatelů energií v ČR. K 31.12.2020 evidovalo toto uskupení celkem 1,2 milionu zákazníků a 13.10.2021 společnost oznámila, že ukončí svou činnost, tedy dodávku elektřiny a plynu [84]. Není proto divu, že stále více lidí se snaží být energeticky nezávislími (fotovoltaika, tepelné čerpadlo,...). Právě bateriové úložiště může být další odpovědí na řešení současné situace. V České republice byla k březnu roku 2021 nainstalována zatím 4 bateriová úložiště a v následujícím desetiletí se očekává největší nárůst počtu právě těchto velkokapacitních bateriových úložišť. V rámci Evropy jich v současné době funguje či vzniká kolem 500. Největší zastoupení mají ve Velké Británii. V České republice jsou 4 provozovatelé velkokapacitních baterií - ČEZ, E.ON, Solar Global, C-Energy Planá [85].

ČEZ

Na konci roku 2019, zahájil ČEZ provoz velkokapacitního bateriového systému k akumulaci energie a testování různých režimů poskytování podpurných služeb pro energetickou soustavu České republiky. Bateriové úložiště se nachází v areálu Elektrárny

Tušimice (obrázek 37). Jedná se o zařízení, které je spuštěno v rámci společného výzkumného projektu BAART společností ČEZ a ČEPS. Úložiště má kapacitu 2,8 MWh a výkon 4 MW. Je zapojeno v bloku se stávajícím turbogenerátorem o výkonu 200 MW certifikovaným pro poskytování služeb výkonové rovnováhy (služby používané k zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou), konkrétně automatické regulace frekvence. Úložiště během ročního testu prokázalo spolehlivost a schopnost rychlé reakce na odchylky frekvence. Bylo odzkoušeno 16 scénářů simulujících reálné provozní situace a stavy, včetně až 37 aktivací automatického nabíjení/vybíjení bateriového úložiště během jednoho týdne [86, 87].

Obrázek 37 Bateriové úložiště ČEZ [86]



E.ON

Ani společnost E.ON, která také patří k velkým hráčům v oblasti energetiky nezůstala pozadu. V Mydlovarech postavila bateriové úložiště (obrázek 38), jehož dodavatelem řešení je společnost Siemens. V pilotním režimu bude primárně využíváno ke kompenzaci odchylek u obchodníka s elektřinou. Úložiště se skládá z 240 modulů a do každého z těchto modulů dokáže uložit 7,5 kWh. Celková kapacita činí 1,8 MWh. Projekt byl realizován v rámci Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost a byl spolufinancován Evropskou Unií [88, 89].

Obrázek 38 Bateriové úložiště E.ON [88]



Solar Global

V rámci stejného operačního programu byl realizován a financován projekt společnosti Solar Global. Jejich BESS (Battery Energy Storage System), který je na obrázku 39, byl v listopadu 2017 připojen přímo do distribuční soustavy v ČR. Výkon tohoto úložiště je 1 MW a kapacita převyšuje 1 MWh. Úložiště slouží pro akumulaci přebytků energie z distribučních soustav a jakýchkoli zdrojů elektrické energie jako například FVE. Akumulovaná elektrická energie je pak využívána při výkyvech distribučních soustav nebo při zvýšené poptávce po elektrické energii [90].

Obrázek 39 Bateriové úložiště Solar Global [90]



C-Energy Planá

Velkokapacitní úložiště (obrázek 40) je pak také instalováno v Plané nad Lužnicí, kde je součástí teplárny C-Energy Planá. Toto úložiště má výkon 4 MW a využitelnou kapacitu 2,5 MWh. Baterie uvnitř jsou dobíjeny z místních generátorů elektriny, a také z FVE o výkonu 520 kWp, která byla vybudována na jinak nevyužitelných pozemcích v areálu [91].

Obrázek 40 Bateriové úložiště C-Energy Planá [91]



EFLEX

Za zmínku zde také stojí pilotní projekt využívání „volné kapacity“ velkých bateriových systémů pro podpůrné služby. Tento projekt je podpořen státní podporou TAČR (program Théta) a na projektu se podílejí společnosti ČEPS, LEEF Technologies, E.ON Energie, ČEZ, PREDistribuce, Solar Global Service a ŠKODA Auto. Cílem tohoto projektu je ověřit využitelnost „volné kapacity“ bateriových systémů pro poskytování podpůrných služeb. Předmětem zkoumání jsou bateriové systémy, které jsou primárně instalovány pro jiný účel než poskytování například pro peak-shaving u rychlodobíjení elektrických vozidel nebo load-shifting FVE [92].

V zahraničí je však daleko více projektů s velkokapacitními bateriovými úložišti. V kapitole 4.8 je uvedeno bateriové úložiště společnosti Renault (Projekt Advanced Battery Storage). A samozřejmě je tu pak společnost TESLA, která po úložišti s názvem Powerpack, přichází s dalším, větším úložištěm Megapack. Jeden Megapack představuje bateriový systém o velikosti 3 MWh spolu s integrovanými moduly, inventory a tepelnými systémy. Tesla oficiálně oznámila v říjnu roku 2021, že pro realizaci tohoto úložiště postaví i továrnu. Kromě

Powerpack a Megapack, má Tesla ve svém portfoliu bateriových uložišť také Powerwall, který slouží především pro domácnosti vzhledem k jeho nižší kapacitě [93].

Z výše zmíněných projektů je patrné, že využívání baterií pro akumulaci elektrické energie je něco, co se v současné době ve velké míře děje a realizuje po celém světě. Navíc jsou tyto projekty hojně financovány různými podpůrnými a dotačními programy, protože akumulace elektrické energie či využití volné kapacity je v současné době důležité téma. Všechny tyto velkokapacitní bateriová uložišť využívají zcela nové baterie, v současné době se ale dostávají do popředí baterie, klasifikované jako 2nd Life, které mohou díky využití v bateriovém úložišti prodloužit svůj život, než bude nutná její recyklace.

5.7 Analýza použití baterií z elektrických vozidel označovaných jako 2nd Life pro bateriová uložišť

Jak již bylo zmíněno, bateriová uložišť umožňují asymetrické zatížení jednotlivých fází a díky tomu poskytují maximální využití vyrobené energie. Úložišť jsou také připravené na inteligentní řízení a dynamické rozhodování, zda využitou energii uložit do baterií, dodat na ohřev vody, nabití elektrického vozidla či přebytečnou vyrobenou energii prodat do sítě, pokud má majitel smlouvu s distributorem. Integrovaným systémem kontroly s adaptivní logikou je možné regulovat a optimalizovat tok energie, maximalizovat míru energetické soběstačnosti domácnosti a zároveň ukládat energii vyrobenou solárními panely. Jedná se tedy o chytré řešení, kdy se domácnost může stát energeticky nezávislá na síti, případně nedostatek elektrické energie v úložišti může být naopak kompenzován z veřejné sítě, aby nedošlo ke snižování životnosti akumulátorů uvnitř uložišť.

Existuje mnoho aplikací, které je třeba zvážit pro 2nd Life baterii. Jakýkoli produkt využívající velkokapacitní baterie může těžit z nízkých cen znovu použitých článků, bateriových modulů nebo celých baterií. Vzhledem k velikosti článků používaných ve Volkswagen Group nepřichází v úvahu jakákoliv spotřební elektronika, jako jsou počítače, nositelná elektronika a další spotřebiče, protože celý jejich bateriový blok je v drtivé většině případů menší než jeden článek používaný v automobilových bateriích koncernu Volkswagen. Případy použití vyžadující vysoký výkon nejsou možné kvůli chemické degradaci ve stárnoucích bateriových člancích. Proces stárnutí obvykle omezuje „špičkový výkon“ mnohem

více než kapacita (kolik energie baterie pojme). To vyvolává potřebu snadného způsobu porovnání energetické náročnosti produktu a kapacity použité baterie. V odvětví se používá dobře známá hodnota „C“:

$$C = \frac{I [A]}{\text{Kapacita baterie [Ah]}}$$

Hodnota C představuje poměr mezi proudem (výkonem) odebraným z baterie a kapacitou baterie. Vzorec funguje stejně pro výkon v kW dělený kapacitou v kWh.

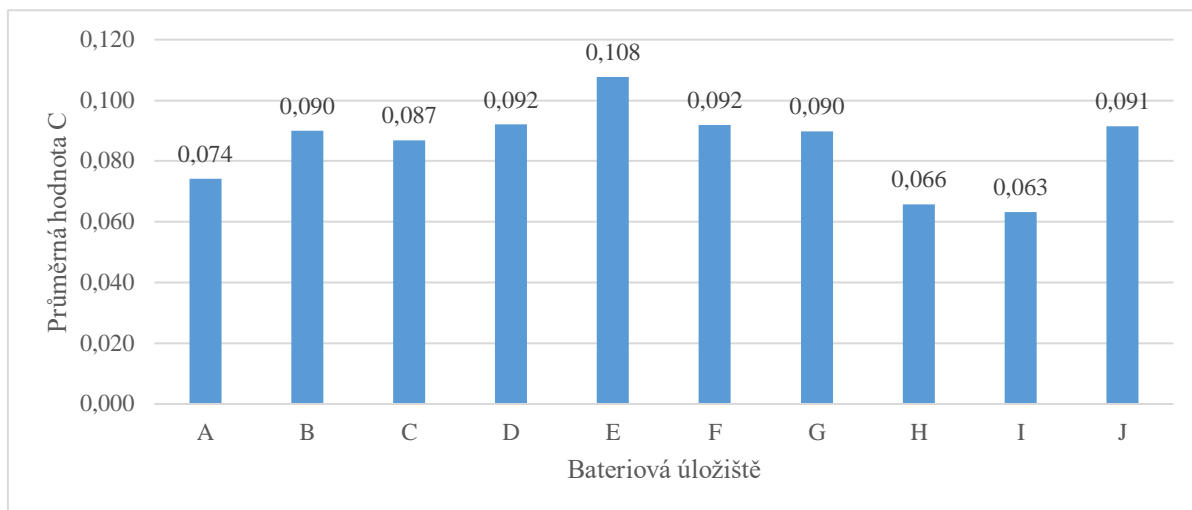
Další výhodou hodnoty C je, že nám orientačně říká, jak dlouho baterie vydrží do vybití v různých aplikacích – pro 1 C je to jedna hodina, pro 2 C je to půl hodiny a 0,5 C nám poskytne výdrž baterie 2 hodiny (při zanedbání poklesu proudu u téměř vybitého článku). Rozdíl mezi různými produkty je nyní jasně srovnatelný: Enyaq RS se svými 225 kW výkonu motorů a 82 kWh baterií dokáže získat z baterie 2,74 C (225 děleno 82) a baterie by se při tomto výkonu vybila za zhruba 36 minut. Jedná se však o špičkový výkon, který je například při akceleraci nebo rychlejší jízdě a nejedná se tudíž o trvalou zátěž.

Vysoké hodnoty C negativně ovlivňují životnost baterií. Z tohoto důvodu je možné dlouhodobě využívat 2nd Life baterie tam, kde je vyžadováno zatížení 1 C nebo méně. Takovými aplikacemi mohou být bateriové úložiště různých velikostí a pro různé aplikace a také elektrické vysokozdvizné vozíky nebo autonomní robotická vozidla používaná ve ŠKODA Auto pro přepravu komponentů po výrobních závodech. Bateriové úložiště si ŠKODA Auto vybrala jako primární cíl, protože nebylo potřeba náročné hardwarové a softwarové integrace se stávajícím produktem, což vedlo k rychlému vývoji a nízkým počátečním investicím. Baterie může být zatížena i proudem 3 C, ale nebude mít dlouhou životnost. To není žádoucí vzhledem k 2nd Life projektům, kdy je principem prodloužení životnosti baterie. Při vysoké hodnotě C by se baterie musela častěji měnit, a to v tomto případě z hlediska nastavení záruk není vhodné.

Na obrázku 41 a 42 jsou znázorněny průměrné hodnoty C při nabíjení (IN) a průměrné hodnoty C při vybíjení (OUT) úložiště. Průměrné hodnoty C jsou získány z reálných dat bateriových úložišť, které jsou v současné době umístěna v deseti domácnostech v rámci

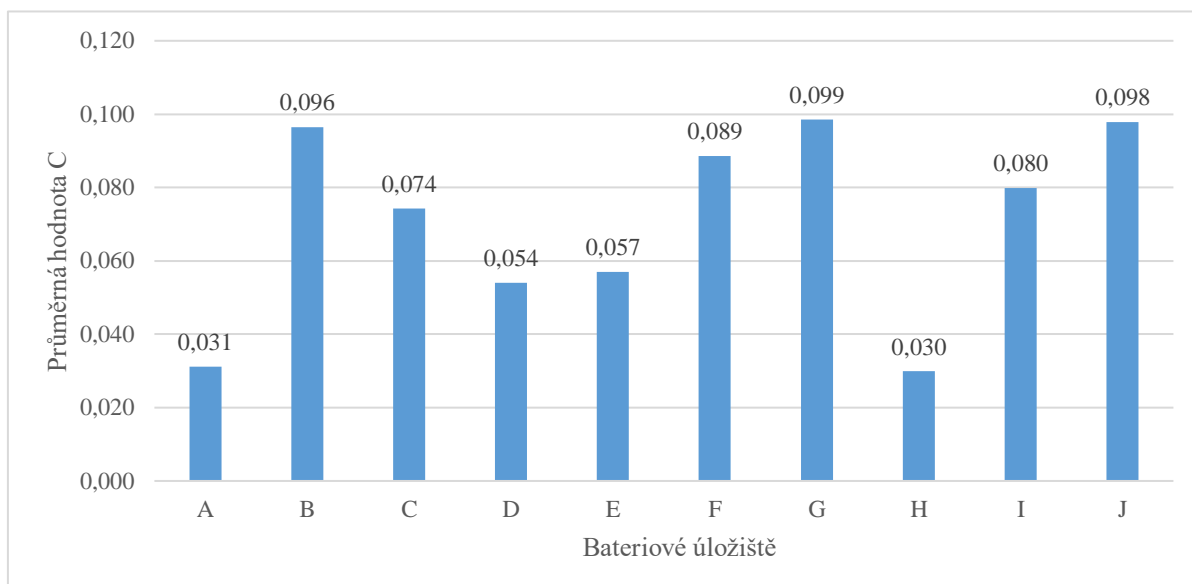
pilotního projektu ŠKODA Auto po celé ČR. Jedná se o průměry hodnot, kdy byla zátěž baterie větší než 300 W (při vybíjení a nabíjení).

Obrázek 41 Průměrná hodnota C (IN)



Nabíjecí proudy jsou dané v drtivé většině případů rozdílem výkonu fotovoltaických panelů a vlastní spotřeby domácnosti. V některých případech může jít i o přednabíjení úložiště z „levného“ nízkého tarifu tak, aby spotřeba domácnosti byla pokryta během úseků vysokého tarifu.

Obrázek 42 Průměrná hodnota C (OUT)



Rozptyl průměrných odběrů z baterie je daný charakterem domácnosti: zda topí elektrinou, jak intenzivně využívají vysokovýkonné elektrické spotřebiče, a tak dále.

Jak bylo výše uvedeno, například Enyaq RS se svými 225 kW a 82 kWh baterií, dokáže získat z baterie při maximálním zatížení 2,74 C. Aby bylo možné porovnat zatížení baterie ve vozidle a v úložišti, byly z minutových dat jednotlivých stanic, získány maximální a minimální hodnoty C. Pro porovnání jsou hodnoty C v bateriovém úložišti v tabulce 9.

Tabulka 9 Průměrné hodnoty C bateriových úložišť

Bateriové úložiště	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	průměr
MAX C	0,427	0,563	0,425	0,648	0,526	0,515	0,086	0,475	0,474	0,497	0,464

Dle uvedených dat je vidět, že maximální zatížení baterie v úložišti nepřesáhne hodnotu 1 C, která byla uvedena výše jako hodnota, která se pro 2nd Life baterie nedoporučuje, z důvodu vlivu na životnosti baterie.

Maximální hodnota C v bateriovém úložišti: 0,648

Maximální hodnota C Enyaq RS: 2,740

$$2,740 / 0,464 = 4,23$$

Baterie v Enyaq RS je tedy při maximálním zatížení, zatížena více než 4x, než baterie v bateriovém úložišti. Díky tomu i baterie, která se může zdát „slabá“ pro elektromobil, může ještě bez vlivu na výkon sloužit v jiné aplikaci. Vzhledem k tomu, že hodnota C má přímý vliv na životnost baterie, lze předpokládat, že baterie v bateriovém úložišti bude mít vyšší životnost než baterie v elektrickém vozidle. Je ale také nutné zmínit to, že životnost baterie kromě vyjádření v letech, se také určuje v počtu nabíjecích cyklů.

5.8 Bateriové úložiště

Jedná se o zařízení, které má schopnost uchovat např. energii z fotovoltaických panelů pro večerní a noční využití, nebo naopak využít elektrickou energii z levného nočního tarifu pro denní spotřebu domácnosti. Bateriové úložiště je také řešením pro limitované síťové připojení a také poskytuje modularitu [61].

V elektrické síti musí být stejná výroba jako spotřeba. Toho se dosahuje regulačními procesy. Pro regulaci elektrické energie je nevhodná jaderná elektrárna, protože než dojde k jejímu „nastartování“ je zapotřebí několik dní, a to k pokrytí například aktuální večerní špičky není dostačující. Fotovoltaika a vítr jsou absolutně neregulovatelné, vzhledem k tomu, že vyrábí elektrickou energii pouze tehdy, pokud svítí Slunce nebo fouká vítr. Jako další se nabízí vodní

elektrárny. Vody ale na našem území pro regulaci elektrické energie příliš mnoho nemáme a musí se také dbát na regulaci hladiny vodních toků. Vodní elektrárny jsou vhodným řešením spíše pro Rakousko a Norsko, které mají vody dostatek. V ČR nám tedy zbývají pro regulaci uhelné a paroplynové elektrárny. Jedná se ale o způsob, který je drahý a produkuje velké množství emisí.

Řešením této situace je výroba elektrické energie z čistého zdroje - více fotovoltaiky nebo více jádra. Pokud by bylo energie více než je potřeba, mohla by se uložit právě do bateriového úložiště a když by jí bylo málo, tak by se z bateriového úložiště mohla naopak brát do sítě. Jedná se o princip, který funguje a v současné době se jeho testováním zabývá ČEPS se svými partnery [61].

Může se jednat o velká úložiště, která se nachází vedle elektrárny (Renault), nebo se může jednat o menší úložiště, která se mohou nacházet u dealerství (ŠKODA Auto). Bateriové úložiště může fungovat jak s novými, tak i s použitými trakčními akumulátory, které přestaly plnit svou funkci v elektrických vozidlech. Využití použitých akumulátorů je výhodné jak z ekonomického, tak z ekologického hlediska. Díky této technologii je efektivně využit celý potenciální životní cyklus elektrické baterie. Renault poprvé ohlásil projekt Advanced Battery Storage (obrázek 43) v roce 2018 jako „největší stacionární systém skladování energie v Evropě s použitými bateriemi z elektrických vozidel“. Systém má být postaven hned na několika místech a podle aktuálních informací bude mít kapacitu téměř 50 MWh [94].

Obrázek 43 Projekt Advanced Battery Storage [94]



S využitím mnoha energetických zdrojů, zásob energie a různé poptávky po elektrické energii v průběhu dne je bateriové úložiště vhodné pro domácnosti a společnosti, aby skladovaly elektrickou energii, když ji nepotřebují a použily ji, až dojde k její nutné spotřebě (například pro nabití elektrického vozidla).

Okamžité výhody bateriového úložiště jsou:

- snížení provozních nákladů díky optimalizaci spotřeby energie,
- nízké náklady na údržbu,
- umožňuje nabíjení s vysokým výkonem,
- není nutné navyšovat rezervovaný příkon (zhruba 180 Kč za 1 kWh - záleží na poskytovateli elektrické energie),
- umožňuje nové business modely,
- trakční akumulátory nemohou být v současné době efektivně recyklovány, a proto je bateriové úložiště vhodná volba.

5.8.1 Auto Podbabská - Energy storage

Součástí standardů, které musí splňovat dealeri značky ŠKODA Auto, je vytvoření nabíjecí infrastruktury. Vzhledem k finanční náročnosti se dealeri budou pro budování dobíjecích míst snažit využít dotační programy. Při využití dotačních programů, budou muset být dobíjecí stanice veřejně přístupné [95].

Dobíjecí stanice s minimálním výkonem 11 kW bude základním standardem. Pokud v rámci vytvoření vlastní dobíjecí infrastruktury bude chtít mít dealer také rychlodobíjecí stanici (50 kW, ale i více), pravděpodobně bude muset zohlednit dostatečný příkon. To znamená, že bude muset zohlednit, zda bude distribuční síť schopna dodat dostatečné množství energie pro jeho dobíjecí stanici [95].

Výkyvy odběru elektrické energie jsou velmi drahé. V praxi mají dealerství u svého dodavatele energie předem nasmlouvané rozmezí rezervovaného příkonu. Pokud toto rozmezí

překročí nebo naopak neodčerpá rezervované množství energie, platí velké pokuty. Vzhledem k tomu, že elektromobilita je na vzestupu, bude ze začátku pro dealerství velmi těžké odhadnout poptávku po dobíjení elektrických vozidel. Právě pro vyrovnávání nerovnoměrností odběru elektrické energie může posloužit bateriové úložiště, které pokrývá fáze vysokého odběru buď při nabíjení elektrických vozidel, nebo přímo provozovny dealerství a servisu. Bateriová úložiště budou také potřebovat dealerství, která nemají k dispozici trafostanici. Samotné dobíjecí stanice tak drahé nejsou, ale právě zařízení pro vyrovnávání odběrových špiček jsou finančně velmi náročná. Ceny se pohybují do milionů korun [95].

Bateriové úložiště je vlastně takový plechový box velikosti šatní skříň, který ukrývá trakční akumulátory. Ty se ve fázích nízkého odběru plní elektrickou energií, primárně z rozvodné sítě, ale je možné, aby se plnily elektrickou energií třeba i ze solárních panelů na střeše, kterou mohou uložit na později. Jedná se vlastně o obří „powerbanku“ [95].

V Praze v Podbabě v roce 2019 ŠKODA Auto spustila bateriové úložiště, které skládá z použitých PHEV trakčních akumulátorů. Dealerství má v bateriovém úložišti v 1 600 článcích uloženo 160 kWh, ačkoliv byly akumulátory zhruba na 70 % původní kapacity. Jedná se o akumulátory, u kterých je pokles kapacity tak velký, že pro elektrické vozidlo už nebyly vhodné. Systém je modulární, takže bude možné jeho kapacitu navýšit. Bateriové úložiště dealerství ŠKODA Auto Podbabská je vidět na obrázku 44 [95, 96].

Obrázek 44 Bateriové úložiště ŠKODA Auto [95]



Podle Jana Železného, který je členem e-mobilitního týmu Škoda Auto, pilotní projekt úspěšně potvrdil koncept druhého života baterií. Vysokokapacitní úložiště, které bylo instalováno u dealerství ŠKODA Auto, kde se v praxi ověřila možnost akumulace levnější noční energie či energie z obnovitelných zdrojů. Následně se dá tato energie použít pro napájení celého provozu dealerství. Úložiště ze starých baterií se osvědčilo, zejména když dealer instaloval nabíjecí zařízení pro elektrická vozidla, kdy si úložiště dokázalo poradit i s dodatečným nárokem na příkon řady wallboxů, a dokonce i rychlonabíjecí stanice, kterou lze vidět na obrázku 45 [96].

Obrázek 45 Dobíjecí stanice Auto Podbabská [95]



Vzhledem k úspěšnému pilotnímu projektu, který potvrdil efektivní druhotné využití vysloužilých trakčních akumulátorů elektrických vozidel, se ŠKODA Auto rozhodla zahájit sériovou výrobu. Toto úložiště (obrázek 46) pojme až 20 baterií z plug-in hybridních modelů Superb iV a Octavia iV o kapacitě 13 kWh, nebo 5 baterií o kapacitě 82 kWh z elektrického SUV Enyaq iV. Kapacita bateriového úložiště je 328 kWh a výkon činí 300 kW. Systém lze rozšiřovat nebo snižovat a v případě potřeby lze baterie v několika jednoduchých krocích vyměnit. V příštích letech by mohlo být postaveno více než 4 000 těchto bateriových úložišť.

Obrázek 46 Kompaktní all-in-one bateriové úložiště DES [97]



5.8.2 Domácí bateriové úložiště

Bateriové úložiště poskytne největší finanční úsporu, pokud bude fungovat spolu s fotovoltaickými panely. Bateriové úložiště v kombinaci s FVE je vhodné řešení především pro rodinné domy. Velikost FVE je zásadní zvolit na základě spotřeby objektu. FVE vyrábí a dodává elektřinu do celého domu, kde je zrovna potřeba. Elektřina z fotovoltaických panelů i baterií tak může být dostupná v každé zásuvce. Ve slunečné dny je možné, aby celý dům pokrýval spotřebu elektrické energie z obnovitelného zdroje energie (Slunce) a přebytečné množství energie akumuloval do bateriového úložiště, kdy je pak možné využití energie ze slunce v pozdějších hodinách. To přináší jak úsporu finanční, tak ekologickou a rovněž možnost částečné soběstačnosti v případě výpadku dodávky energie. FVE se vyplatí zejména tehdy, pokud je vyrobená energie spotřebována v rámci domácnosti, aniž by se přebytky dodávaly do distribuční sítě. Tím lze ušetřit od 2 do 3 Kč za každou kWh.

V tabulce 10 je uveden modelový příklad pro rodinný dům o ploše 110 m². Jeho předpokládaná roční spotřeba je 7 000 kWh za rok. Cena elektrické energie u společnosti ČEZ platná od 1.7.2021 pro tarif D02d činí 4,46 Kč za 1 kWh. Celkové roční náklady na elektrickou energii pro tento dům činí 31 220 Kč.

Tabulka 10 Modelový příklad rodinného domu

DŮM

roční spotřeba elektrické energie	7 000 kWh
cena elektrické energie (ČEZ)	4,46 Kč/kWh
roční náklady na spotřebu elektrické energie	31 220 Kč

Pokud se majitelé takového domu rozhodnou, že by chtěli snížit svoje náklady na elektrickou energii, mohou využít bateriové úložiště, které jim může akumulovat elektrickou energii za ceny nočního proudu (nízký tarif), kterou mohou přes den spotřebovávat v rámci provozu domu. V minulosti byl nízký tarif nastaven od 22:00 do 6:00, dnes se střídá odběr v nízkém a vysokém tarifu několikrát v průběhu dne. Kvůli vyrovnávání zatížení odběrné sítě se časy zapnutí „nočního“ proudu během roku několikrát mění.

Přeskakování elektroměru mezi nízkým tarifem a vysokým tarifem řídí spínač hromadného dálkového ovládání (HDO). Pokud má uživatel doma běžné spotřebiče (pračka, myčka, lednice atd.), dosáhne na jednotarifové distribuční sazby D01d a D02d, kde se cena za kWh v průběhu dne nemění. Dvoutarifové sazby (D25d a vyšší) získá po splnění technických požadavků uživatel, který elektřinou topí, ohřívá vodu, nabíjí elektromobil nebo ji odebírá například na chalupě. Právě sazby D25d a vyšší umožňují pohyb mezi lacinějším nízkým a dražším vysokým tarifem [98].

Přeskakování elektroměru mezi nízkým tarifem a vysokým tarifem však není jediné řešení. V současné době je kladen především důraz na energii z obnovitelných zdrojů, a tak se jasně nabízí akumulace elektrické energie ze solárních panelů. Pořízení fotovoltaických panelů je dnes běžná praxe a mnoho rodinných domů je již využívá. Stát mimo jiné poskytuje štedré dotace, díky nimž se FVE stává stále dostupnější. Pokud tedy majitelé domu uvažují o bateriovém úložišti, měli by jistě zvážit i umístění solárních panelů na svou střechu. Základní parametry solárních panelů jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 základní parametry solárních panelů**Solární panely EXE 460 Wp**

Celkový výkon FVE	6,44 kWp
Počet panelů	16 ks
Potřebná plocha střechy	36 m ²
Roční výroba	6000 kWh
Počet fází	3

Cena FVE spolu s bateriovým úložištěm se pohybuje kolem 439 000 Kč (cena u ČEZ). Program Nová zelená úsporám umožňuje do konce roku 2021 podat žádost o poskytnutí podpory na pořízení bateriového úložiště v kombinaci s fotovoltaickým systémem, a to až ve výši 150 000 Kč. Díky tomu se dá znatelně snížit pořizovací cena těchto zařízení, což je vidět v tabulce 12.

Tabulka 12 Cenová kalkulace

Cena FVE a bateriového úložiště	439 000 Kč
Dotace (Nová zelená úsporám) až	150 000 Kč
Cena s dotací	289 000 Kč

V následující tabulce 13 vidíme, že úspora díky FVE činí 26 760 Kč a rozdíl který tedy zbývá doplatit oproti ročním nákladům na elektrickou energii, činí 4 460 Kč.

Tabulka 13 Úspora za elektrickou energii

Úspora z FVE	26 760 Kč
Cena za elektřinu ročně	4 460 Kč

Návratnost investice do FVE a bateriového úložiště je vidět v tabulce 14. Za předpokladu, že počáteční investice bude 439 000 Kč, může být teoreticky za 16 - 17 let. Přičemž záruky na bateriová úložiště se pohybují kolem 10 let a na solární panel kolem 15 let. V návratnosti není započtena dotace, která například nyní do konce roku je až 150 000 Kč

(Nová zelená úsporám). V takovém případě je návratnost investice daleko zajímavější. Návratnost investice činí 10-11 let. Dotační tituly jsou tedy pro rozvoj těchto technologií zásadní.

Tabulka 14 Doba návratnosti

náklady na pořízení FVE a bateriového úložiště	439 000 Kč
návratnost bez dotace	16,41 →16-17 let
návratnost s dotací	10,8 →10-11 let

S rostoucí cenou elektrické energie se ale investice do FVE spolu s bateriovým úložištěm vrátí dříve.

5.8.3 Pilotní projekt 2nd Life

V rámci pilotního projektu je testováno několik bateriových úložišť. Pro účely této disertační práce bude pracováno s daty z celkem 11ti bateriových úložišť, označených **A** až **K**, které jsou umístěny celkem v 6 krajích. V tabulce 15 níže jsou uvedeny kraje, kde jsou úložiště umístěna a významné elektrospotřebiče, které mohou mít vliv na spotřebu domácnosti. Pro účely této práce se pracovalo s daty získanými v průběhu srpna, září, října a listopadu.

Tabulka 15 Charakteristika bateriových úložišť

Bateriové úložiště	Lokalita instalace	Charakteristické spotřebiče
A	Liberecký kraj	plynový kotel, bazénové čerpadlo
B	Liberecký kraj	tepelné čerpadlo, bazénové čerpadlo
C	Liberecký kraj	plynový kotel, klimatizace, sauna
D	Královehradecký kraj	elektromobil, elektrokotel, elektrokola
E	Karlovarský kraj	tepelné čerpadlo, elektrokotel, klimatizace, sauna, elektrokola
F	Jihočeský kraj	tepelné čerpadlo, přímotopy, bojler na teplou vodu
G	Hlavní město Praha	elektromobil, plynový kotel, klimatizace, vířivka
H	Středočeský kraj	elektromobil, tepelné čerpadlo, vířivka

I	Středočeský kraj	elektromobil, přímotopy, vířivka
J	Hlavní město Praha	elektromobil, elektrokotel, přímotopy, bazénové čerpadlo
K	Liberecký kraj	elektromobil, tepelné čerpadlo, bazénové čerpadlo, sauna, elektrokola

Charakteristika dní

Pro porovnání byly zvoleny dva dny, a to v měsíci srpnu a listopadu. Tyto dny a měsíce byly zvoleny vzhledem k dostupnosti dat. V obou případech se jednalo o čtvrtek (12.8.2021 a 11.11.2021), aby bylo možné porovnávat spotřebu domu (víkendy se může spotřeba lišit). V srpnu roku 2021 vyráběla FVE elektrickou energii i 13 hodin denně, díky čemuž bylo možné pokrýt spotřebu domácnosti.

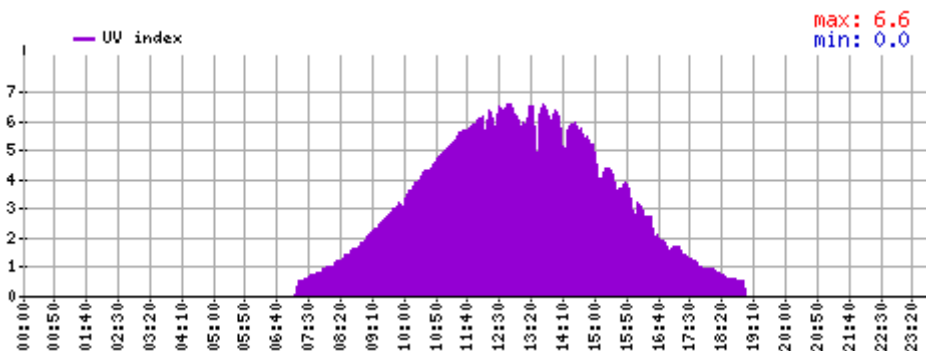
Dva hlavní dny, které byly předmětem porovnání, jsou charakterizovány níže. Úhrn srážek 0,0 mm. Informace o Slunci je v tabulce 16 [99].

Tabulka 16 Informace o Slunci 12.8.2021 [99]

východ - západ:	05:41:53 - 20:18:33
pravé poledne:	13:00:13 h
délka světlého dne:	14:36:40 h (-197s)

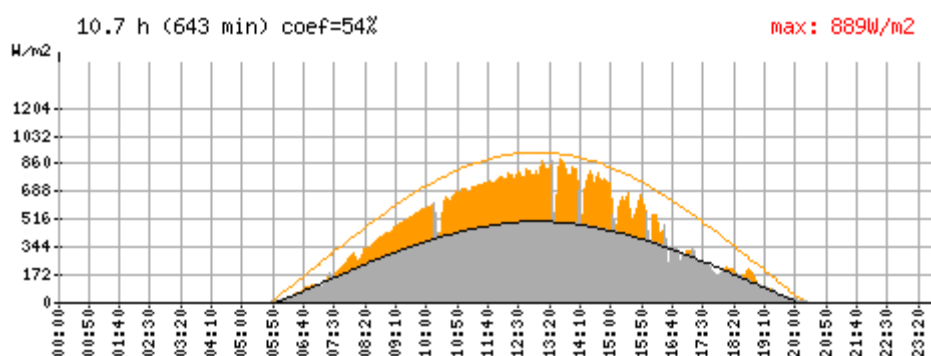
Dne 12.8.2021 byl vysoký UV index, jeho maxima dosahovala 6,6 (obrázek 47). Celý den bylo jasno a teploty dosahovaly až 26,2 °C. Průměrná teplota byla 19,2 °C.

Obrázek 47 UV index 12.8.2021 [99]



Globální záření dne 12.8. 2021 dosahovalo maxima 889 W/m², což je vidět na obrázku 48.

Obrázek 48 Globální záření 12.8.2021 [99]



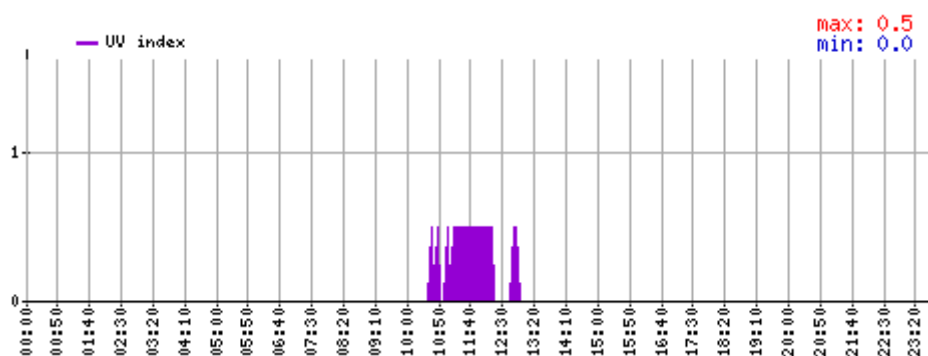
Naproti tomu 11.11.2021, tedy o téměř 3 měsíce později, činila maximální teplota 6,4 °C a minimální 4,3 °C. Tento den byla vysoká oblačnost. Průměrná teplota byla 5,6 °C. Úhrn srážek 0.0 mm. Informace o Slunci je v tabulce 17 [100].

Tabulka 17 Informace o Slunci 11.11.2021 [100]

východ - západ:	07:02:18 - 16:16:26
pravé poledne:	11:39:22 h
délka světlého dne:	09:14:08 h (-182s)

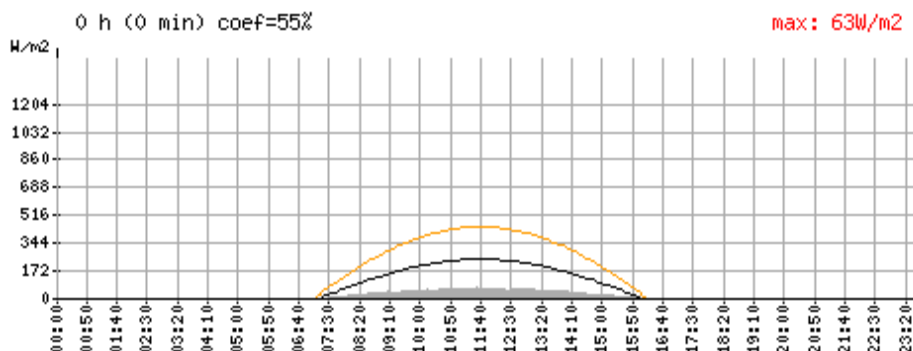
Maximální hodnota UV indexu byla 0,5, což znázorňuje obrázek 49.

Obrázek 49 UV index 11.11.2021 [100]



Globální záření dne 11.11.2021 dosahovalo maxima 63 W/m², což znázorňuje obrázek 50.

Obrázek 50 Globální záření 11.11.2021 [100]



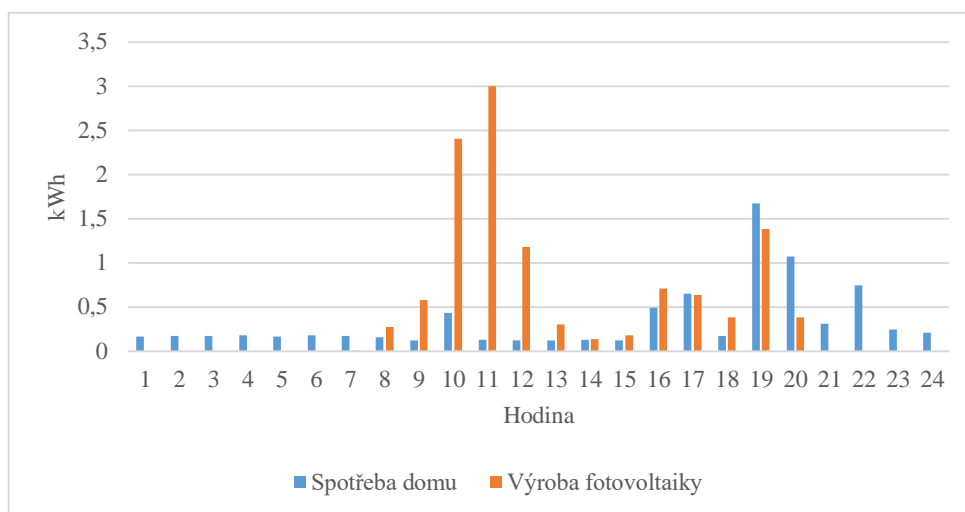
Bateriové úložiště F

Pro podrobnou analýzu bylo zvoleno bateriové úložiště F, které se nachází v Jižních Čechách. Domácnost má průměrnou roční spotřebu 9 MWh a mají instalovanou FVE o výkonu 10 kWp, orientovanou na jih. Svou průměrnou denní spotřebu uvedli 24,7 kWh, tarif D56d, velikost domovního jističe 25 A a tato domácnost disponuje Smart Home funkcí. Mezi významné spotřebiče této domácnosti majitelé uvedli, že patří: tepelné čerpadlo, přímotopy, 3,5 kW li-ion nabíječe a bojler na teplou vodu.

Na následujících obrázcích 51 a 52, lze vidět srovnání spotřeby rodinného domu konkrétní den v srpnu a v listopadu.

Celkem za tento den (12. srpna 2021) byla FVE schopna vyrobit 11,58 kWh a díky tomu byla schopna pokrýt spotřebu domácnosti, která byla 8,16 kWh. Rozdíl 3,42 kWh, který nebyl spotřebován, se uložil do bateriového úložiště pro pozdější spotřebu.

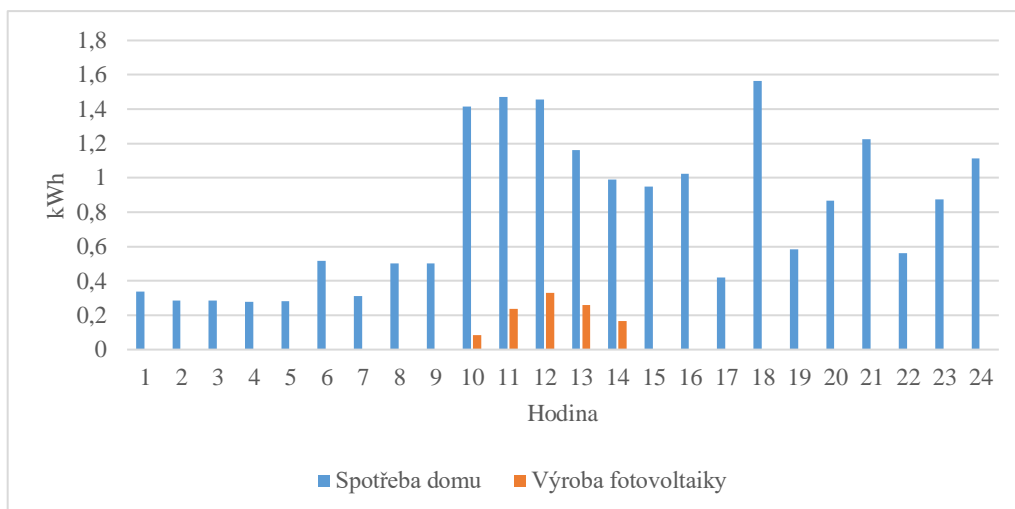
Obrázek 51 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Naproti tomu na obrázku 52 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (18,96 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (1,08 kWh). Příčinou je fakt, že tento den byla vysoká oblačnost oproti 12. srpnu 2021, kdy bylo celý den jasno.

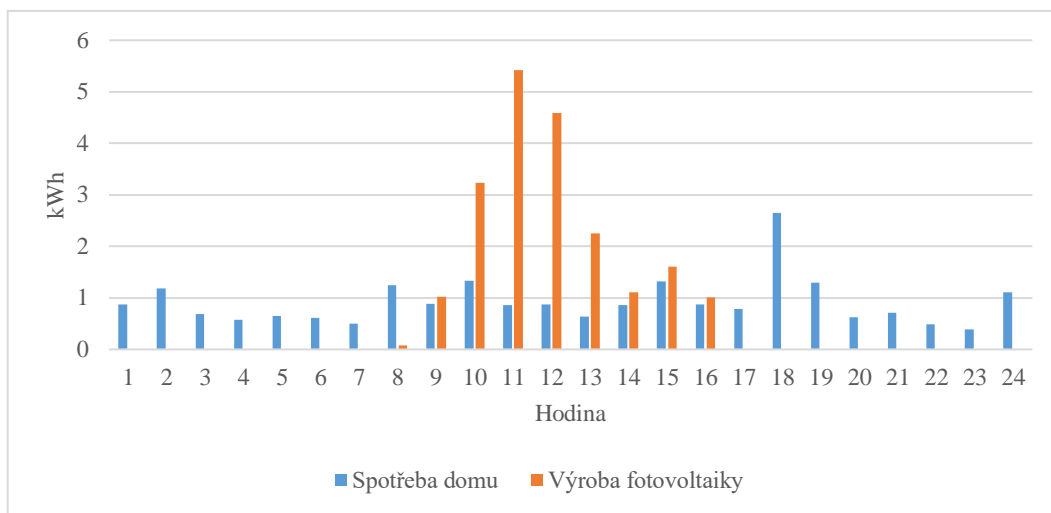
V této domácnosti, kde je instalováno bateriové úložiště F nejsou započítány přetoky (funkce přetoky do sítě) to znamená, že to, co vyrobila FVE se spotřebovalo pro pokrytí vlastní spotřeby domácnosti nebo pro nabíjení baterií v bateriovém úložišti. Navíc v listopadu bateriové úložiště přešlo na tzv. *zimní režim*, kdy bateriové úložiště minimalizuje svou vlastní spotřebu, protože je předpoklad, že budou dlouhé prodlevy mezi dostatečným osvětlením panelů, které může úložiště využít.

Obrázek 52 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Nelze však říci, že FVE ztrácí v podzimních a zimních měsících význam. Dle dostupných dat je vidět, že den předtím, tedy 10. listopadu, byla FVE daleko více aktivnější, než následující den. Vyrobila celkem 20,25 kWh a spotřeba domu činila 22,01 kWh. Lze tedy říci, že tento den bylo téměř možné pokrýt díky akumulaci elektrické energie během 10. až 13. hodiny spotřebu domu. To lze vidět na obrázku 53.

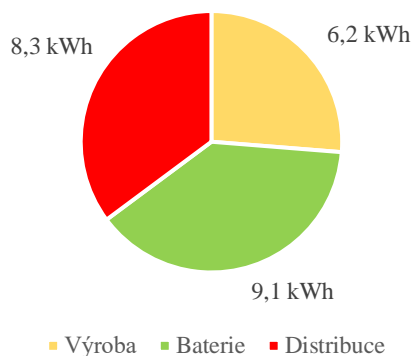
Obrázek 53 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 10.11.2021



Elektrická energie z fotovoltaiky se používá pro okamžitou vlastní spotřebu. Díky bateriovému úložišti je ale možné uchovat přebytečnou elektrickou energii na později. V dnešní době, kdy aktuálně stoupá cena elektřiny a plynu je toto řešení více než žádoucí. Pořízení fotovoltaiky spolu s akumulacním zařízením (tedy bateriovým úložištěm) je navíc podpořeno dotačními tituly.

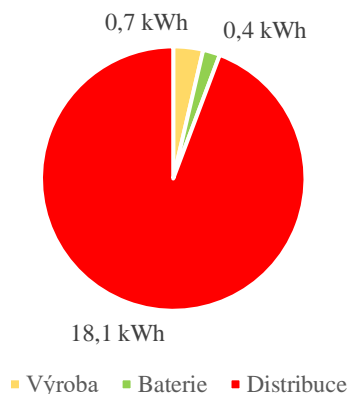
Dne 10. listopadu 2021, bylo díky bateriovému úložišti pokryto 38 % spotřeby domu z baterie (9,1 kWh). Distribuce pokryla 35 % (8,3 kWh) a výroba fotovoltaiky pokryla 26 % (6,2 kWh), což je znázorněno na obrázku 54.

Obrázek 54 Pokrytí spotřeby 10.11.2021



Naproti tomu na obrázku 55 je znázorněn 11. listopad 2021, kdy bylo především zataženo, nebyla FVE schopná vyrobit elektrickou energii pro pokrytí spotřeby domu. Spotřeba domu byla teda pokryta z distribuce (18,1 kWh) a baterie (0,4 kWh) spolu s výrobou (0,7 kWh), byly jen doplňkovým zdrojem elektrické energie, kterou dům potřeboval.

Obrázek 55 Pokrytí spotřeby 11.11.2021



V podmínkách České republiky je přibližně 1500 hodin slunečního svitu za rok, což je zhruba 62,5 dní v roce. Pro přidělení dotace (Nová zelená úsporám) je stanoven horní limit pro výkon elektrárny. Fotovoltaika totiž nesmí vyrobit více energie, než kolik činí průměrná dlouhodobá spotřeba domu. Znamená to tedy, že pokud má dům roční spotřebu elektřiny 3 000 kWh/rok neměla by elektrárna mít větší výkon než 3 kWp. V rámci dotačního programu je stanoven limit 10 kWp, což je také maximální limit velikosti FVE na střeše rodinného domu bez nutnosti mít na její provoz licenci. Na FVE do 10 kWp se také vztahuje osvobození příjmů, pokud nějakou nespotřebovanou elektřinu prodáte do distribuční sítě. Z toho tedy vyplývá, že pro získání dotace nelze mít FVE s větším výkonem, než který pokryje průměrnou spotřebu domu.

Od srpna 2021 do 12.11.2021, kdy je toto bateriové úložiště nainstalováno spolu s FVE, pokrývalo z velké části spotřebu domu. Dům tedy nemusel spotřebu pokrývat pouze z distribuční sítě, ale mohl využívat energii z obnovitelných zdrojů. Průměrné pokrytí spotřeby elektrické energie domu je vidět v následující tabulce 18 a 19. V tabulce 18 je vidět čistě průměrné pokrytí v měsíci z baterie a FVE, zatímco v tabulce 19 je pouze průměrné pokrytí spotřeby z baterie.

Tabulka 18 Průměrné pokrytí spotřeby domu baterií a FVE

průměr	BAT+ FVE
srpen	79 %
září	82 %
říjen	67 %
listopad	48 %

V letních měsících bateriové úložiště spolu s FVE pokrývají více než $\frac{3}{4}$ spotřeby domu, přičemž baterie pokrývá téměř 50 %. V podzimních měsících klesá výroba elektrické energie FVE a pokrytí spotřeby domu je nižší, nicméně i tak bateriové úložiště spolu s FVE pokrývají velkou část spotřeby - v říjnu 67 % a v listopadu 48 %.

V tabulce 19 je vidět, že samotné bateriové úložiště pokrývá v letních měsících téměř jednu polovinu spotřeby. Na podzim baterie samotná pokrývá alespoň $\frac{1}{4}$ spotřeby domu. V říjnu 38 % a v listopadu 26 %.

Tabulka 19 Průměrné pokrytí spotřeby domu baterií

průměr	BAT
srpen	49 %
září	51 %
říjen	38 %
listopad	26 %

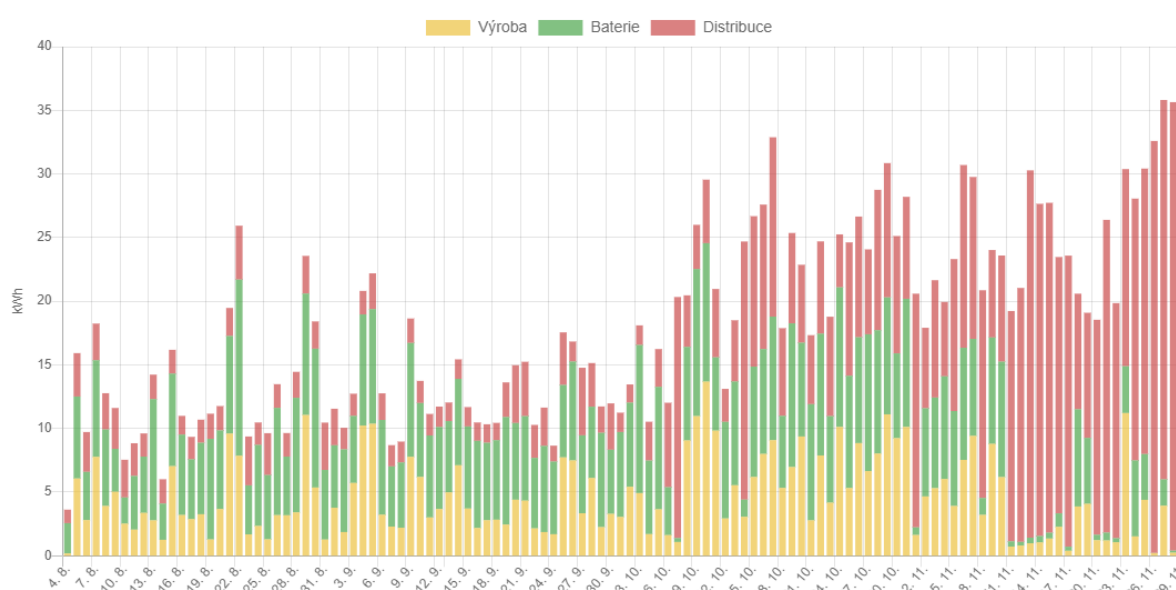
V rámci porovnání je zde uvedena tabulka číslo 20, kde je vidět průměrná denní spotřeba domácnosti versus průměrná denní výroba FVE v kWh. Spotřeba roste s klesající teplotou a denní výroba klesá s kratším dnem a přibývajícím oblačností.

Tabulka 20 Průměrná denní spotřeba vs. průměrná denní výroba FVE

	průměrná denní spotřeba domácnosti (kWh)	průměrná denní výroba FVE (kWh)
srpen	11,37	13,89
listopad	21,81	9,83

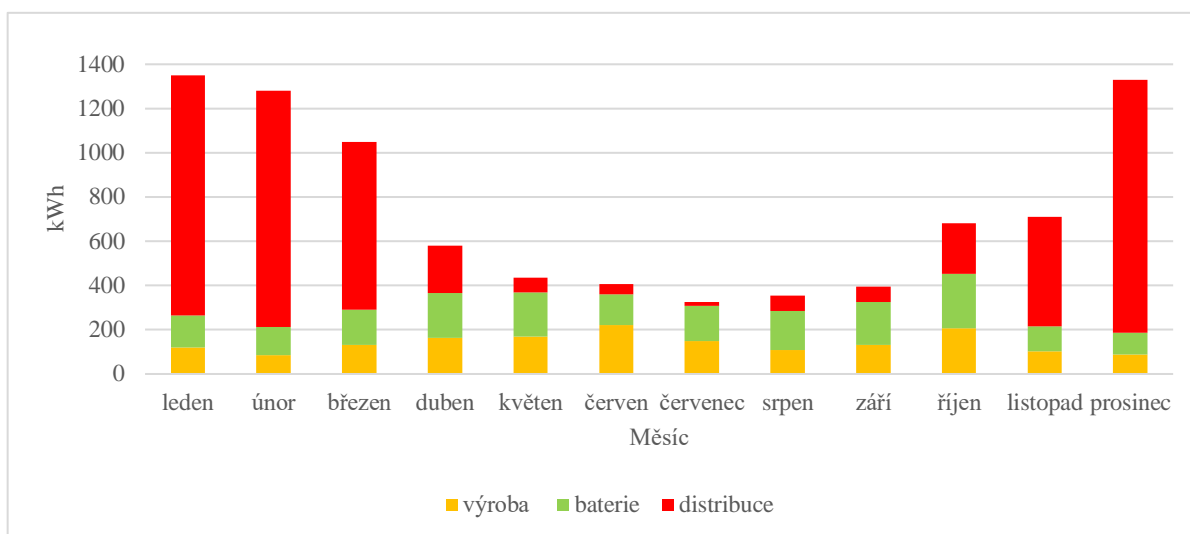
Na následujícím obrázku 56, který znázorňuje graf pokrytí spotřeby je vidět pokrytí spotřeby jednotlivých dní od začátku provozu bateriového úložiště. Vzhledem k tomu, že tato domácnost v topné sezoně využívá hlavně přímotopy, je vidět, že v zimních měsících je spotřeba elektrické energie z distribuce velmi vysoká.

Obrázek 56 Pokrytí spotřeby (Bateriové úložiště F)



Jak bylo uvedeno na začátku tato domácnost má průměrnou roční spotřebu 9 MWh a mají instalovanou FVE o výkonu 10 kWp, orientovanou na jih. Svou průměrnou denní spotřebu uvedli 24,7 kWh. Díky funkci Smart Home byla získána historická data spotřeby domácnosti a je proto možné nasimulovat vývoj spotřeby elektrické energie pro následující rok 2022, kdy bude bateriové úložiště v provozu. Vycházelo se z dat spotřeby domácnosti z roku 2020. V potaz byly brány průměrné měsíční teploty roku 2020 a 2021. S ohledem na funkci a výrobu FVE byly také zohledněny počty slunečních hodin v měsíci. Tyto údaje byly získány z archívu dat soukromé meteorologické stanice. Predikce je vidět na obrázku 57.

Obrázek 57 Predikce spotřeby pro rok 2022 a jejího pokrytí

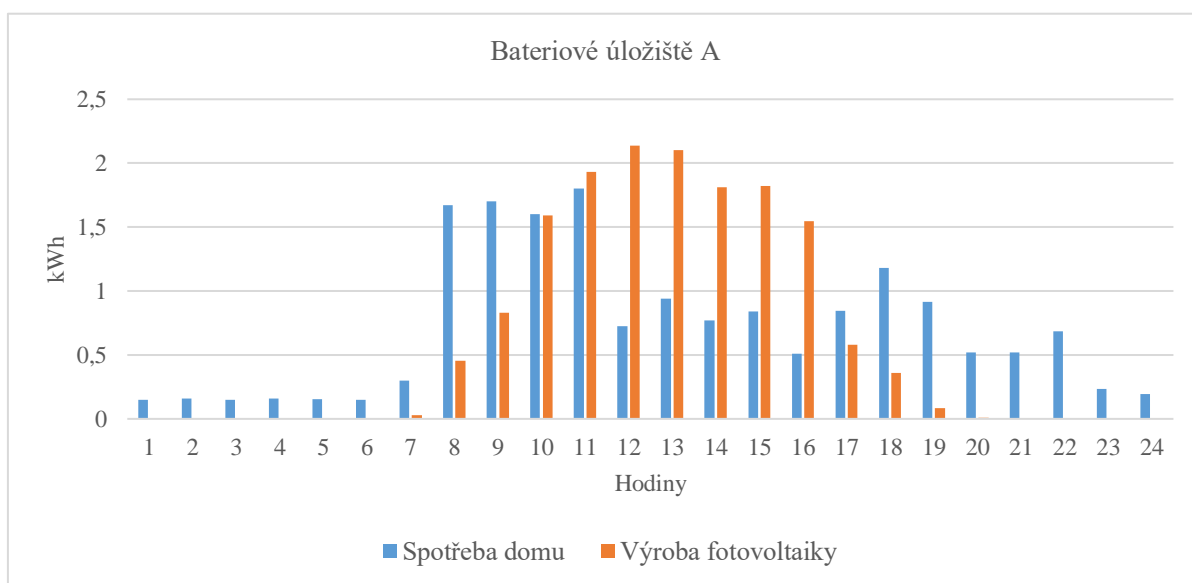


Dále jsou zpracována data z dalších instalovaných bateriových úložišť a jejich shrnutí je na konci této kapitoly v tabulce 21.

Bateriové úložiště A

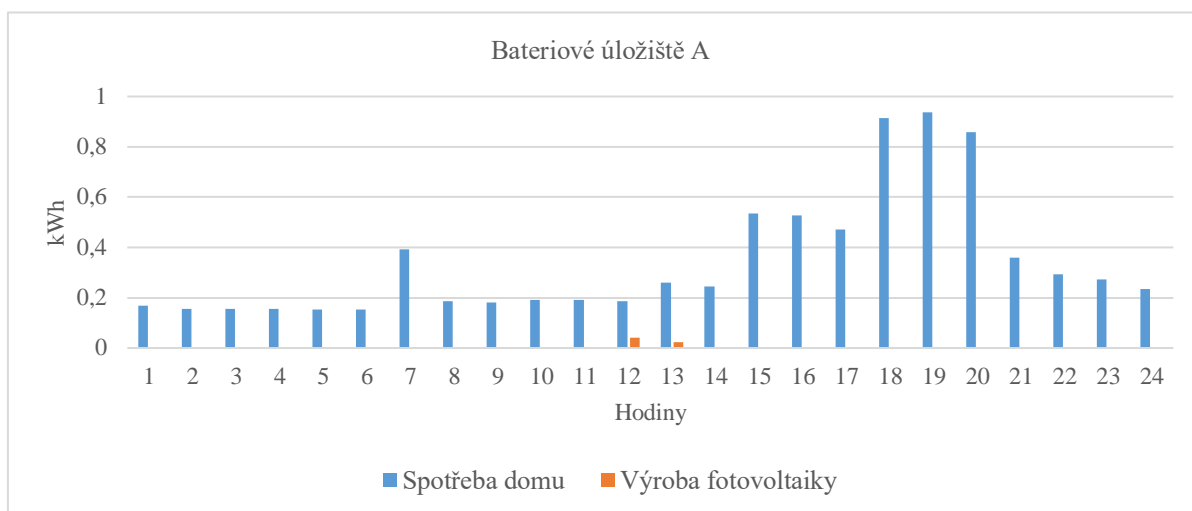
Bateriové úložiště A je situováno v Libereckém kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 15,14 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 16,81 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 58.

Obrázek 58 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 59 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (8,17 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0,07 kWh). Příčinou je fakt, že tento den byla vysoká oblačnost oproti 12. srpnu 2021, kdy bylo celý den jasno.

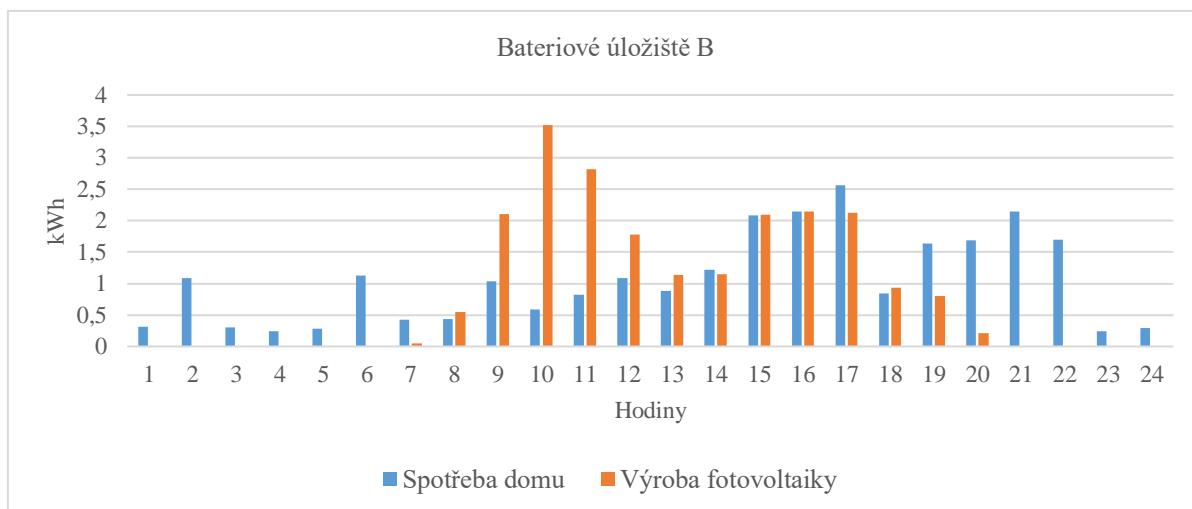
Obrázek 59 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště B

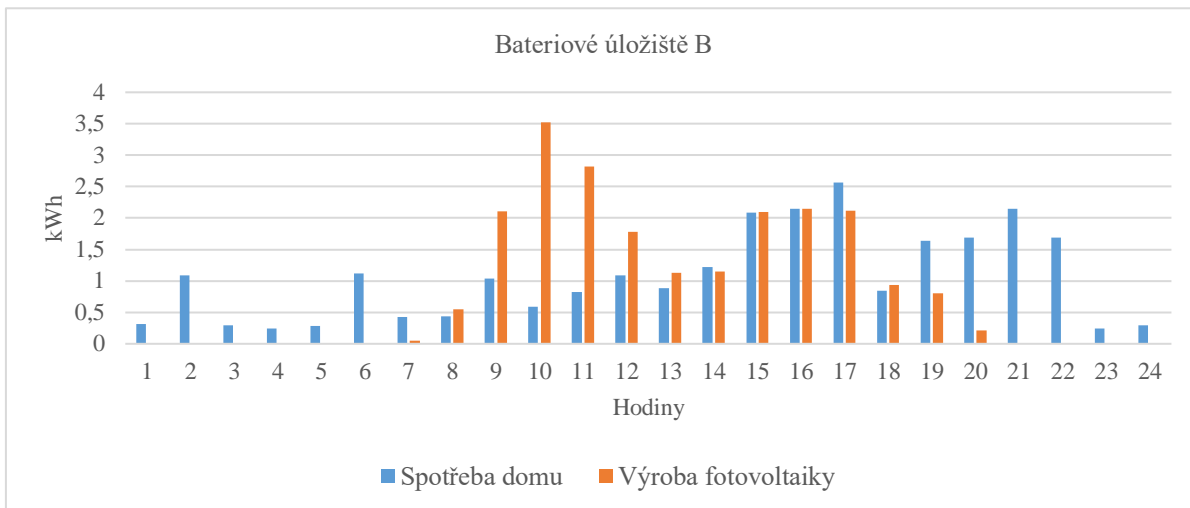
Bateriové úložiště B je situováno v Libereckém kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 21,42 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 25,20 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroby FVE je znázorněno na obrázku 60.

Obrázek 60 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 61 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (32,55 kWh), která také výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0,78 kWh).

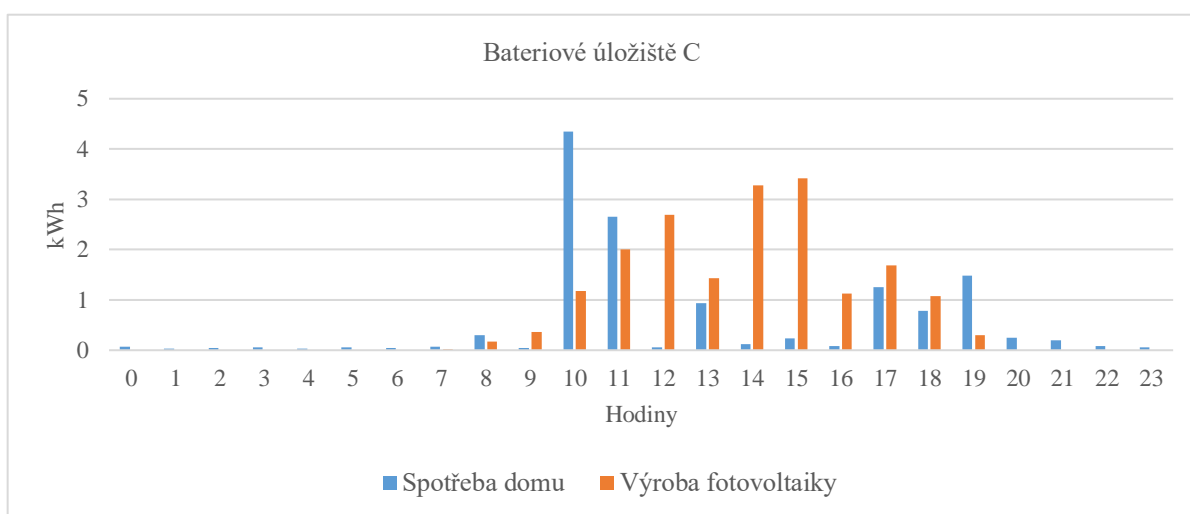
Obrázek 61 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště C

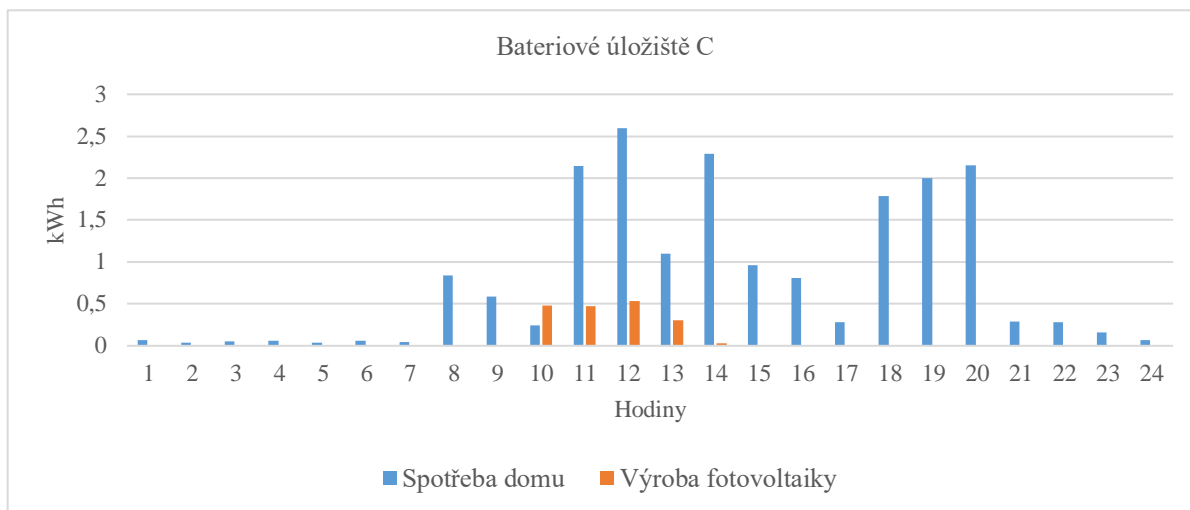
Bateriové úložiště C je situováno v Libereckém kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 18,5 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 13,07 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 62.

Obrázek 62 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 63 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (18,96 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (1,82 kWh).

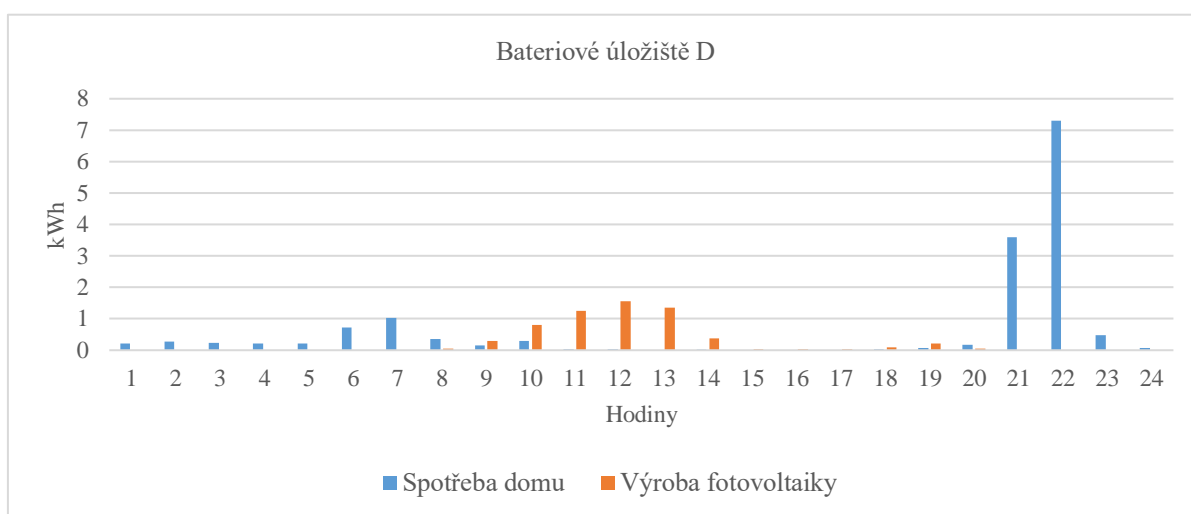
Obrázek 63 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště D

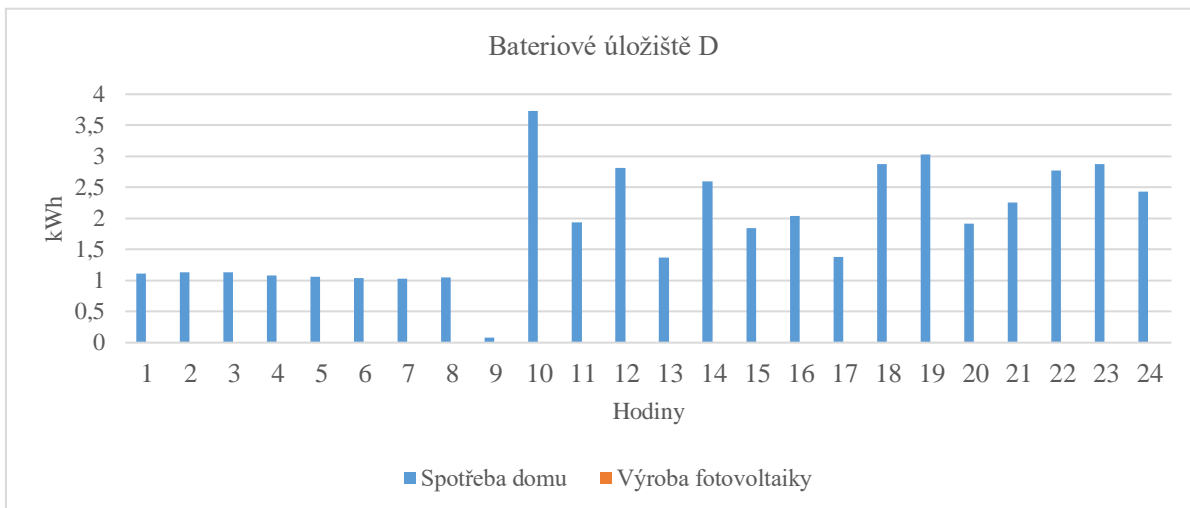
Bateriové úložiště D je situováno v Královéhradeckém kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 6,14 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 15,53 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 64.

Obrázek 64 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 65 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (44,61 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0 kWh). Příčinou je fakt, že tento den bateriové úložiště nebylo vůbec v provozu a celá spotřeba domácnosti, tak byla pokryta ze sítě.

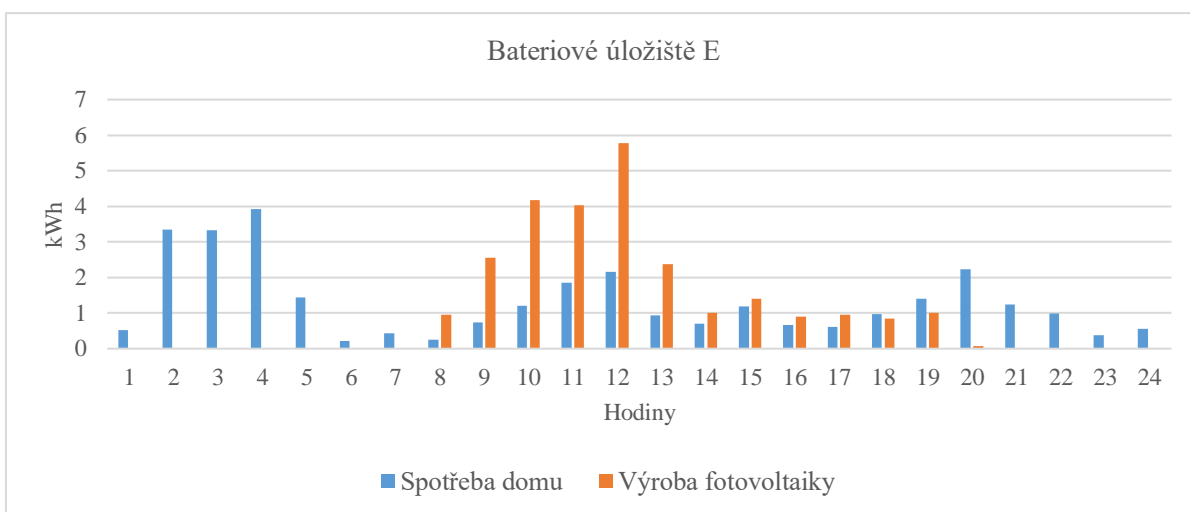
Obrázek 65 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště E

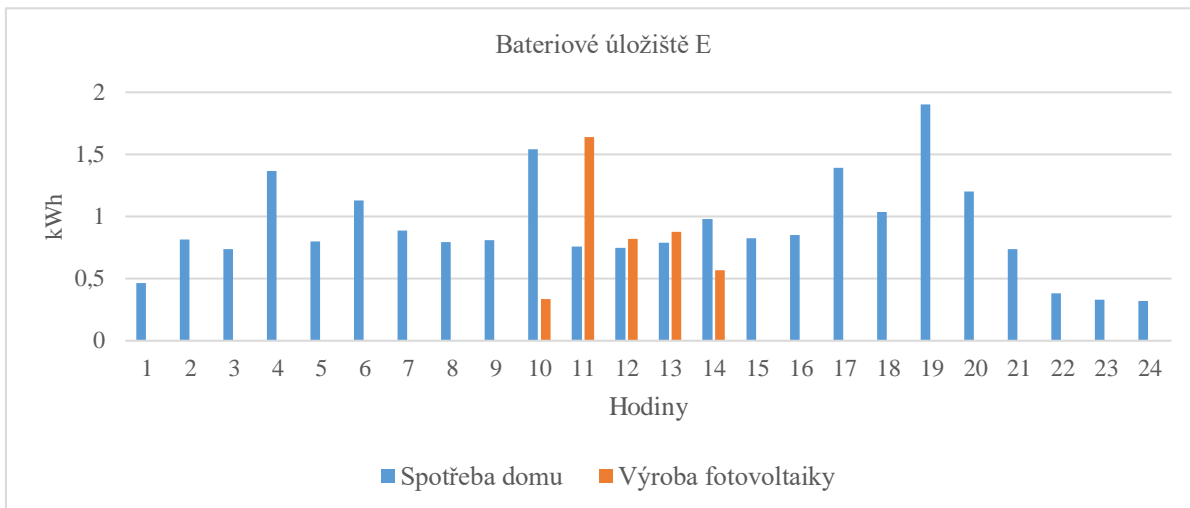
Bateriové úložiště E je situováno v Karlovarském kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 15,38 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 23,48 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 66.

Obrázek 66 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 67 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (20,90 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (3,08 kWh).

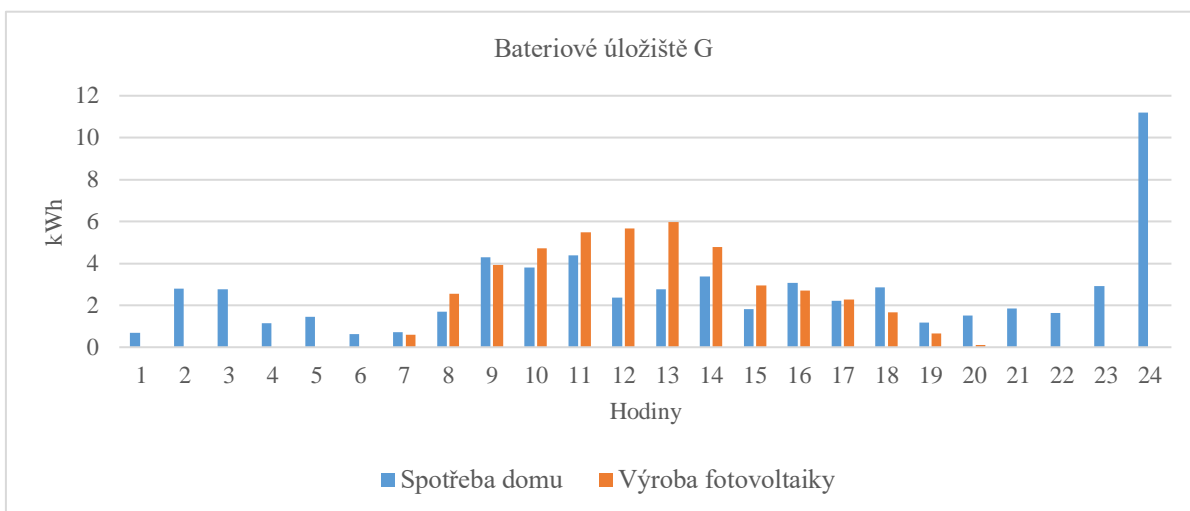
Obrázek 67 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště G

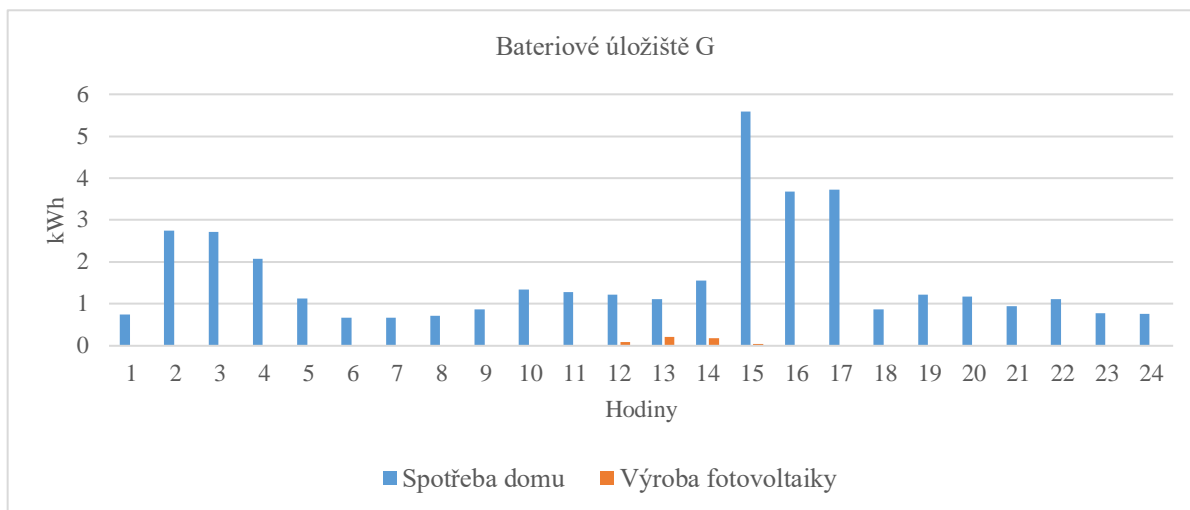
Bateriové úložiště G je situováno v kraji Hlavní město Praha. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 44,08 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 63,17 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 68.

Obrázek 68 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 69 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (38,66 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0,52 kWh).

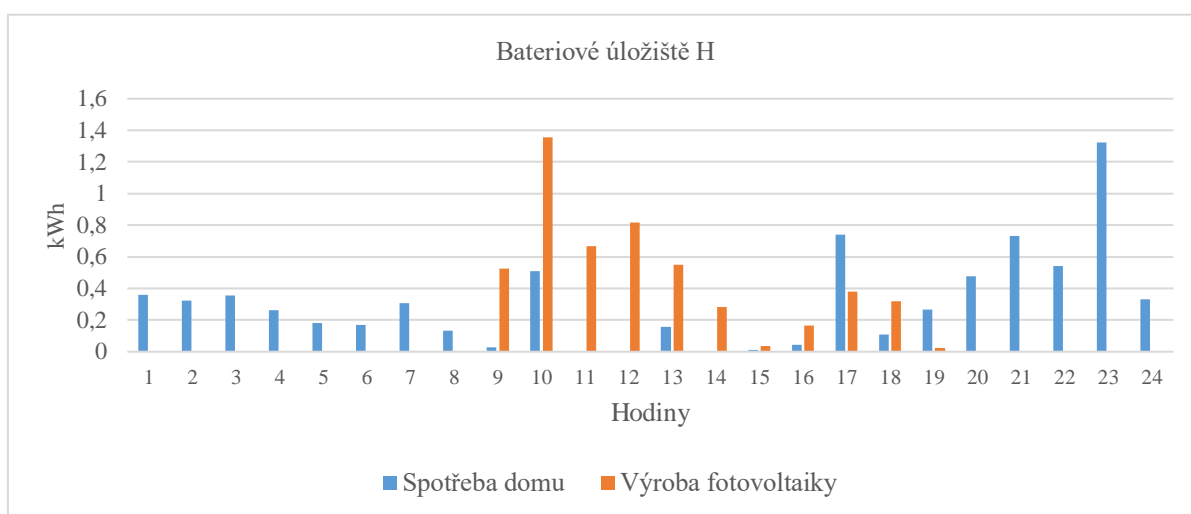
Obrázek 69 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště H

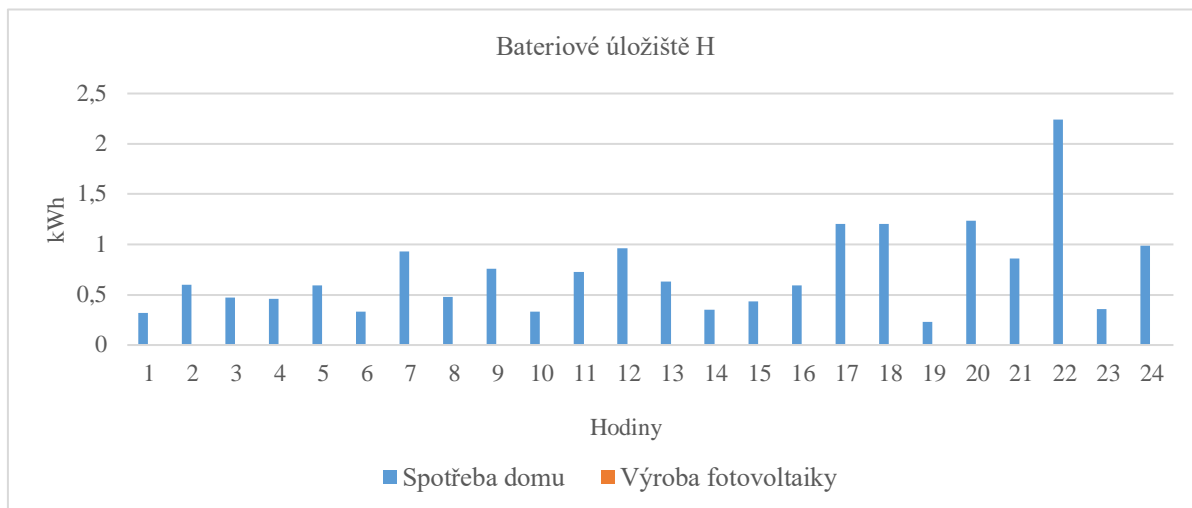
Bateriové úložiště H je situováno ve Středočeském kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 5,13 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 7,37 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 70.

Obrázek 70 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 71 je vidět spotřeba domácnosti 11. listopadu 2021 (17,28 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0 kWh). Příčinou je fakt, že tento den bateriové úložiště nebylo vůbec v provozu a celá spotřeba domácnosti, tak byla pokryta ze sítě.

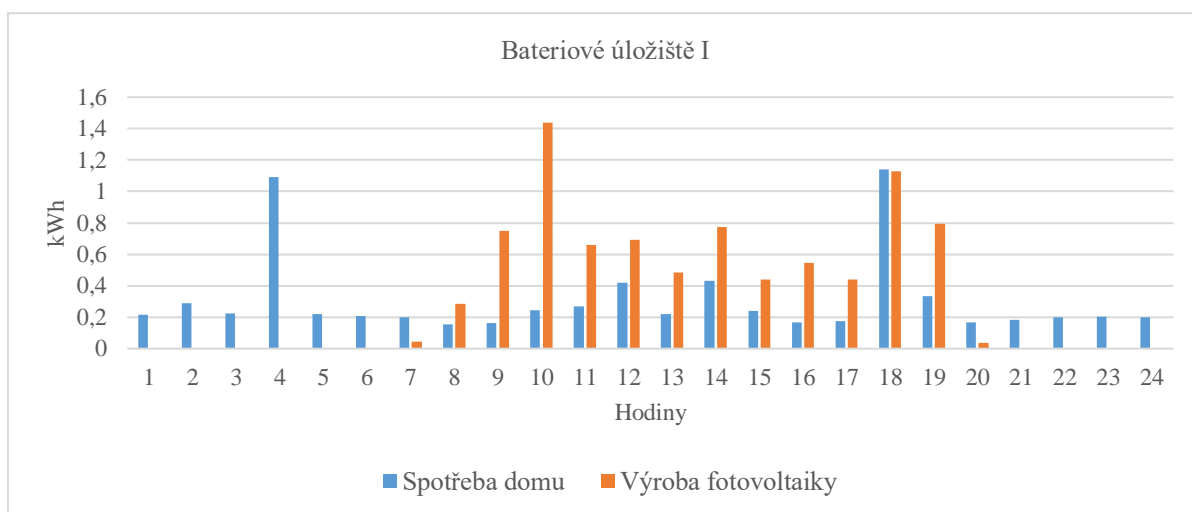
Obrázek 71 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště I

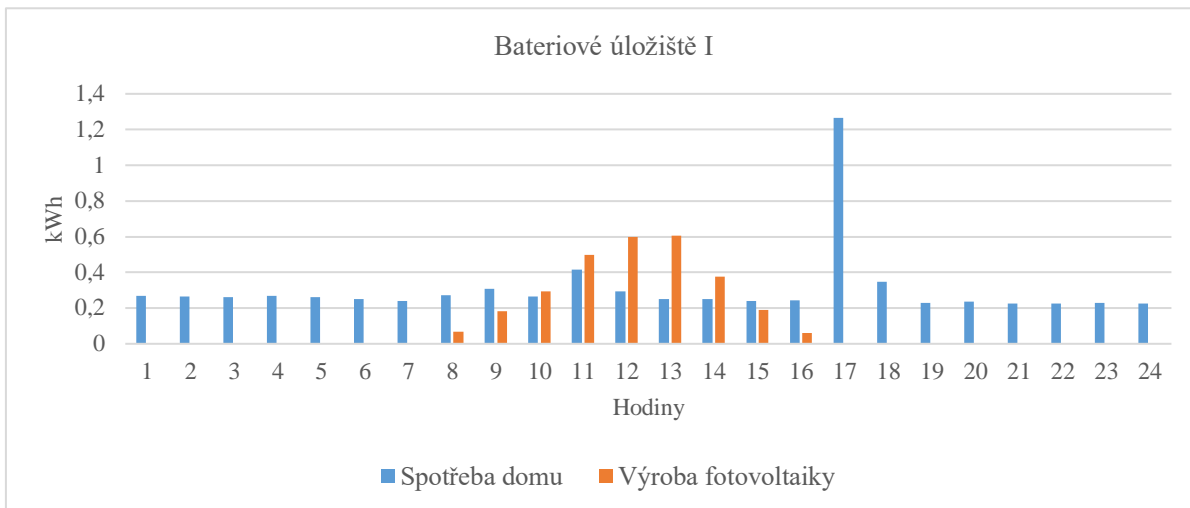
Bateriové úložiště I je situováno ve Středočeském kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 8,52 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 7,32 kWh. Z těchto údajů je patrné, že výroba FVE byla schopna pokrýt spotřebu domácnosti. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 72.

Obrázek 72 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 73 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (7,33 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (2,86 kWh).

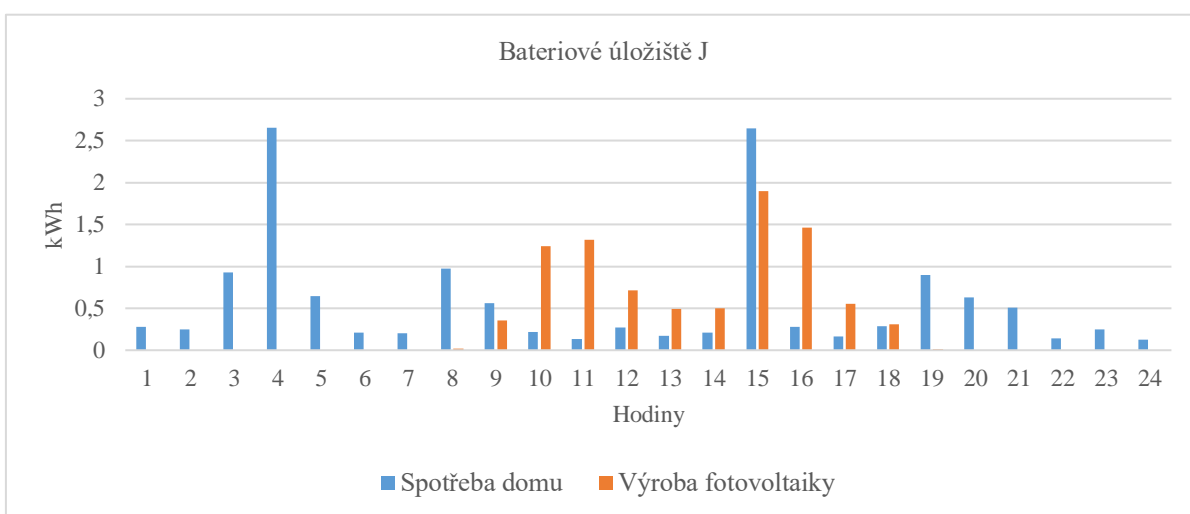
Obrázek 73 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště J

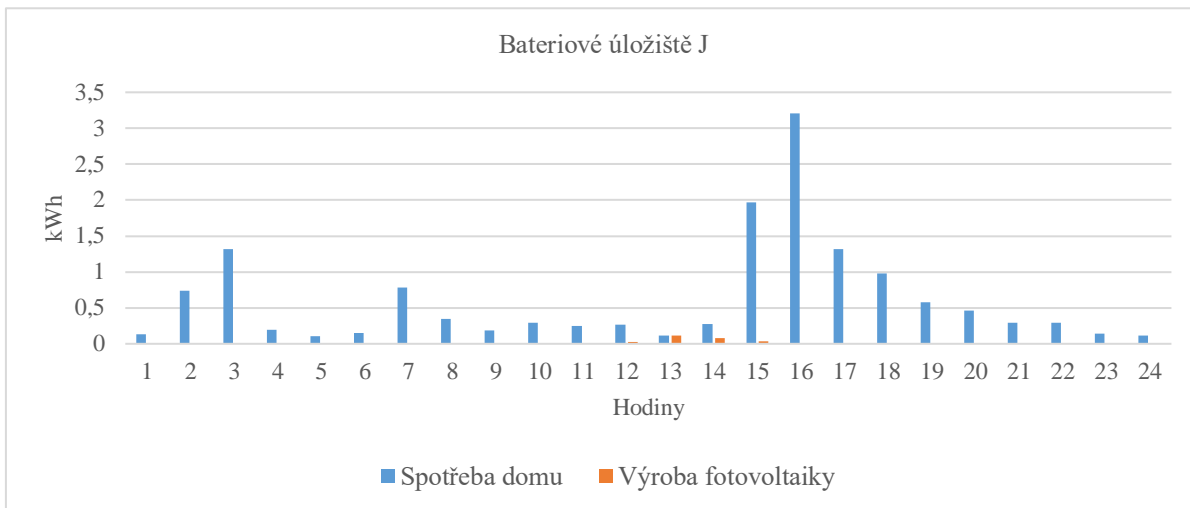
Bateriové úložiště J je situováno v kraji Hlavní město Praha. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 8,88 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 13,68 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 74.

Obrázek 74 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 75 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (14,51 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (0,27 kWh).

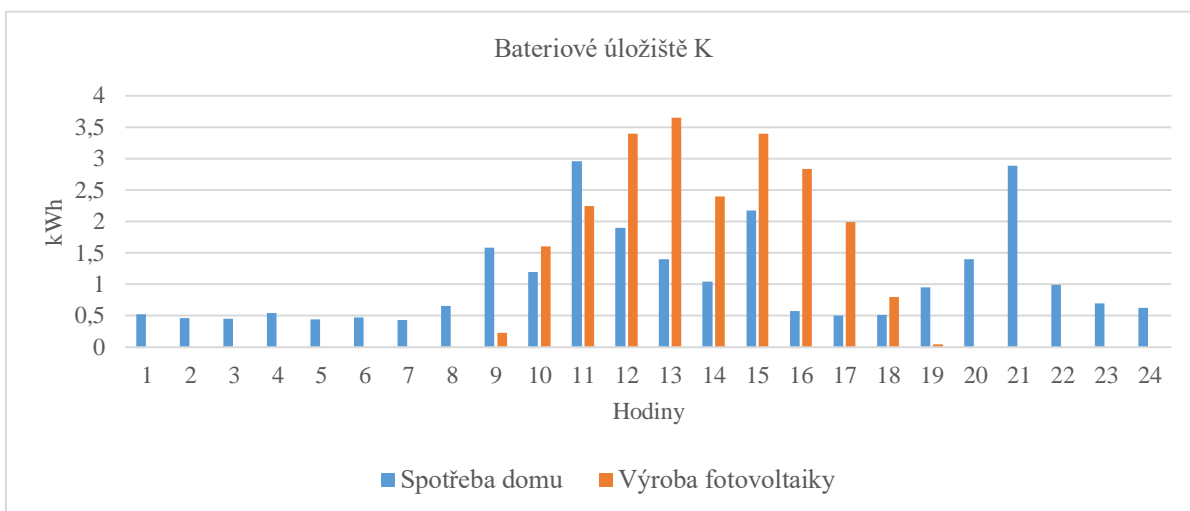
Obrázek 75 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



Bateriové úložiště K

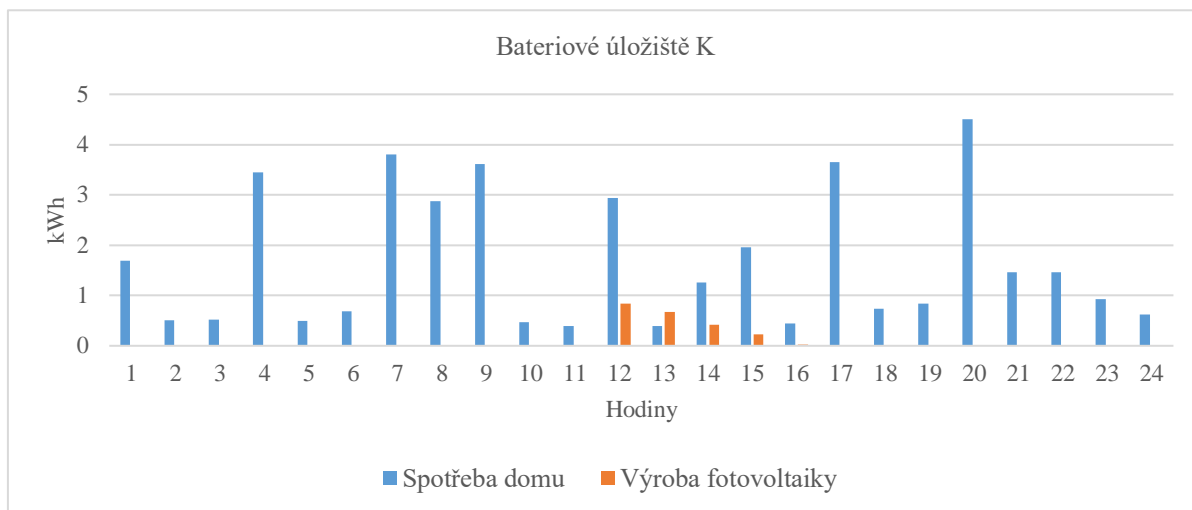
Bateriové úložiště K je situováno v Libereckém kraji. Celkem za tento den byla FVE schopna vyrobit 24,63 kWh. Denní spotřeba domácnosti činila 25,42 kWh. Srovnání denní spotřeby a výroba FVE je znázorněno na obrázku 76.

Obrázek 76 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 12.8.2021



Na obrázku 77 je vidět spotřeba té samé domácnosti 11. listopadu 2021 (39,72 kWh), která výrazně převyšuje elektrickou energii vyrobenou FVE (2,17 kWh).

Obrázek 77 Srovnání spotřeby domácnosti a výroby FVE v rámci dne 11.11.2021



V tabulce 21 je vidět celkové shrnutí průměrné denní spotřeby domácnosti a průměrné denní výroby FVE bateriových úložišť A - K.

Tabulka 21 Souhrn průměrné denní spotřeby domácnosti a průměrné denní výroby FVE

		průměrná denní spotřeba domácnosti (kWh)	průměrná denní výroba FVE (kWh)	Pokrytí spotřeby z FVE
Bateriové úložiště A	srpen	9,24	6,88	74 %
	listopad	8,79	1,13	13 %
Bateriové úložiště B	srpen	24,55	20,87	85 %
	listopad	34,22	5,59	16 %
Bateriové úložiště C	srpen	8,6	8,86	103 %
	listopad	8,78	2,61	30 %
Bateriové úložiště D	srpen	8,85	6,71	76 %
	listopad	42,46	1,77	4 %
Bateriové úložiště E	srpen	25,5	15,76	62 %
	listopad	20,53	2,1	10 %
Bateriové úložiště F	srpen	11,37	13,89	122 %
	listopad	21,81	9,83	45 %
Bateriové úložiště G	srpen	49,95	29,15	58 %
	listopad	34,73	5,01	14 %
Bateriové úložiště H	srpen	10,22	6,66	65 %
	listopad	23,51	3,29	14 %
Bateriové úložiště I	srpen	7,48	7,58	101 %
	listopad	11,14	6,97	63 %

Bateriové úložiště J	srpen	13,07	12,52	96 %
	listopad	16,17	3,48	22 %
Bateriové úložiště K	srpen	36,05	15,66	43 %
	listopad	40,82	4,02	10 %

Z 11 bateriových úložišť bylo schopno pokrýt spotřebu domácnosti v srpnu pouze bateriové úložiště C, F a I. V průměru byla FVE schopna pokrýt spotřebu z 81 % v srpnu a z 22 % v listopadu.

Zvýšená spotřeba domácností v listopadu může být způsobena několika faktory, jako je zkrácení doby slunečního svitu a s tím spojenou nutnost více svítit. Další faktor může být také změna ročního období, kdy s příchodem zimy začíná mnoho domácností topit a někdo pro vytápění domácnosti používá elektrickou energii. Za zmínku stojí i faktor COVID-19, který se zhoršující se pandemickou situací opět přispívá ke zvýšení práce z domova.

Na výkon FVE má vliv její instalace, tedy světová strana na kterou je FVE orientována, lokalita, okolí (stínění stromy, budovy,...) a také sklon. Produkce elektrické energie z FVE je silně závislá na lokalitě, kde se fotovoltaické panely nachází. Doba svitu a celkový roční úhrn sluneční energie se liší v různých částech České republiky. Na severu země svítí slunce průměrně 1400 hodin ročně, zatímco v nejjihnějších lokalitách je doba svitu zhruba 1800 hodin. Od toho se odvíjí i množství elektrické energie v kWh, kterou je možné získat z jednoho kWp fotovoltaických panelů.

Aby na fotovoltaické panely dopadalo co největší množství slunečních paprsků, je třeba, aby byly panely nakloněny do vhodné polohy. V rámci České republiky je pro největší energetické zisky optimální sklon panelů 35° a jejich orientace na jih. S přihlédnutím k dalším parametrům se však sklon volí individuálně.

Na ploché střechy se panely umísťují obvykle pod úhlem 15° a je možná i vodorovná instalace. Nevýhodou vodorovné instalace je však kromě nižší energetické výnosnosti také rychlejší znečištění panelů. Z toho vyplývá, že volba jiného, než optimálního sklonu je s přihlédnutím k dalším okolnostem zpravidla vhodnější, a to i přes snížení energetických zisků. Všichni testeři bateriových úložišť mají fotovoltaické panely instalovány na střeše.

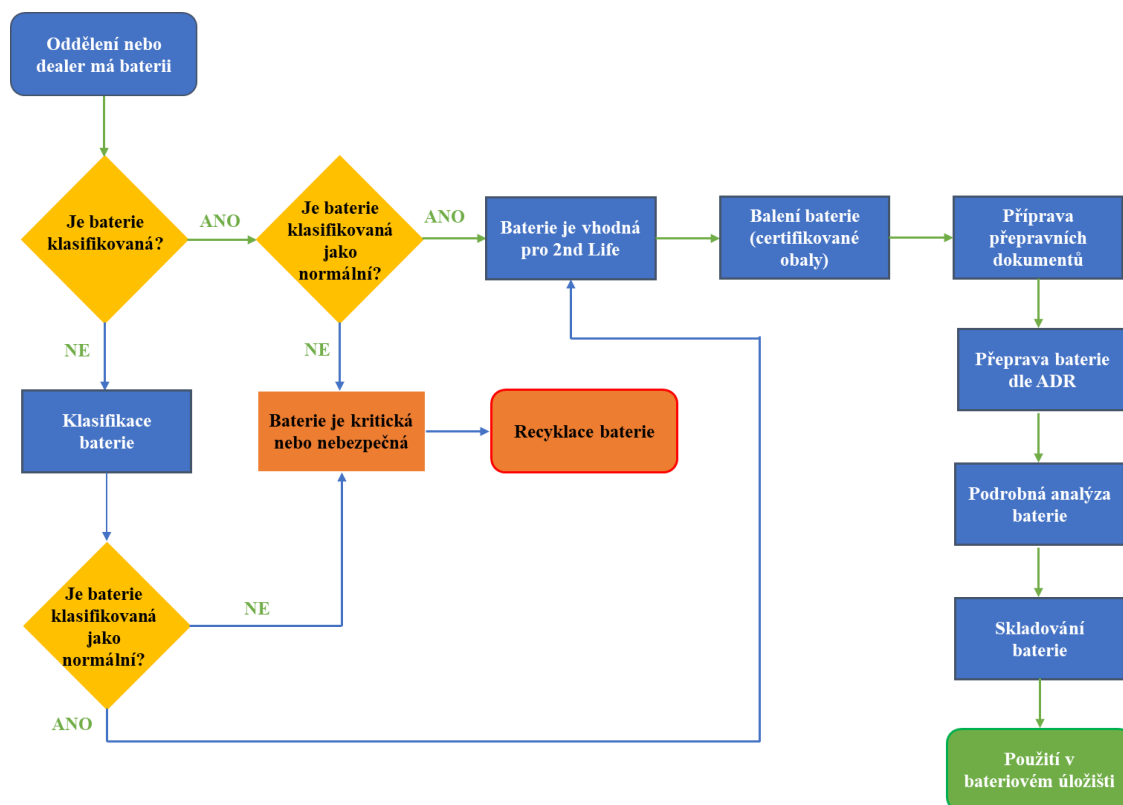
Výtěžnost elektrické energie z fotovoltaických panelů ovlivňuje také orientace vůči světovým stranám. Nejvhodnější je panely směřovat na jižní stranu. Nejméně vhodná je pak orientace směrem na sever. Vliv na množství elektrické energie, kterou FVE reálně vyrobí,

ovlivňuje také počasí v daném roce, které nelze přesně odhadnout. Výrobu zrovna tak negativně ovlivňuje případné znečištění panelů či překrytí panelů vrstvou sněhu. U panelů se sklonem od 15° dochází k samočisticímu efektu, kdy je plocha panelu omývána odtékající vodou. Je třeba také zohlednit vliv stínění, který může být způsobený okolní zástavbou, kopci nebo vzrostlými stromy.

5.9 Návrh metodiky pro využití vyřazených trakčních akumulátorů z elektrických vozidel

Aby mohla být využita baterie pro 2nd Life projekty, jako je právě například bateriové úložiště, musí baterie splňovat určité technické parametry. V případě jejich nesplnění by mohla ohrozit ostatní baterie, nebo bateriové úložiště samotné. Proto je nutné provést důkladnou analýzu až na úroveň jednotlivých článků, abychom byli schopni jakémukoliv poškození nebo poruše zařízení zamezit. Baterie, která není vhodná pro bateriové úložiště, může však ještě posloužit v jiných aplikacích. Zjednodušený vývojový diagram, kde je vidět cesta baterie až do bateriového úložiště, je vidět na obrázku 78.

Obrázek 78 Vývojový diagram Metodiky využití 2nd Life baterie



5.9.1 Analýza mechanického stavu baterie

V první řadě je nutné posoudit mechanický stav baterie, její možné poškození a možnosti použitelnosti baterie jako celku. Pokud je část baterie poškozená, není možné ji z bezpečnostních důvodů dále využít a je tedy nutné zajistit její bezpečný převoz na místo ekologické recyklace. Baterii je samozřejmě možné rozebrat a využít samostatné moduly baterie. Pouze baterie klasifikována jako normální, může být použita pro druhotné využití v bateriovém úložišti.

5.9.2 Klasifikace baterie

Pokud baterie nejeví známky mechanického poškození a je potenciálně vhodná pro 2nd Life, je nutné provést její klasifikaci za účelem prověření stavu baterie. Výsledek klasifikace má rozhodující vliv na opatření, která je nutno provést z hlediska transportu, skladování, možností oprav a dále také na potřebnou kvalifikaci a vzdělání zaměstnanců, kteří budou s baterií manipulovat.

Posouzení stavu je popis momentálních vlastností bateriového systému pro zajištění bezpečné manipulace a přepravy. Toto posouzení stavu je potřeba provést v případě bezpečnostně relevantních událostí a může ho provádět pouze oprávněný personál. Za bezpečnostně relevantní událost se považuje například náraz, poškození, havárie a tak dále.

Baterie je klasifikována jako **NORMÁLNÍ** za předpokladu, že splňuje následující kritéria:

- Je bez mechanického poškození
- Bez úniku kapalin
- Baterii lze diagnostikovat
- Baterie je bez závažných záznamů v chybové paměti
- Teplota baterie je v rámci tolerance

Pokud baterie splňuje všechna tato kritéria, nejsou požadována žádná opatření.

Jestliže baterie má zjevné mechanické poškození jako je prohlubenina, trhlina, poškození těsnění nebo třeba korozivní poškození či je cítit štiplavý zápach, jedná se o zcela

jistě baterii, která bude klasifikována jako **KRITICKÁ**. Mezi další znaky kritické baterie patří teplota nad toleranci, nemožnost baterii diagnostikovat nebo má vážný záznam v chybové paměti. Tuto baterii je nutné dát do karantény/izolace.

Baterie, klasifikována jako **NEBEZPEČNÁ** splňuje jedno z těchto kritérií. Uniká kapalina nebo je podezření na únik, může se vyskytovat kouř, pára, jiskření, zápach, mechanické poškození s nechráněnými přístupnými kontakty či je její teplota na 80 °C. V tomto případě je důležité udržovat bezpečný odstup od baterie, nevdechovat kouř, v případě ohně zavolat okamžitě hasiče a uzavřít oblast. Pokud je to možné, tak přemístit baterii do karantény.

Z výše uvedených důvodů, není možné baterie klasifikované jako **KRITICKÁ** či **NEBEZPEČNÁ** využít pro 2nd Life projekty.

5.9.3 Transport baterie

Vzhledem k tomu, že klasifikace se provádí před zabalením a následnou externí přepravou, lze díky tomu vybrat vhodný obal pro baterii a připravit dokumentaci. Pro přepravu existují jasné předpisy ohledně stavu baterie a k němu odpovídající obaly.

Použité baterie, které mohou být vhodné pro 2nd Life, je nutné převézt na místo, kde bude provedena další klasifikace před uskladněním a posouzení stavu baterie. Baterie smí být převezena za předpokladu že:

a) Není mechanicky poškozena

To znamená, že baterie nejeví známky poškození ve smyslu prohnutí, proražení, nebo úniku plynů či kapaliny. Z dopravy může být vyřazena i baterie, která samo o sobě není poškozena, ale může být poškozený obal při manipulaci.

b) Její kapacita je cca 70 %

Aby mělo smysl baterii dále využívat a mohla být zapojena do projektů podporující sekundární život baterie, musí baterie stále obsahovat alespoň 70 % své původní kapacity. Pokud bude kapacita baterie nižší než 70 %, není v současně ekonomicky efektivní ji využít v bateriovém úložišti. Důvod je hned několik. Jako první se pochopitelně nabízí fakt, že se tím sníží garantovaná kapacita úložiště a s tím spojená záruka. Dalším důvodem je pak to, že

v úložišti jsou baterie zapojeny sériově, a tudíž je potřeba balancer. Pokud totiž budou mít baterie jinou kapacitu, jiné samovybíjení, dojde k tomu, že baterie budou mít rozdílné napětí a rozdílnou energii v nich uloženou. I kdyby bylo technicky možné baterii kontinuálně balancovat, zvyšuje se tímto procesem vlastní spotřeba zařízení.

c) Baterii je možné rozebrat

Pokud baterii není možné rozebrat na jednotlivé články z důvodu konstrukčního řešení (podobně, jako nelze na jednotlivé články rozebrat baterie například z notebooku), je možné, že s vadným článkem bude nutné recyklovat i jinak dále využitelné články.

5.9.4 Skladování použitých baterií

Baterie, které je možné využít pro 2nd Life, je nutné správně skladovat. Vzhledem k samovybíjení je nutné definovat v závislosti na daných komponentech minimální přípustnou úroveň nabití baterií v okamžiku uskladnění. To proto, aby se zabránilo hlubokému vybití uskladněných baterií. Baterie, která má být skladována, by neměla překročit maximální definovanou horní hranici teploty. Pro vnitřní teplotu článků je tato hranice stanovena na 55 °C a pro baterii jako takovou 45 °C. Uskladnění baterie je možné pouze za předpokladu, že má baterie nepoškozený obal. Pokud by měla baterie poškozený obal, je nutné přebalit baterii do nepoškozeného skladovacího obalu. Po dobu, co je baterie skladována, nesmí být na baterii ve skladovacím prostoru prováděna žádná oprava. Pro normální baterie je přípustné blokové skladování, regálové skladování a skladování na volné ploše.

Před uskladněním baterie je také nutná její dokumentace včetně jejího stavu. Aby bylo možné baterii zpětně sledovat, je nutné znát a zaevidovat tyto údaje:

- typ baterie
- číslo baterie (pokud existuje)
- čas skladování
- datum uskladnění
- úroveň nabití baterie
- datum vyskladnění

Pokud by měla být baterie delší dobu uskladněna, je doporučeno zhruba každé 3 měsíce prověřovat úroveň nabití. Díky tomu je možné zabránit hlubokému vybití.

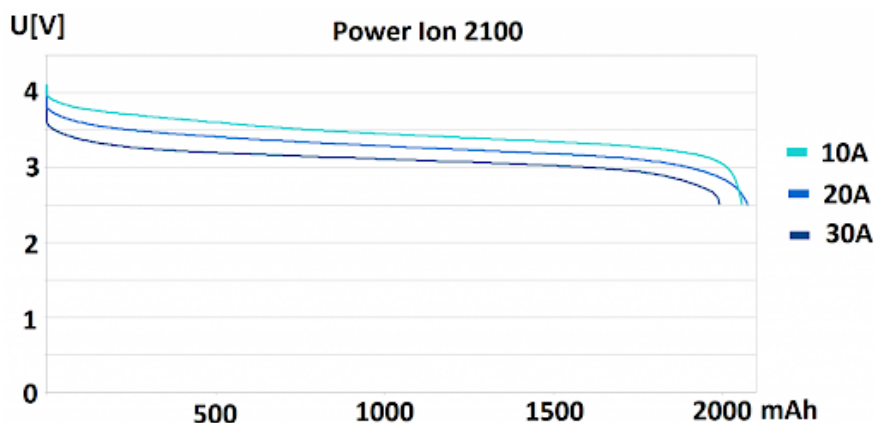
5.9.5 Analýza "state of health" článků / modulů (SOH)

Pro zjištění reálné kapacity baterie nebo modulu je nutné provést měření „state of health“ (SOH). Tuto hodnotu zjistíme tak, že změříme kapacitu článku. Zpravidla se to provádí dle metodiky tak, že nabijeme baterii na 100 % a vybijeme ji proudem odpovídajícím využití v bateriovém úložišti (0,5 až 1 C, kde C je násobek jmenovité kapacita článku v Ah) nebo proudem dle datasheetu a doporučení výrobce*. Ideální je mít dvě baterie proti sobě, kdy jednu nabijeme, a pomocí zařízení pro měření kapacity jí vybijeme do druhé vybité, a pak naopak. „Přeléváním“ energie změříme co potřebujeme, ale nezatěžujeme síť, a tedy nemáme velkou spotřebu energie. Tato metodika není nutná pro laboratorní měření malých článků, ale je velmi výhodná pro měření velkokapacitních automotive baterií.

Měření vnitřního odporu prozradí degradaci článku. Ta roste s časem a snižuje proudovou zatížitelnost, to znamená, že při proudu víc klesá napětí na článku. Dále také zjistíme v rámci modulu / baterie, které články jsou slabší. Měří se speciálním zařízením.

Následující obrázek 90, kde je znázorněn graf ukazuje, že když se baterie bude vybijet jiným proudem, než při jakém výrobce měřil kapacitu, vyjde jiná kapacita. Vyšší proud = obvykle nižší vybitá kapacita. Zároveň graf ukazuje, že když se kapacita bude měřit malým proudem a tvrdit, že baterie kapacitu má, zákazník na ní nemusí nikdy dosáhnout, protože odběry v autě mohou být vyšší. Na obrázku 79 jsou vidět tzv. vybíjecí křivky.

Obrázek 79 Stanovení zdravotního stavu li-ion baterií: výrobní přístup nevratné entropie [101]



*) článek, který má 1 Ah bude vybitý proudem 1A = 1C, 2A = 2C, ... Vztah mezi Ah a Wh je jako u výkonu:

Výkon: $U [V] \cdot I [A] = P [W]$ (napětí * proud)

Kapacita: (nominální) $U \cdot \text{kapacita v Ah} = Wh$

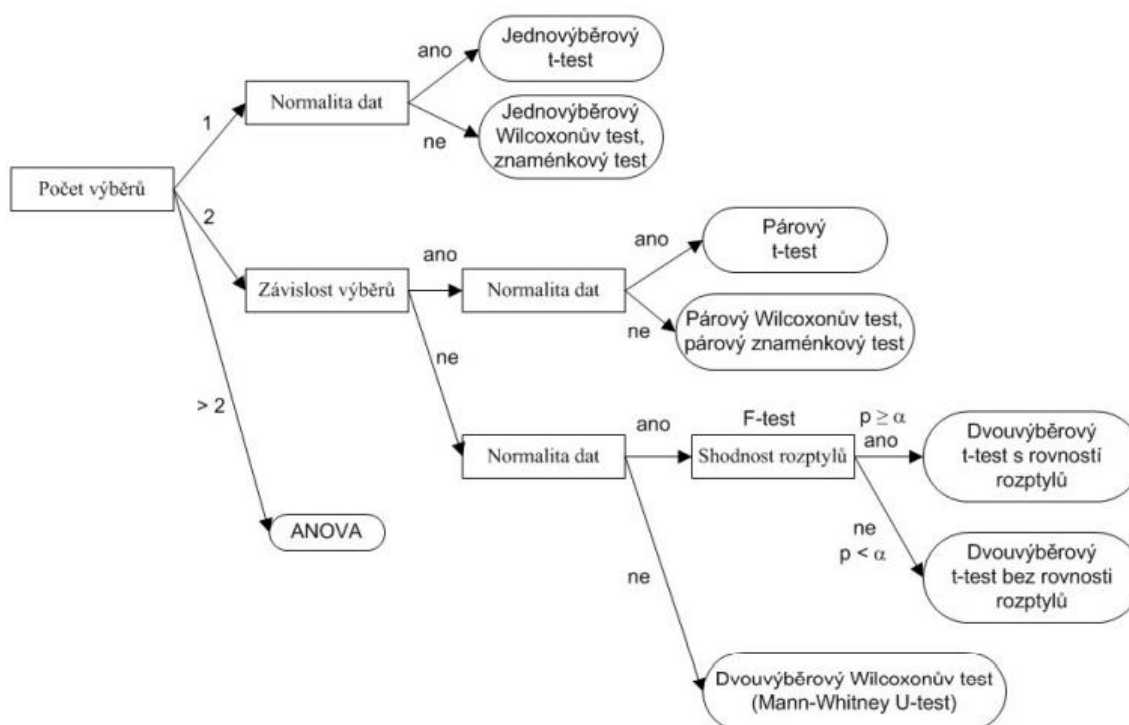
Pokud baterie splňuje všechny parametry je zařazena do kategorie 2nd Life baterie a může tak plnit ještě mnoho let akumulovat energii v bateriovém úložišti spolu s dalšími 2nd Life bateriemi a prodloužit tak svůj život a oddálit recyklaci do doby, než se efektivní recyklační proces stane cenově dostupnější, nebo díky zefektivnění a nastavení prodeje recyklátu zpět do výroby recyklační firmy budou moci za baterie k recyklaci platit.

V případě, že baterie nesplňuje některé z kritérií, není vhodná pro 2nd Life aplikace a je nutné zajistit její ekologickou recyklaci.

6 Vyhodnocení hypotéz

V této kapitole budou vyhodnoceny stanovené vědecké hypotézy. Všechny hypotézy byly zpracovány v programu STATISTICA, verze 14. Diagram pro výběr správného testu je zde uveden proto, protože pro správné vyhodnocení naměřených dat je nutné určit správný druh statistické metody, podle které se bude při vyhodnocování postupovat. Nejjednodušším postupem určení statistické metody je postup dle diagramu na obrázku 80.

Obrázek 80 Diagram pro určení správného testu [102]



Normalita dat je často určována prostřednictvím Shapiro-Wilkova testu, který je vhodný pro data v rozsahu ($n \leq 2000$) a proto byla tato metoda zvolena pro testování normality dat i při následujícím zpracování. U Shapiro-Wilkova testu se testovaná statistika W má blížit k hodnotě 1. Pokud se příliš rozchází, nejsou data normálního charakteru. Při testování pomocí Shapiro-Wilkova testu je předpoklad, že existuje normalita daných dat a hladina významnosti je stanovena $\alpha = 0,05$. Při p -hodnotě $p < \alpha$ je zhodnoceno, že normalita dat u daného vzorku není.

Pro další statistické zpracování dat byla hladina významnosti stanovena rovněž na hodnotu $\alpha = 0,05$ a k vyhodnocení se používal párový t-test a párový Wilcoxonův test.

6.1 Hypotéza č. 1 - druhotné využití trakčních akumulátorů

Pro vyhodnocení hypotézy 1, byla využita naměřená data (tabulka 22) z bateriových úložišť, která jsou uvedena v kapitole 4.7. na grafu 4.

Tabulka 22 Hodnota C z bateriových úložišť

bateriové úložiště	hodnota C	maximální hodnota C
A	0,427	1
B	0,563	1
C	0,425	1
D	0,648	1
E	0,526	1
F	0,515	1
G	0,086	1
H	0,475	1
I	0,474	1
J	0,497	1

- existují dva výběry dat,
 - hodnota C u bateriového úložiště a maximální hodnota C, která je přípustná pro využití 2nd Life baterií v bateriovém úložišti
 - data jsou na sobě závislá
 - normalita dat u hodnoty C vyšla
 - hodnota C – Shapiro-Wilkův test – $W=0,79071$, $p=0,01118$
 - $\alpha = 0,05$, $p < \alpha$
 - **normalita dat se na této hladině významnosti zamítá**
- na základě definovaného postupu výběru vhodné statistické metody byl zvolen pro statistické vyhodnocení „**párový Wilcoxonův test**“.

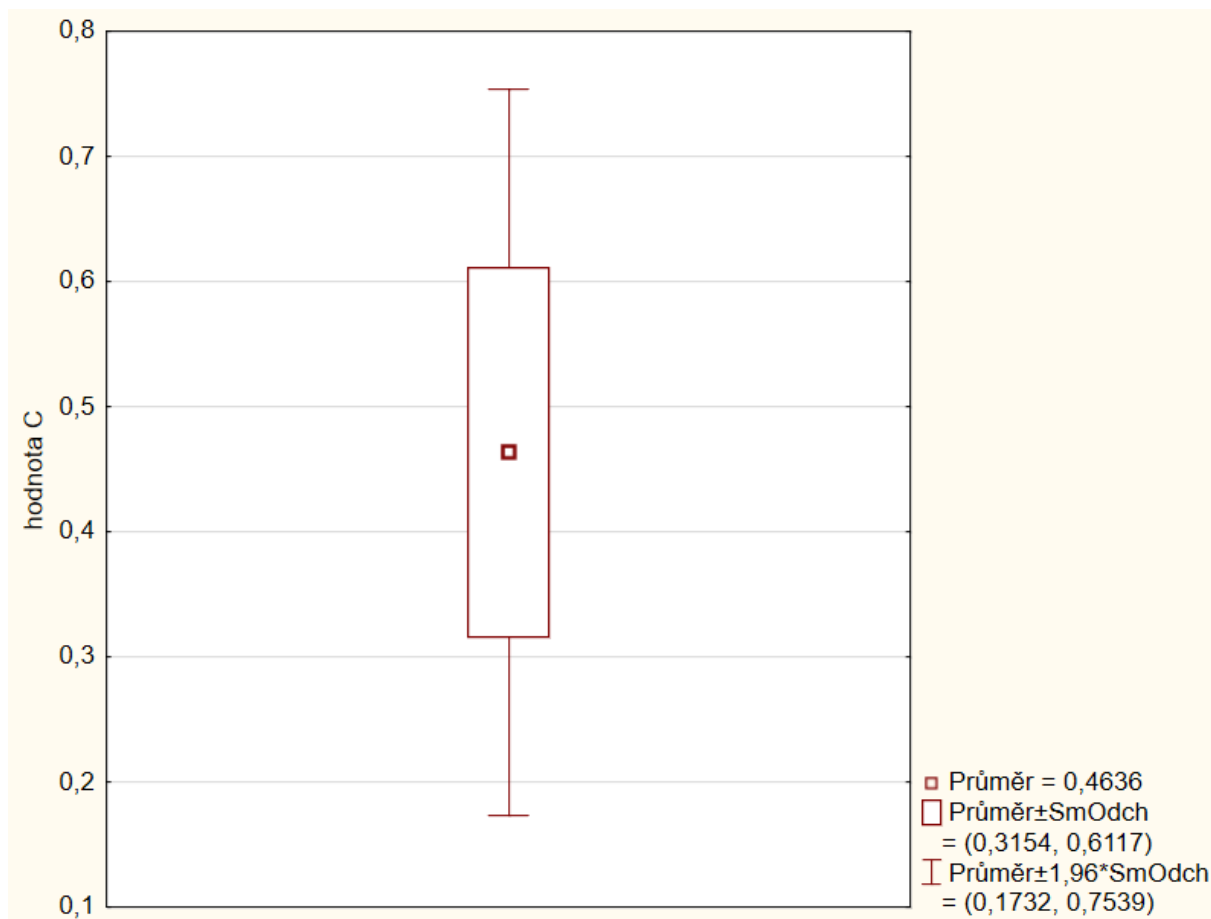
Vyhodnocení

Z obrázku 81 vyplývá, že, rozpětí hodnot C bateriových úložišť nepřesáhne hodnotu 1 C. Průměrná hodnota je 0,4636 C. V tabulce 23, je uvedeno vyhodnocení statistických výsledků, které byly testovány pomocí párového Wilcoxonova testu. Jak je patrné, tak $p < \alpha$, z čehož vyplývá, že **hypotézu 1 lze na této hladině významnosti zamítnout**.

H_0 : Maximální zatížení C je stejné jako naměřené C

H_1 : maximální zatížení C není stejné jako naměřené C

Obrázek 81 Krabicový graf naměřené hodnoty C bateriových úložišť



Tabulka 23 Statistické výsledky pro hypotézu 1

	Počet platných hodnot	Hodnota testové statistiky [T]	Rozdíly mezi párovými hodnotami [Z]	p
Průměrná hodnota C vs. maximální hodnota C	10	0,00	2,803060	0,005062

6.2 Hypotéza č. 2 - teplota ovzduší

Pro řešení této hypotézy byla použita data z testovacích jízd, která probíhala s elektrickým vozidlem Volkswagen ID.3. První série testovacích jízd se jezdila v únoru, kdy průměrná teplota byla $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Druhá série testovacích jízd se jezdila v říjnu, kdy průměrná teplota byla kolem $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 24.

Tabulka 24 Průměrné naměřené spotřeby při teplotě $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

kWh/100 km	
$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$10\text{ }^{\circ}\text{C}$
22,4	17,1
22,3	16,5
21,6	18
22,4	17,5
22,6	16
22	16,2
22,9	15,9
21,7	17,01
21,6	16,9
22	16,8

- existují dva výběry dat
 - naměřená průměrná spotřeba na 100 km za průměrné teploty $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a naměřená průměrná spotřeba na 100 km za průměrné teploty $10\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - data jsou na sobě závislá
 - normalita dat u průměrné teploty $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšla
 - Shapiro-Wilkův test – $W=0,93697$, $p=0,51987$
 - $\alpha = 0,05$, $p > \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout,
 - normalita dat u průměrné teploty $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšla
 - Shapiro-Wilkův test – $W=0,96469$, $p=0,83772$
 - $\alpha = 0,05$, $p > \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout
- na základě definovaného postupu výběru vhodné statistické metody byl zvolen pro statistické vyhodnocení „**párový t-test**“.

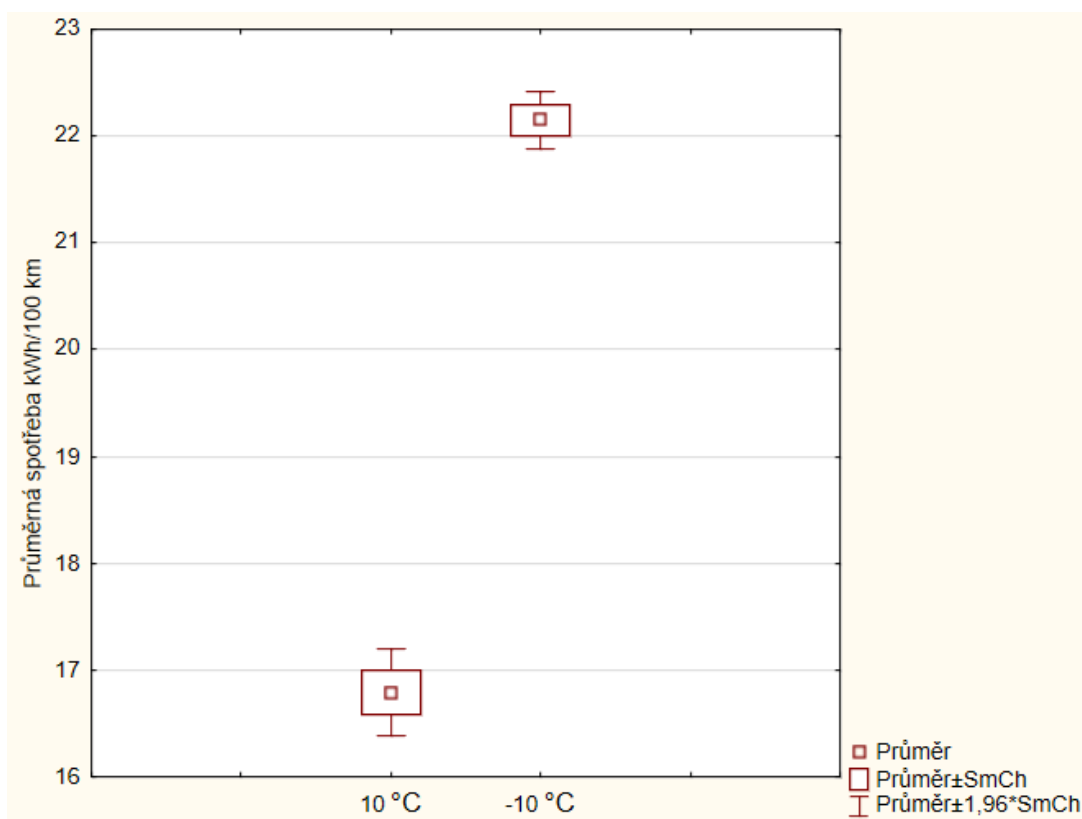
Vyhodnocení

Jak je patrné již z krabicového grafu na obrázku 82, rozdíly mezi průměrnou spotřebou za průměrné teploty -10 °C a 10 °C jsou zjevné. V tabulce 25 je uvedeno vyhodnocení statistických výsledků, které byly testovány pomocí párového t-testu. Jak je patrné, tak $p > \alpha$, z čehož vyplývá, že **hypotézu 2 nelze na této hladině významnosti zamítnout**.

H_{20} : Teplota ovzduší má vliv na dojezd elektrického vozidla.

H_{21} : Teplota ovzduší nemá vliv na dojezd elektrického vozidla.

Obrázek 82 Krabicový graf pro Hypotézu 2



Tabulka 25 Statistické výsledky pro Hypotézu 2

	Průměr	Počet	p
Spotřeba při -10 °C	22,15000		
Spotřeba při 10 °C	16,79100	10	0,000000

6.3 Hypotéza č. 3 – deklarovaná spotřeba

Pro řešení této hypotézy byla použita data z testovacích jízd. Ověřovala se deklarovaná spotřeba, udávaná výrobcem, zda odpovídá naměřeným hodnotám v průběhu testovacích jízd.

- existují dva výběry dat,
 - deklarovaná spotřeba výrobcem a naměřená hodnota spotřeby
 - data jsou na sobě závislá
 - normalita dat vyšla
 - deklarovaná spotřeba – Shapiro-Wilkův test – $W=0,908531$, $p=0,38579$
 - $\alpha = 0,05$, $p > \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout,
 - naměřená hodnoty spotřeby – Shapiro-Wilkův test – $W=0,73896$, $p=0,00971$
 - $\alpha = 0,05$, $p < \alpha$
 - normalita dat se na této hladině významnosti zamítá, normalita není u obou dvou řad. Vzhledem k tomu, že jedna datová řada vyšla jako nenormální, tak nelze statisticky postupovat dle statistik uvažujících normalitu dat. Proto pro následující zpracování považujeme obě datové řady jako řady dat bez normality,
- na základě definovaného postupu výběru vhodné statistické metody byl zvolen pro statistické vyhodnocení „**párový Wilcoxonův test**“.

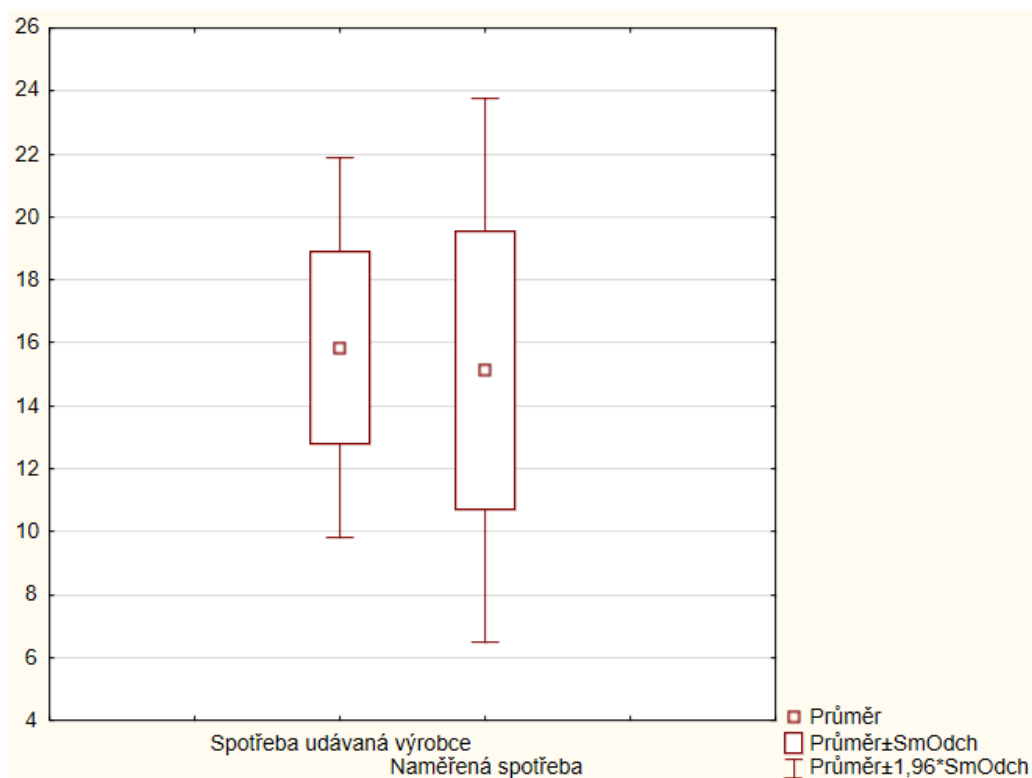
Vyhodnocení

Jak je patrné již z krabicového grafu na obrázku 83, rozdíly mezi deklarovanou spotřebou výrobcem a naměřenou hodnotou spotřebou jsou malé. V tabulce 26 je uvedeno vyhodnocení statistických výsledků, které byly testovány pomocí párového Wilcoxonova testu. Jak je patrné, tak $p > \alpha$, z čehož vyplývá, že hypotézu 3 nelze na této hladině významnosti zamítnout.

H3₀: Deklarovaná spotřeba elektrovozidla je dosahována v reálném provozu

~~H3₁: Deklarované spotřeby elektrovozidla nelze dosáhnout v reálném provozu~~

Obrázek 83 Krabicový graf pro Hypotézu 3



Tabulka 26 Statistické výsledky pro hypotézu 3

	Počet platných hodnot	Hodnota testové statistiky [T]	Rozdíly mezi párovými hodnotami [Z]	p
udávaná spotřeba výrobcem & naměřená spotřeba	7	9,000000	0,845154	0,398025

6.4 Hypotéza č. 4 - *pokrytí spotřeby*

Pro řešení této hypotézy byla použita získaná data z bateriových úložišť. Ověřovalo se, zda je bateriové úložiště schopné pokrýt svou funkcí 1/3 průměrné spotřeby domácností, kde jsou nainstalována bateriová úložiště. Při řešení byla u této hypotézy využita data za 4 měsíce: srpen, září, říjen a listopad

- Existuje pět výběrů dat,
 - data získaná z bateriových úložišť (srpen, září, říjen, listopad) a předpoklad 33,3 % pokrytí průměrné spotřeby domácnosti
 - data jsou na sobě závislá
 - normalita dat u pokrytí spotřeby vyšla
 - srpen – Shapiro-Wilkův test – $W=0,81754$, $p=0,02366$
 - $\alpha = 0,05$, $p < \alpha$
 - normalita dat se na této hladině významnosti zamítá
 - září – Shapiro-Wilkův test – $W=0,81355$, $p=0,02117$
 - $\alpha = 0,05$, $p < \alpha$
 - normalita dat se na této hladině významnosti zamítá
 - říjen – Shapiro-Wilkův test – $W=0,86230$, $p=0,08122$
 - $\alpha = 0,05$, $p > \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout
 - listopad – Shapiro-Wilkův test – $W=0,87375$, $p=0,11052$
 - $\alpha = 0,05$, $p > \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout
 - předpoklad – Shapiro-Wilkův test – $W=0,78558$, $p=0,00968$
 - $\alpha = 0,05$, $p < \alpha$
 - normalitu dat nelze na této hladině významnosti zamítnout
 - normalita není u všech řad. Vzhledem k tomu, že některé datové řady vyšly jako nenormální, tak nelze statisticky postupovat dle statistik uvažujících normalitu dat. Proto pro následující zpracování považujeme datové řady jako řady dat bez normality
- na základě definovaného postupu výběru vhodné statistické metody byl zvolen pro statistické vyhodnocení „**párový Wilcoxonův test**“.

Vyhodnocení

Krabicový graf na obrázku 84 znázorňuje, průměrné pokrytí spotřeby bateriových úložišť. Jak je patrné z krabicového grafu na obrázku 85, bateriové úložiště zvládne pokrýt průměrnou spotřebu domácnosti, za předpokladu, že se nejedná o měsíce, kdy je topná sezona. Jak je vidět, tak s klesající teplotou se snižuje procentuální pokrytí spotřeby bateriového úložiště. Nicméně

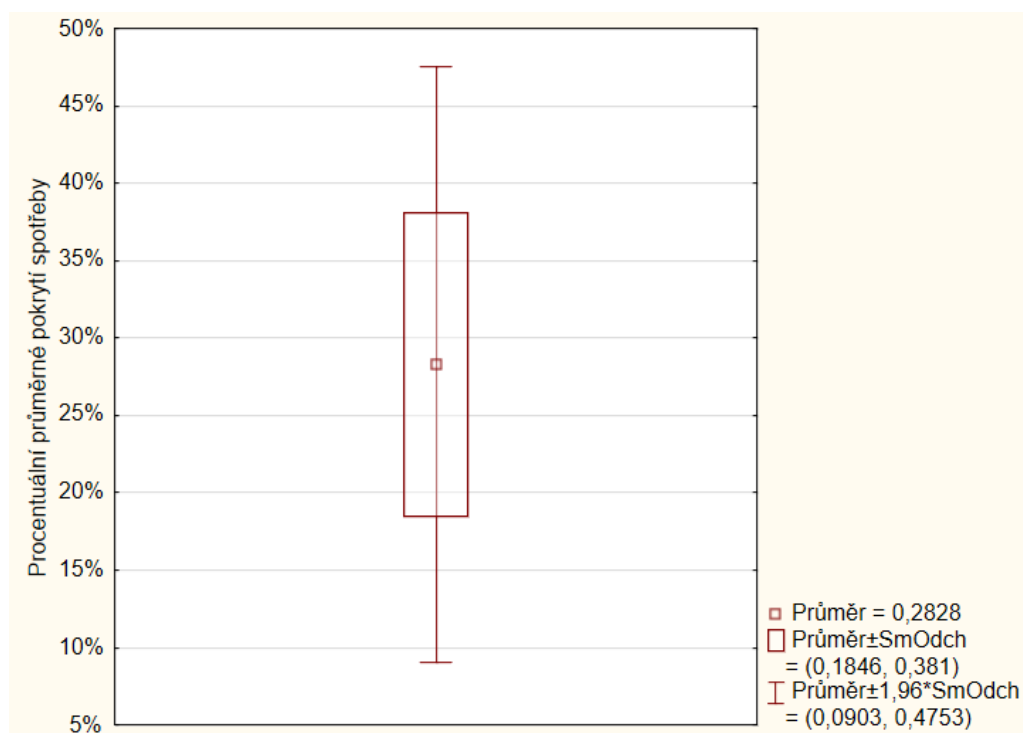
z prozatímních dat za sledované období je zřejmé, že úložiště dokáže pokrýt 1/3 průměrné spotřeby domácnosti.

V tabulce 27 je uvedeno vyhodnocení statistických výsledků, které byly testovány pomocí párového Wilcoxonova testu. Jak je patrné, tak $p > \alpha$, z čehož vyplývá, že hypotézu 4 nelze na této hladině významnosti zamítnout. V měsíci listopad je však $p < \alpha$ a pokud by se jednalo pouze o tento měsíc konkrétně, hypotézu na této hladině významnosti by bylo nutné zamítnout.

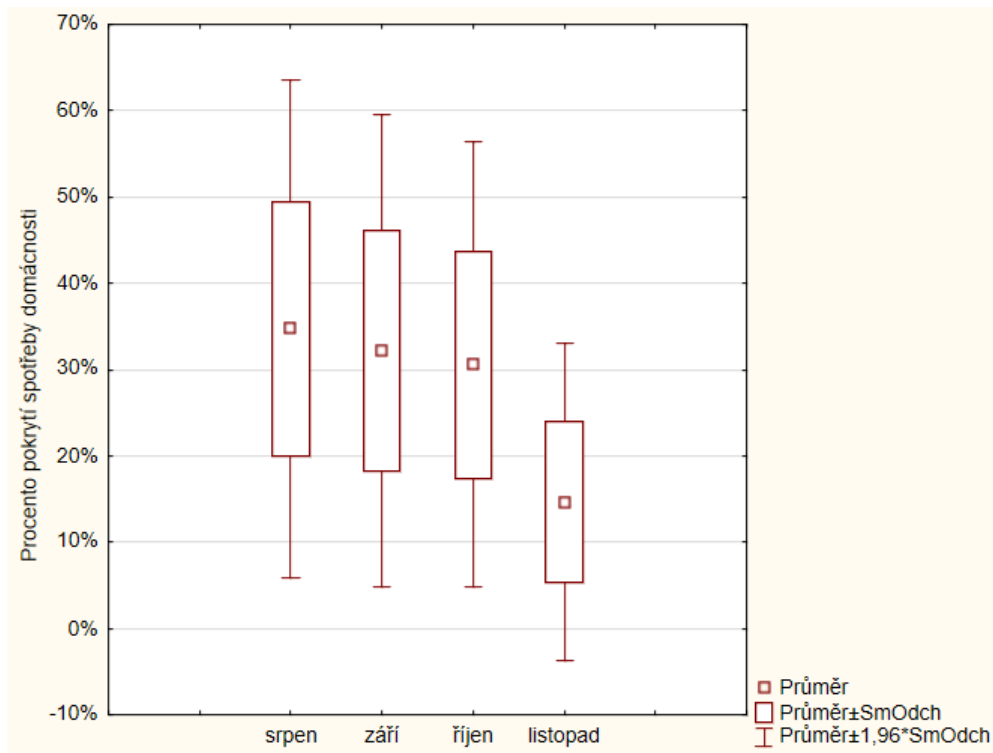
H₄₀: Bateriové úložiště pokryje 1/3 průměrné měsíční spotřeby domácnosti.

~~H₄₊: Bateriové úložiště nepokryje 1/3 průměrné měsíční spotřeby domácnosti.~~

Obrázek 84 Krabicový graf pro Hypotézu 4 - průměr



Obrázek 85 Krabicový graf pro hypotézu 4 – přehled měsíců



Tabulka 27 Statistické výsledky pro hypotézu 4

	Počet platných hodnot	Hodnota testové statistiky [T]	Rozdíly mezi párovými hodnotami [Z]	p
Průměr	10	14,00000	1,376047	0,168808
Srpen	10	27,00000	0,050965	0,959354
Září	10	27,00000	0,050965	0,959354
Říjen	10	19,00000	0,866400	0,386271
Listopad	10	0,00	2,803060	0,005062

7 Diskuze

V současné době se druhotným využitím použitých trakčních akumulátorů z elektrických vozidel věnuje nejen mnoho vědců, ale i automobilky samotné. Potenciál, který se v jejich druhotném využití skrývá, je významný. V rámci Evropy se téměř každá automobilová společnost snaží řešit problém s recyklací trakčních akumulátorů. Pro všechny z nich to tvoří vysoké náklady, a proto je druhotné využití trakčních akumulátorů elektrických vozidel důležité téma.

Autoři G. Fitzgerald a kolektiv z Rocky Mountain Institutu, identifikovali 3 různé skupiny a 13 různých oblastí pro použití bateriového úložiště obecně. Jako zainteresované skupiny identifikovali provozovatele přenosových soustav, energetické společnosti a zákazníky [103]. Zatímco G. Reid a kolektiv, identifikovali 4 skupiny a 14 možných oblastí použití. Za skupiny označili také energetické společnosti (včetně provozovatelů přenosových soustav), komerční, průmyslové a bytové spotřebitele a systémy mimo síť (off-grid) [104].

Úložné systémy pro druhotné využití baterií z elektrických vozidel jsou vyvíjeny, implementovány a testovány průmyslovými odvětvími, soukromými spotřebiteli i nejrůznějšími výzkumnými projekty. V průmyslovém měřítku se jedná většinou mezipodniková řešení s kapacitou od několika kWh až po několik MWh a interní výzkumné a vývojové projekty s kapacitou několika kWh. Právě například pracovníci společnosti *EDP* se snaží zjistit, jak baterie fungují a jak dlouhý může být jejich druhý život poté, co dosloužily v elektrických vozidlech. Toto využití navíc umožňuje vyrábět baterie s nižšími náklady a zároveň redukovat odpad, protože zvyšuje životnost baterií a zabraňuje recyklaci po prvním použití [105].

Bateriová úložiště jsou často stavěny průmyslovými konsorciemi skládajícími se z výrobců elektrických vozidel, energetických společností a vývojářů technologií a většinou se používají pro primární řízení frekvence a snížení poptávky. Již v roce 2018 postavila v Nizozemsku francouzská společnost *Engie* bateriové úložiště z použitých baterií z elektrických vozidel značky Renault. Úložiště, které bylo realizováno společností *Connected Energy* má výkon 150 kW a kapacitu 90 kWh a nazývá se E-STOR [106]. 2nd Life bateriová úložiště pro soukromé spotřebitele se často používají v kombinaci s fotovoltaickým systémem, které napomáhá k pokrytí vlastní spotřeby. Tyto systémy jsou založeny převážně na bateriových modulech a dosahují kapacity až několika kWh. Takové skladovací systémy jsou dostupné na

trhu jako out of the box řešení, které nabízí například společnost *EcarACCU* nebo *BeePlanet Factory*. Případně mohou být vyrobeny na zakázku [107, 108].

V roce 2017 uváděla publikace, že v Evropě bylo druhé využití baterie, zejména na úrovni bateriových článků, neobvyklé kvůli vysokým nákladům na lidskou práci pro přepravování [109]. V dnešní době už se z 2nd Life baterií a jejich aplikací stává poměrně úspěšný byznys, díky kterému budou mít například automobilky po celém světě možnost ušetřit recyklační náklady, které jim vznikají [96].

Již v roce 2013 se ve své práci T. Chen a kolektiv zabývali výhodou bateriových úložišť, které využívají použité trakční akumulátory z elektrických vozidel. Zkoumali optimální kapacitu baterie a její umístění s ohledem na náklady, které mohou být spojeny s údržbou, ale na druhou stranu i s úsporou za elektrickou energii [110].

Od roku 2015 se Renault a Nissan podílí na projektu ELSA (Energy Local Storage Advanced System), který se zaměřuje na vývoj nízkonákladových, škálovatelných a transponovatelných systémů pro ukládání energie, využívajících 2nd Life baterie. Projekt testuje lithium-iontové baterie elektromobilů (Nissan a Renault) a další možnosti přímého a nepřímého ukládání energie, včetně akumulace tepla, řízení poptávky pro maloobjemové skladování energie v různých typech budov a malých čtvrtích. Systémy ukládání energie jsou nasazovány a testovány v kancelářských budovách ve Spojeném království a Francii, v továrně Nissan ve Španělsku, ve výzkumném centru v Německu, v rezidenční čtvrti v Německu a v místní nízkonapěťové pobočce inteligentní sítě v Itálii [111, 112].

Ve své práci uvádí W. Wu a kolektiv uvádí, že přímým důsledkem většího počtu elektrických vozidel na silnicích je nárůst vysloužilých trakčních akumulátorů. Jakmile v elektrickém vozidle dosáhne akumulátor konce své životnosti, představují za jakých okolností může být použití baterií druhé životnosti ve stacionárních systémech skladování energie v Číně ziskové pomocí modelu provozní optimalizace. Jejich výsledky ukazují, že použitý trakční akumulátor, by mohl dosáhnout hodnoty 116 USD/kWh, pokud by byl zakoupen se zbývajícím kapacitou 80 % a byl zlikvidován, když kapacita dosáhne 50 %. Ziskové marže pro firmy zabývající se skladováním energie se budou snižovat, pokud se vezmou v úvahu pořizovací náklady na 2nd Life baterie. Předpokládá se, že cenové rozpětí pro baterie druhé životnosti se bude pohybovat mezi spodním limitem ceny „ochotou prodat“ z pohledu vlastníků elektrických vozidel a horním limitem, kterým je cena „tržní hodnota“ na základě stavu baterie a tržní

ceny za nový trakční akumulátor elektrického vozidla. Bylo také zjištěno, že když je zbývající kapacita baterie nižší než 87 %, aplikace vyřazeného bateriového úložiště energie může dosáhnout paretova zlepšení. Navíc se odhaduje, že optimální zbývající kapacita pro 2nd Life baterie by byla 77 %. Výsledky této práce naznačují, že míra přijetí elektrických vozidel se může zlepšit, pokud se podaří úspěšně vytvořit trh se 2nd Life bateriemi [113]. Vytvoření tohoto trhu je nyní prioritou pro všechny výrobce elektrických vozidel.

8 Závěr a doporučení

Práce se zabývala druhotným využitím trakčních akumulátorů elektrických vozidel a na základě získaných a dostupných dat byla posouzena možnost využití v 2nd Life projektech.

Teoretická část práce se věnuje elektromobilitě, elektrickým vozidlům, jejich dobíjení a energetickému mixu České republiky. V práci je také zmíněna recyklace trakčního akumulátoru.

Praktická část práce obsahuje testovací jízdy s vybranými elektrickými vozidly, které měly za cíl ověřit jízdní parametry testovaných vozidel udávané výrobcem. Díky těmto jízdám se podařilo ověřit deklarované jízdní parametry a bylo prokázáno, že deklarované jízdní parametry byly v reálném provozu v zásadě dodrženy, byť značný vliv měly okamžité klimatické podmínky, kdy docházelo až k třetinovému poklesu odhadovaného dojezdu při nízkých venkovních teplotách, jako tomu bylo v případě testovací jízdy s elektrickým vozidlem Volkswagen ID.3. V tomto případě se testovací jízdy absolvovaly v únoru, kdy venková teplota byla v průměru kolem $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Po této části následovala charakteristika stávající infrastruktury dobíjecích stanic, kdy bylo vzhledem k situování dobíjecích stanic navrženo, kde a jak by mohla být posílena dobíjecí infrastruktura. Z charakteristiky je patrné, že na výstavbě nových dobíjecích stanic a bodů se neustále pracuje. K 30.9.2021 bylo celkem 799 dobíjecích stanic a celkem 1 525 dobíjecích bodů, což znamenalo v přepočtu 9 elektrických vozidel na jeden dobíjecí bod. Je také nutné podotknout, že se jedná o veřejné dobíjecí stanice a nejsou zde zohledněny soukromé. Mnoho majitelů elektrických vozidel také nabíjí své vozidlo doma nebo v zaměstnání a nejsou tak odkázáni na veřejné dobíjecí stanice.

Další část se věnovala analýze připravenosti elektrické přenosové soustavy ČR k zásobování elektrických vozidel na našem území, což je stěžejní pro rozvoj elektromobility na našem území. Na základě výpočtu, kdy byl k 30.9.2021 počet elektrických vozidel 13 691, se při průměrné spotřebě a průměrném nájezdu 55 km denně, spotřebuje na dobíjení elektrických vozidel za rok 54,8 GWh. Pokud by zde v České republice nastal scénář s jedním milionem elektrických vozidel, byl by nárůst spotřeby elektrické energie (data z roku 2020) o 5,6 %.

Pokud se elektromobilita rozšíří na našem území, lze předpokládat, že se navýší počet trakčních akumulátorů, které bude potřeba ekologicky recyklovat. Díky možnosti využití použitých trakčních akumulátorů z elektrických vozidel pro 2nd Life projekty je možné prodloužit životní cyklus baterie. Samotný životní cyklus je pak také popsán v práci. Pokud baterie skončí svůj život v elektrickém vozidle a klasifikuje se jako 2nd Life, je možné ji využít dále v aplikacích bateriového úložiště. Využití trakčních akumulátorů pro stacionární zařízení sloužící k akumulaci elektrické energie je dnes běžná praxe o čemž vypovídá kapitola 4.6. Mezi největší stacionární v České republice patří velkokapacitních baterie společnosti ČEZ, E.ON, Solar Global a C-Energy Planá.

Díky pilotnímu projektu ŠKODA Auto v dealerství Auto Podbabská, kdy se ověřilo efektivní druhotné využití vysloužilých trakčních akumulátorů elektrických vozidel, se ŠKODA Auto rozhodla zahájit sériovou výrobu těchto bateriových úložišť. Tento pilotní projekt nastartoval další pilot v oblasti domácích bateriových úložišť. Díky tomuto pilotu bylo pro psaní této práce k dispozici velké množství dat, avšak z důvodů citlivosti údajů, byla vybrána data, která neohrozí další vývoj projektu. Z dat, která jsou k dispozici, bylo zjištěno, že baterie v bateriovém úložišti jsou zatíženy přibližně 4x méně než baterie v elektrickém vozidle. Maximální zatížení baterie v úložišti tedy nepřesáhne hodnotu 1 C, která byla uvedena výše jako hodnota, která se pro 2nd Life baterie nedoporučuje, z důvodu vlivu na životnost baterie. Životnost baterie však kromě vyjádření v letech, se také určuje v počtu nabíjecích cyklů, což v práci není zohledněno.

V práci je také poskytnut modelový případ, kdy je vidět, výhodnost pořízení FVE právě s bateriovým úložištěm. Díky dotacím je možné svou investici v rámci tohoto modelového případu získat v řádu 10 až 11 let.

V rámci pilotního projektu domácích bateriových úložišť byla získána data. Pro potřeby této práce byly porovnány dva konkrétní dny, aby bylo možné získat představu, jak vlastně bateriové úložiště společně s FVE funguje. Vybrány a charakterizovány byly dva dny - čtvrtky (12. srpna 2021 a 11. listopadu 2021). Pro detailní rozbor bylo vybráno bateriové úložiště F, které se nachází v Jihočeském kraji. Ze získaných dat je patrné, že v srpnu bateriové úložiště spolu s FVE dokázalo pokrýt až 79 % spotřeby domácnosti. Naproti tomu v listopadu, vzhledem k vysoké oblačnosti, a tedy i nízkému UV indexu, bateriové úložiště spolu s FVE pokrylo 48 % spotřeby domácnosti. Baterie samotná pokryla pak v srpnu 49 % spotřeby domácnosti a v listopadu 26 %. Pro domácnost s bateriovým úložištěm F, bylo navíc na základě

historických dat spotřeby a získaných dat z bateriového úložiště predikováno pokrytí spotřeby na následující rok 2022.

Hlavním cílem bylo navrhnout metodiku pro využití vyřazených trakčních akumulátorů z elektrických vozidel, aby tyto akumulátory nemusely být zbytečně recyklovány dříve, než je nutné. V této části práce je popsáno, jaký je postup pro baterii a také je zde vývojový diagram, díky kterému je celý proces přehledný.

Díky efektivnímu využívání vysloužilých trakčních akumulátorů bude podpořena cirkulární ekonomika, sníží se náklady na recyklaci, a také mohou vzniknout nové business modely, které mohou generovat zisk firmám. Oddálením recyklace se získá čas pro vývoj nových, efektivních a ekologických metod pro recyklaci trakčních akumulátorů a díky tomu je tu pak možný potenciál snížení těžby drahých kovů, jako jsou lithium, kobalt či mangan, kdy se ne vždy hledí na ekologii a lidská práva při jejich těžbě.

Využití trakčních akumulátorů elektrických vozidel v bateriových úložištích má potenciál jak ekonomický, tak ekologický. Kromě oddálení recyklačních nákladů, které jsou teď příliš vysoké, může samotné bateriové úložiště pomoci uživatelům pokrýt jejich spotřebu elektrické energie. Vzhledem k stoupajícím cenám energií je toto řešení více než žádoucí. Použité trakční akumulátory elektrických vozidel budou mít čím dál větší využití. Již teď vzniká mnoho startupů, které vymýšlejí, co dále s bateriemi a s nástupem elektromobility, bude baterií stále více přibývat. Jak s nimi tedy naložit, je otázka, na kterou bychom měli začít připravovat odpověď.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] MAHMOUDZADEH ANDWARI, Amin, Apostolos PESIRIDIS, Srithar RAJOO, Ricardo MARTINEZ-BOTAS a Vahid ESFAHANIAN. *A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels* [online]. B.m.: Elsevier Ltd. 1. říjen 2017. ISSN 18790690. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2017.03.138
- [2] NIESTADT, Maria a Amalie BJØRNÅVOLD. *BRIEFING EPRS | European Parliamentary Research Service*. nedatováno.
- [3] 2020, International Energy Agency. *Global EV Outlook 2020: Analysis*. IEA. *Global EV Outlook 2020* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [4] WILBERFORCE, Tabbi, Zaki EL-HASSAN, F. N. KHATIB, Ahmed AL MAKKY, Ahmad BAROUTAJI, James G. CARTON a Abdul G. OLABI. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy* [online]. 2017, **42**(40), 25695–25734. ISSN 03603199. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijhydene.2017.07.054
- [5] RALLO, H., L. CANALS CASALS, D. DE LA TORRE, R. REINHARDT, C. MARCHANTE a B. AMANTE. Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **272**, 122584. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2020.122584
- [6] VISWANATHAN, Vilayanur V. a Michael KINTNER-MEYER. Second use of transportation batteries: Maximizing the value of batteries for transportation and grid services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* [online]. 2011, **60**(7), 2963–2970. ISSN 00189545. Dostupné z: doi:10.1109/TVT.2011.2160378
- [7] FARIA, Ricardo, Pedro MARQUES, Rita GARCIA, Pedro MOURA, Fausto FREIRE, Joaquim DELGADO a Aníbal T. DE ALMEIDA. Primary and secondary use of electric mobility batteries from a life cycle perspective. *Journal of Power Sources* [online]. 2014, **262**, 169–177. ISSN 03787753. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpowsour.2014.03.092
- [8] SAEZ-DE-IBARRA, Andoni, Egoitz MARTINEZ-LASERNA, Cosmin KOCH-CIOBOTARU, Pedro RODRIGUEZ, Daniel Ioan STROE a Maciej SWIERCZYNSKI. Second life battery energy storage system for residential demand response service. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology* [online]. B.m.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015, s. 2941–2948. Dostupné z: doi:10.1109/ICIT.2015.7125532
- [9] WINSLOW, Kevin M., Steven J. LAUX a Timothy G. TOWNSEND. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2018, **129**, 263–277. ISSN 0921-3449. Dostupné z: doi:10.1016/J.RESCONREC.2017.11.001
- [10] MAY, Nadine. Local environmental impact assessment as decision support for the introduction of electromobility in urban public transport systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 2018, **64**, 192–203. ISSN 13619209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2017.07.010
- [11] *Reducing CO2 emissions from passenger cars - before 2020 | Climate Action* [online]. [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en

- [12] *Electric cars will treble market share this year as most carmakers on track to meet EU emissions targets - analysis / Transport & Environment* [online]. [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/press/electric-cars-will-treble-market-share-year-most-carmakers-track-meet-eu-emissions-targets>
- [13] *UK briefing: The plug-in hybrid con* [online]. 2020 [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/tax-company-benefits/tax-on-company-cars>
- [14] *Alternativní pohony motorových vozidel / František Vlk - Portaro - library catalog* [online]. [vid. 2020-10-18]. Dostupné z: <https://katalog.vsb.cz/documents/3320?back=https%3A%2F%2Fkatalog.vsb.cz%2Fauthorities%2F95496&group=3320%2C7277%2C7278%2C7279%2C7281%2C7282%2C7283%2C7284%2C7269%2C7289&locale=en>
- [15] *Battery Electric Vehicles, BEV, EVs, HEVs, BHEV's | EVgo* [online]. [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://www.evgo.com/why-evs/types-of-electric-vehicles/>
- [16] POLLET, Bruno G, Iain STAFFELL a Jin Lei SHANG. Electrochimica Acta Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta* [online]. 2012, 84, 235–249 [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: doi:10.1016/j.electacta.2012.03.172
- [17] *The ICE age is over: Why battery cars will beat hybrids and fuel cells* [online]. [vid. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://thedriven.io/2018/11/14/the-ice-age-is-over-why-battery-cars-will-beat-hybrids-and-fuel-cells/>
- [18] *Druhy elektromobilů – znáte je všechny? - ŠKODA Storyboard* [online]. [vid. 2020-10-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/>
- [19] *What are different types of hybrid engines and how do they work? - General Car Discussion / News/Articles/Motorists Education - PakWheels Forums* [online]. [vid. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://www.pakwheels.com/forums/t/what-are-different-types-of-hybrid-engines-and-how-do-they-work/757950>
- [20] *Micro-hybrid, mild-hybrid, full-hybrid, plug-in hybrid. Jaký je mezi nimi rozdíl? | fDrive.cz* [online]. [vid. 2020-10-18]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/micro-hybrid-mild-hybrid-full-hybrid-plug-in-hybrid-jaky-je- mezi-nimi-rozdil-1857>
- [21] HARROP, Peter. *The Next 20 Years: Powertrains Come and Go: When, Why, What Next?* [online]. nedatováno [vid. 2020-10-25]. Dostupné z: www.idtechex.com
- [22] WANG, Lei, Xiang WANG a Wenxian YANG. Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers. *Applied Energy* [online]. 2020, **275**, 115328. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2020.115328
- [23] *BATERIE ELEKTROMOBILU – ZÁKLADNÍ PARAMETRY | DEVINN s.r.o.* [online]. [vid. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/baterie-elektromobilu/>
- [24] *Advantages and limitations of the Different Types of Batteries - Battery University* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/archive/whats_the_best_battery
- [25] *Nickel-based Batteries Information – Battery University* [online]. [vid. 2020-10-25]. Dostupné

- z: https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries
- [26] *Advantages & Limitations of the Lithium-ion Battery - Battery University* [online]. [vid. 2020-10-25]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery
- [27] VILHELM, Ondřej. *FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY*. nedatováno.
- [28] *Toyota plans to leapfrog Tesla electric cars by 2022 with solid state batteries | NextBigFuture.com* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: <https://www.nextbigfuture.com/2017/08/toyota-plans-to-leapfrog-tesla-electric-cars-by-2022-with-fast-charging-solid-state-batteries.html>
- [29] *Kdy se dočkáme nových revolučních Solid-state baterií?* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/kdy-se-dockame-novych-revolucnich-solid-state-baterii>
- [30] *Vědci snížili křehkost keramických solid-state baterií díky grafenu | Svět hardware* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/vedci-snizili-krehkost-keramickych-solid-state-baterii-diky-grafenu/52355>
- [31] *Types of Battery Cells; Cylindrical Cell, Button Cell, Pouch Cell* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/types_of_battery_cells
- [32] *Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu – část I., typy nabíjení - TZB-info* [online]. [vid. 2020-10-05]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-i>
- [33] *Introduction to charging technologies: Conductive charging: AC or DC?* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.mobility-academy.eu/mod/book/view.php?id=80&chapterid=437>
- [34] *Fast-charging can damage electric car batteries in just 25 cycles* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.imeche.org/news/news-article/fast-charging-can-damage-electric-car-batteries-in-just-25-cycles>
- [35] *Charging Lithium-Ion Batteries – Battery University* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [36] *eMobilita* [online]. [vid. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/o-nas/skoda-e-mobilita>
- [37] *Introduction to charging technologies: Alternating current (AC)* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.mobility-academy.eu/mod/book/view.php?id=80&chapterid=438>
- [38] *Plug-In Around the EV World, Electric Vehicle Institute [online]* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: http://www.ev-institute.com/images/media/Plug_World_map_v4.pdf
- [39] *Everything you've always wanted to know about fast charging* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://fastnedcharging.com/hq/everything-youve-always-wanted-to-know-about-fast-charging/>
- [40] *Jak, kde a za kolik nabít elektromobil? – Kompletní průvodce | fDrive.cz* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-kde-a-za-kolik-nabit-elektromobil-kompletni-pruvodce-5005>

- [41] *RANGE ANXIETY* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: http://www.change-climate.com/Transport_Land_Sea_Sustainable/SMART_Hybrid_EV_Energy_Service_Networks/Range_Anxiety_Electric_Vehicles_Recharging_Times_Journey_Delays.htm
- [42] *What is ICEing and why does it annoy electric car owners? | Motoring Research* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.motoringresearch.com/advice/what-is-iceing-electric-car-charger/>
- [43] *Tesla and other EVs block gas station in protest against charging station Icing - Electrek* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://electrek.co/2019/12/11/tesla-electric-cars-block-gas-station-protest/>
- [44] INTERNATIONAL, KPMG. *Mobility 2030: Transforming the mobility landscape*. 2019.
- [45] *Wallbox nebo zásuvka? Co se vyplatí a proč? | E.ON Energy Globe* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/wallbox-nebo-zasuvka-co-se-vyplati-a-proc>
- [46] *Elektrische auto thuis opladen: kosten en praktische info* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.egear.be/elektrische-auto-thuis-opladen/>
- [47] *Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět | Hybrid.cz* [online]. [vid. 2020-11-29]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-неналетет>
- [48] *Základy nabíjení elektromobilu* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/blog/zaklady-nabijeni/>
- [49] *ŠKODA SUPERB iV: První model značky ŠKODA s plug in hybridním pohonem - ŠKODA Storyboard* [online]. [vid. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-na-autosalonu-iaa-2019-tiskova-mapa/skoda-superb-iv-prvni-model-znacky-skoda-s-plug-in-hybridnim-pohonem/>
- [50] *Národní energetický mix — Čeština* [online]. [vid. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [51] *European Residual Mix | AIB* [online]. [vid. 2020-11-03]. Dostupné z: <https://www.aib-net.org/facts/european-residual-mix>
- [52] Česko bez uhlí od 2030 Listopad 2020 Uhelná elektrárna v Počeradech. nedatováno.
- [53] KANG, Daniel Hsing Po, Mengjun CHEN a Oladele A. OGUNSEITAN. Potential environmental and human health impacts of rechargeable lithium batteries in electronic waste. *Environmental Science and Technology* [online]. 2013, 47(10), 5495–5503 [vid. 2020-11-01]. ISSN 0013936X. Dostupné z: doi:10.1021/es400614y
- [54] *Are recyclers ready for the coming glut of lithium-ion batteries? | News | Eco-Business | Asia Pacific* [online]. [vid. 2020-11-01]. Dostupné z: https://www.eco-business.com/news/are-recyclers-ready-for-the-coming-glut-of-lithium-ion-batteries/?_sm_au_=iHVNTt5N16SnTKLH
- [55] WANG, H, M VEST a B FRIEDRICH. *Hydrometallurgical processing of Li-Ion battery scrap from electric vehicles*. nedatováno.
- [56] MORADI, Bahar a Gerardine G. BOTTE. *Recycling of graphite anodes for the next generation of lithium ion batteries*

- [online]. B.m.: Springer Netherlands. 1. únor 2016 [vid. 2020-11-01]. ISSN 15728838. Dostupné z: doi:10.1007/s10800-015-0914-0
- [57] ORDOÑEZ, J., E. J. GAGO a A. GIRARD. *Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries* [online]. B.m.: Elsevier Ltd. 1. červenec 2016. ISSN 18790690. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2015.12.363
- [58] PORVALI, Antti, Miamari AALTONEN, Severi OJANEN, Omar VELAZQUEZ-MARTINEZ, Emmi ERONEN, Fupeng LIU, Benjamin P. WILSON, Rodrigo SERNA-GUERRERO a Mari LUNDSTRÖM. Mechanical and hydrometallurgical processes in HCl media for the recycling of valuable metals from Li-ion battery waste. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2019, **142**, 257–266. ISSN 18790658. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2018.11.023
- [59] *Producing batteries for green technology harms the environment. Here's what needs to change | World Economic Forum* [online]. [vid. 2020-11-01]. Dostupné z: https://www.weforum.org/agenda/2017/11/battery-batteries-electric-cars-carbon-sustainable-power-energy/?_sm_au_=iHVPLRR04DrrD7Vp
- [60] *Vysoká cena za pokrok. V konžských dolech rubou kobalt děští horníci - iDNES.cz* [online]. [vid. 2020-11-11]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/kobalt-tezba-kongo-deti-amnesty-international.A180501_180212_eko-zahranicni_mato
- [61] *Jaké jsou možnosti využití opotřebovaných baterií? | Hospodářské noviny (iHNed.cz)* [online]. [vid. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://hnbrandlab.ihned.cz/c1-66827600-elektromobilita-2020-bateriove-vs-vodikove-elektromobily>
- [62] JIAO, Na a Steve EVANS. Business Models for Sustainability: The Case of Second-life Electric Vehicle Batteries. In: *Procedia CIRP* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 2016, s. 250–255. ISSN 22128271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2016.01.114
- [63] CASALS, Lluc Canals, Beatriz Amante GARCÍA, Frédéric AGUESSE a Amaia ITURRONDOBEITIA. Second life of electric vehicle batteries: relation between materials degradation and environmental impact. *International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2017, **22**(1), 82–93 [vid. 2020-11-01]. ISSN 16147502. Dostupné z: doi:10.1007/s11367-015-0918-3
- [64] LIH, Wen Chen, Jieh Hwang YEN, Fa Hwa SHIEH a Yu Min LIAO. Second use of retired lithium-ion battery packs from electric vehicles: Technological challenges, cost analysis and optimal business model. In: *Proceedings - 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, IS3C 2012* [online]. 2012, s. 381–384. ISBN 9780769546551. Dostupné z: doi:10.1109/IS3C.2012.103
- [65] *Emise CO2 vypouštěné novými vozy v Evropě loni stouply - Ekolist.cz* [online]. [vid. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/emise-co2-vypoustene-novymi-vozy-v-evrope-loni-stouply>
- [66] *Automobilová diagnostika Texa* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://www.diagnostika-texa.cz/>
- [67] *Autodiagnostika VCDS 20.4.1 VAG-COM HEX-V2* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://www.vag-com.cz/>
- [68] *Bosch KTS 540 | Diagnostika - univerzální | Produkty | Elerte.cz - autodily, autodiagnostika, chiptuning, ECU, automobilové doplňky, autodiagnostika* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <http://www.elerte.cz/produkty/diagnostika-univerzalni/bosch-kts-540-104.htm>

- [69] ŠTEKEROVÁ, Veronika, Martin KOTEK a Veronika HARTOVÁ. Comparison of two electric vehicles in terms of real range in different types of operations. *Original Paper Research in Agricultural Engineering* [online]. nedatováno, **66**(4), 140–145 [vid. 2021-11-29]. Dostupné z: doi:10.17221/60/2020-RAE
- [70] *V Česku provozuje veřejné dobíjecí stanice 54 subjektů | Centrum dopravního výzkumu*, v. v. i. [online]. [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-cesku-provozujve-verejne-dobijeci-stanice-54-subjektu/>
- [71] *V ČR jezdí 8,5 tisíce elektromobilů, využívají už 1 400 dobíjecích míst | Centrum dopravního výzkumu*, v. v. i. [online]. [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-cr-jezdi-8-5-tisice-elektromobilu-vyuzivaji-uz-1-400-dobijecich-mist/>
- [72] *V Česku je 1 525 dobíjecích bodů, na jeden připadá devět elektrických vozidel | Centrum dopravního výzkumu*, v. v. i. [online]. [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-cesku-je-1-525-dobijecich-bodu-na-jeden-pripada-devet-elektrickych-vozidel/>
- [73] *Mapa nabíjecích stanic | fDrive.cz* [online]. [vid. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic>
- [74] *Výroba a spotřeba elektrické energie v roce 2020 | ČSÚ v Brně* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xb/vyroba-a-spotreba-elektricke-energie-v-roce-2020>
- [75] *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc
- [76] *Výroba a spotřeba elektrické energie v roce 2019 | ČSÚ v Brně* [online]. [vid. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xb/vyroba-a-spotreba-elektricke-energie-v-jihomoravskem-kraji-v-roce-2019>
- [77] ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČESKÉ REPUBLIKY ZA ROK 2020. nedatováno.
- [78] ČEPS, a.s. [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/cs/rozvoj-ps>
- [79] ČEPS se stává desátým členem AKI ČR [online]. [vid. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/prenos-elektriny/ceps-se-stava-desatym-clenem-aki-cr>
- [80] *Energetika a Zelená dohoda | Evropská komise* [online]. [vid. 2021-11-04]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/energy-and-green-deal_cs
- [81] *Ministerstvo dopravy ČR - Média a tiskové zprávy* [online]. [vid. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Nova-elektro-a-plynova-vozidla-v-CR-Rok-2020-znam>
- [82] *Čisté energie pro elektrodopravu má Česko dostatek. Nové zdroje je ale třeba dál hledat, tvrdí komora — ČT24 — Česká televize* [online]. [vid. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3407908-ciste-energie-pro-elektrodopravu-ma-cesko-dostatek-nove-zdroje-je-ale-treba-dal>
- [83] ŠKODA AUTO Česká republika | Oficiální web ŠKODA AUTO a.s. [online]. [vid. 2021-11-04]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/>
- [84] *Bohemia Energy bude čelit návrhu na insolventci | E15.cz* [online]. [vid. 2022-01-04]. Dostupné

- z: <https://www.e15.cz/byznys/tlak-na-bohemia-energy-roste-v-nejblizsich-tydnech-prijde-navrh-na-insolvenci-1385330>
- [85] *Zásobárny elektřiny | Evropa v datech* [online]. [vid. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.evropavdatech.cz/clanek/69-zasobarny-elektřiny/>
- [86] *ČEZ zahájil provoz 4MW baterie v rámci společného pilotního projektu s ČEPS | Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-zahajil-provoz-4mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-69165>
- [87] *Tušimická baterie v testování obstála | Skupina ČEZ - O Společnosti* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/tusimicka-baterie-v-testovani-obstala-139511>
- [88] *Velkokapacitní bateriové úložiště v Mydlovarech | E.ON* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/mydlovary/>
- [89] *Siemens dodal technologii největšího bateriového úložiště v ČR | Energo SIEMENS* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/energo/siemens-dodal-technologie-nejvetsiho-baterioveho-uloziste-v-cr>
- [90] *Storage | Solar Global, a.s.* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.solarglobal.cz/sg-storage.htm>
- [91] *Největší bateriové úložiště v ČR zahájilo svůj provoz v Plané nad Lužnicí - TZB-info* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/19624-nejvetsi-bateriove-uloziste-v-cr-zahajilo-svuj-provoz-v-plane-nad-luznici>
- [92] *Pilotní projekt akumulace Eflex | LEEF Technologies* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://www.leeftech.com/pilotni-projekt-akumulace-eflex/>
- [93] *Tesla Builds 40 GWh Megapack Factory To Increase Volume 10x* [online]. [vid. 2021-11-24]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/542298/tesla-builds-40gwh-megapack-factory/>
- [94] *Renault presents two second-life battery projects - electrive.com* [online]. [vid. 2020-12-03]. Dostupné z: <https://www.electrive.com/2020/10/21/renault-presents-two-second-life-battery-projects/>
- [95] *Příprava na elektromobilitu: prodejci budují karantény a obří powerbanky - iDNES.cz* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/skoda-dealer-nabijecka-setrvacnik-energeticke-uloziste-powerbanka.A191108_174104_automoto_fdv?_sm_au_=_iVV0LsttHbWDGq8M23jRBKHsLv0sM
- [96] *Staré baterie mění výrobci aut na úložiště energie. Jde zároveň o nejspornější formu recyklace | Hospodářské noviny (iHNed.cz)* [online]. [vid. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-66821580-stare-baterie-vyrobcu-aut-meni-na-uloziste-energie>
- [97] *AERS a IBG Česko ve spolupráci se Škoda Auto vyvinuli kontejnerové bateriové úložiště za použití second-life baterií z elektromobilů - TZB-info* [online]. [vid. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/22601-aers-a-ibg-cesko-ve-spolupraci-se-skoda-auto-vyvinuli-kontejnerove-bateriove-uloziste-za-pouziti-second-life-baterii-z-elektromobilu>
- [98] *Přehled distribučních sazeb elektřiny | Skupina ČEZ* [online]. [vid. 2021-11-29]. Dostupné

z: <https://www.cez.cz/cs/podpora/vsechny-clanky/prehled-distribucnich-sazeb-elekriny-93426>

- [99] *Archiv dat - 12.08.2021* [online]. [vid. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.pocasi-hrusova.cz/hrusova/archiv.php?year=2021&month=08&day=12>
- [100] *Archiv dat - 11.11.2021* [online]. [vid. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://www.pocasi-hrusova.cz/hrusova/archiv.php?year=2021&month=11&day=11>
- [101] *LiIon Akku: JETI model s. r. o.* [online]. [vid. 2022-01-04]. Dostupné z: <http://support.jetimodel.cz/de/katalog/Zubehor/LiIon-Akku/>
- [102] *16_testy_strednich_hodnot.utf8* [online]. [vid. 2021-12-03]. Dostupné z: https://fu.ff.cuni.cz/STAT/16_testy_strednich_hodnot.html
- [103] K Y MOU N, Ro C, Garrett FITZGERALD, James MANDEL, Jesse MORRIS a Hervé TOUATI. THE ECONOMICS OF BATTERY ENERGY STORAGE HOW MULTI-USE, CUSTOMER-SITED BATTERIES DELIVER THE MOST SERVICES AND VALUE TO CUSTOMERS AND THE GRID THE ECONOMICS OF BATTERY ENERGY STORAGE | 2 AUTHORS SUGGESTED CITATION [online]. nedatováno [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: http://www.rmi.org/electricity_battery_value
- [104] REID, Gerard, Javier JULVE, Erneuerbare ENERGIE, E V Und DER, Hannover MESSE a Javier Julve BERLIN. Second Life-Batterien als flexible Speicher für Erneuerbare Energien. 2016.
- [105] *The second life of batteries | edp.com* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.edp.com/en/innovation/second-life-batteries>
- [106] *ENGIE New Ventures increases its strategic investment in Connected Energy* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://c-e-int.com/news-reports/engie-new-ventures-increases-its-strategic-investment-in-connected-energy>
- [107] *Home storage | the E-Power Tower | EcarACCU* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://ecaraccu.nl/homebatteries/power-tower/>
- [108] *Sustainable storage low-scale Home ESS - BeePlanet factory* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://beeplanetfactory.com/en/beebatteryhome/>
- [109] GOHLA-NEUDECKER, B., V. S. MAIYAPPAN, S. JURASCHEK a S. MOHR. Battery 2nd life: Presenting a benchmark stationary storage system as enabler for the global energy transition. *2017 6th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2017* [online]. 2017, 103–109 [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: doi:10.1109/ICCEP.2017.8004799
- [110] CHEN, Tsai Hsiang, Ting Yen HSIEH, Nien Che YANG, Jin Shyr YANG a Ching Jung LIAO. Evaluation of advantages of an energy storage system using recycled EV batteries. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* [online]. 2013, **45**(1), 264–270. ISSN 0142-0615. Dostupné z: doi:10.1016/J.IJEPES.2012.08.037
- [111] *Renault optimizes the lifecycle of its electric vehicle batteries - Renault Group* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/renault-optimizes-the-lifecycle-of-its-electric-vehicle-batteries/>

- [112] *ELSA / Innovation and Networks Executive Agency* [online]. [vid. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-energy/storage/elsa>
- [113] WU, Wei, Boqiang LIN, Chunping XIE, Robert J.R. ELLIOTT a Jonathan RADCLIFFE. Does energy storage provide a profitable second life for electric vehicle batteries? *Energy Economics* [online]. 2020, **92**, 105010. ISSN 0140-9883. Dostupné z: doi:10.1016/J.ENECO.2020.105010

10 Publikační činnost

10.1 Článek Scopus

Research in agricultural engineering (RAE 2020)

- ŠTEKEROVÁ, V. – KOTEK, M. – HARTOVÁ, V. Comparison of two electric vehicles in terms of real range in different types of operations. *Research in Agricultural Engineering (Zemědělská technika)*, 2020, roč. 2020, č. 66, s. 140-145. ISSN: 1212-9151.

10.2 Článek ve sborníku z akce (publikovaná přednáška – proceeding)

7th International conference on trends in agricultural engineering (TAE 2019)

- ŠTEKEROVÁ, V. Reliability of selected biometric identification systems. In 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering (TAE) 17.09.2019, Prague, CZECH REPUBLIC. Prague, CZECH REPUBLIC: Czech Univ Life Sci, Fac Engn, 2019.
- HART, J. – HARTOVÁ, V. – KOTEK, M. – ŠTEKEROVÁ, V. Analysis of wireless transmission latency in the 2.4. GHz and 5 GHz ism under load of network with data stream. In 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering (TAE) 17.09.2019, Prague, CZECH REPUBLIC. Prague, CZECH REPUBLIC: Czech Univ Life Sci, Fac Engn, 2019. s. 153-158

22nd International Conference of Young Scientists (ICYS 2020)

- ŠTEKEROVÁ, V. – KOTEK, M. Driving parameters of the selected electric vehicle. 2020, International Conference of Young Scientists ICYS 2020, 14-15th September 2020, Prague Czech Republic, p.241/245, ISBN 978-80-213-3037-5.

20th International Workshop for young Scientists “BioPhys Spring 2021” (BPS 2021)

- ŠTEKEROVÁ, V. – PÍCHA, Š. Comparison of electricity production in the Czech Republic in March 2020 and 2021. 2021, Proc. BioPhys Spring 2021, Lublin, Poland, 18th May 2021, p.57, ISBN 978-83-89969-68-2.
- PÍCHA, Š. – ŠTEKEROVÁ, V. Comparison of energy consumption of electric vehicle on different road profiles. 2021, Proc. BioPhys Spring 2021, Lublin, Poland, 18th May 2021, p.57, ISBN 978-83-89969-68-2.

23rd International Conference of Young Scientists (ICYS 2021)

- PÍCHA, Š. – ŠTEKEROVÁ, V. – KOTEK, M. - HARTOVÁ, V. Verification of declared driving characteristics of electric vehicles in real operation. 2021, International Conference of Young Scientists ICYS 2021, 22nd June 2021, Zvolen, Slovakia, p.57/59, ISBN 978-80-228-3270-0.

11 Přílohy

Příloha A - Denní průměr hodnoty C (IN)

Datum	Bateriové úložiště									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.10.2021	0,082	0,051	0,118	0,019	0,110	0,122	0,046	0,076	0,034	0,071
02.10.2021	0,089	0,042	0,029	0,010	0,063	0,063	0,066	0,079	0,055	0,053
03.10.2021	0,047	0,054	0,044	0,019	0,094	0,077	0,092	0,034	0,043	0,047
04.10.2021	0,089	0,069	0,025	0,012	0,088	0,068	0,095	0,030	0,069	0,051
05.10.2021	0,050	0,044	0,108	0,015	0,092	0,088	0,076	0,043	0,098	0,049
06.10.2021	0,065	0,116	0,111	0,015	0,122	0,131	0,053	0,041	0,075	0,061
07.10.2021	0,066	0,060	0,091	0,007	0,049	0,109	0,066	0,047	0,073	0,065
08.10.2021	0,100	0,116	0,073	0,027	0,125	0,123	0,075	0,038	0,118	0,073
09.10.2021	0,088	0,151	0,091	0,014	0,117	0,116	0,082	0,035	0,083	0,053
10.10.2021	0,089	0,071	0,102	0,015	0,046	0,051	0,062	0,041	0,030	0,116
11.10.2021	0,081	0,136	0,135	0,020	0,138	0,086	0,082	0,038	0,079	0,043
12.10.2021	0,057	0,082	0,073	0,021	0,066	0,050	0,083	0,039	0,023	0,072
13.10.2021	0,067	0,133	0,143	0,015	0,142	0,135	0,110	0,051	0,101	0,149
14.10.2021	0,047	0,032	0,090	0,013	0,127	0,114	0,097	0,040	0,082	0,117
15.10.2021	0,083	0,159	0,083	0,027	0,104	0,117	0,107	0,048	0,060	0,130
16.10.2021	0,081	0,076	0,093	0,018	0,143	0,122	0,088	0,037	0,087	0,111
17.10.2021	0,087	0,037	0,095	0,011	0,108	0,097	0,047	0,044	0,082	0,121
18.10.2021	0,084	0,048	0,143	0,010	0,140	0,086	0,054	0,079	0,083	0,091
19.10.2021	0,045	0,141	0,024	0,019	0,036	0,059	0,023	0,044	0,029	0,159
20.10.2021	0,075	0,133	0,055	0,014	0,041	0,080	0,033	0,033	0,042	0,128
21.10.2021	0,066	0,120	0,101	0,013	0,148	0,118	0,075	0,117	0,089	0,143
22.10.2021	0,219	0,131	0,106	0,013	0,121	0,111	0,143	0,120	0,095	0,183
23.10.2021	0,087	0,073	0,129	0,014	0,117	0,110	0,117	0,085	0,065	0,154
24.10.2021	0,066	0,085	0,091	0,011	0,132	0,103	0,116	0,086	0,065	0,136
25.10.2021	0,059	0,118	0,119	0,018	0,114	0,125	0,132	0,096	0,075	0,082
26.10.2021	0,072	0,013	0,135	0,030	0,120	0,067	0,143	0,066	0,032	0,096
27.10.2021	0,049	0,118	0,034	0,008	0,033	0,032	0,112	0,122	0,023	0,081
28.10.2021	0,038	0,108	0,052	0,018	0,134	0,086	0,058	0,083	0,046	0,062
29.10.2021	0,049	0,095	0,060	0,004	0,132	0,077	0,139	0,133	0,040	0,045
30.10.2021	0,066	0,043	0,064	0,004	0,144	0,037	0,124	0,122	0,037	0,059
31.10.2021	0,057	0,135	0,077	0,027	0,196	0,089	0,188	0,091	0,047	0,032
PRŮMĚR	0,074	0,090	0,087	0,016	0,108	0,092	0,090	0,066	0,063	0,091

Příloha B - Denní průměry hodnoty C (OUT)

Datum	Bateriové úložiště									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.10.2021	0,010	0,069	0,209	0,058	0,041	0,119	0,113	0,054	0,070	0,062
02.10.2021	0,010	0,075	0,083	0,020	0,058	0,077	0,079	0,015	0,051	0,011
03.10.2021	0,009	0,084	0,065	0,065	0,072	0,065	0,092	0,018	0,065	0,079
04.10.2021	0,011	0,104	0,108	0,062	0,083	0,072	0,089	0,043	0,078	0,057
05.10.2021	0,010	0,076	0,100	0,034	0,055	0,085	0,094	0,046	0,059	0,033
06.10.2021	0,053	0,138	0,060	0,062	0,047	0,117	0,107	0,016	0,100	0,047
07.10.2021	0,045	0,120	0,153	0,034	0,040	0,085	0,110	0,042	0,069	0,021
08.10.2021	0,022	0,125	0,054	0,076	0,052	0,107	0,099	0,013	0,220	0,050
09.10.2021	0,020	0,111	0,080	0,064	0,044	0,117	0,097	0,013	0,076	0,086
10.10.2021	0,055	0,108	0,071	0,065	0,046	0,047	0,070	0,033	0,088	0,138
11.10.2021	0,031	0,132	0,053	0,045	0,061	0,075	0,097	0,046	0,101	0,021
12.10.2021	0,011	0,075	0,076	0,055	0,050	0,053	0,108	0,043	0,052	0,050
13.10.2021	0,066	0,121	0,044	0,062	0,057	0,105	0,117	0,018	0,057	0,139
14.10.2021	0,055	0,126	0,028	0,064	0,043	0,122	0,106	0,048	0,097	0,123
15.10.2021	0,029	0,042	0,031	0,070	0,043	0,105	0,117	0,012	0,087	0,161
16.10.2021	0,073	0,110	0,042	0,062	0,064	0,129	0,111	0,021	0,100	0,129
17.10.2021	0,027	0,093	0,038	0,031	0,061	0,096	0,065	0,026	0,105	0,204
18.10.2021	0,047	0,042	0,052	0,018	0,071	0,082	0,072	0,018	0,130	0,107
19.10.2021	0,029	0,084	0,064	0,053	0,051	0,068	0,074	0,022	0,041	0,149
20.10.2021	0,082	0,133	0,095	0,074	0,015	0,088	0,101	0,018	0,066	0,036
21.10.2021	0,010	0,117	0,072	0,074	0,071	0,105	0,104	0,032	0,068	0,044
22.10.2021	0,076	0,111	0,044	0,072	0,071	0,129	0,111	0,040	0,109	0,093
23.10.2021	0,076	0,141	0,070	0,066	0,090	0,122	0,106	0,021	0,086	0,154
24.10.2021	0,028	0,093	0,052	0,076	0,060	0,092	0,094	0,022	0,108	0,148
25.10.2021	0,017	0,064	0,157	0,027	0,053	0,130	0,090	0,023	0,155	0,119
26.10.2021	0,011	0,110	0,028	0,086	0,054	0,068	0,088	0,023	0,033	0,089
27.10.2021	0,012	0,013	0,040	0,018	0,036	0,024	0,130	0,045	0,033	0,105
28.10.2021	0,011	0,119	0,013	0,069	0,092	0,076	0,097	0,064	0,065	0,050
29.10.2021	0,011	0,115	0,150	0,086	0,084	0,084	0,142	0,031	0,038	0,063
30.10.2021	0,011	0,096	0,126	0,013	0,082	0,041	0,110	0,036	0,049	0,083
31.10.2021	0,011	0,042	0,042	0,016	0,023	0,060	0,066	0,025	0,018	0,138
PRŮMĚR	0,031	0,096	0,074	0,054	0,057	0,089	0,099	0,030	0,080	0,098



ŠKODA

mlčenlivosti způsobí přivodit Zaměstnavateli újmu. Jedná se především o takové informace, které by při neoprávněném nakládání mohly způsobit Zaměstnavateli škodu (zejména obchodní tajemství, osobní a ekonomické údaje, technická data, výkresy, technologie, ceny, údaje o obchodních partnerech a další organizační, výrobní a obchodní skutečnosti). Současně je Zaměstnanec povinen dodržovat mlčenlivost i o bezpečnostních opatřeních sloužících k jejich zabezpečení. V případě porušení povinnosti mlčenlivosti je Zaměstnavatel oprávněn vymáhat náhradu škody podle ustanovení Zákoníku práce a v případě, že Dohoda o pracovní činnosti již skončila, podle obecných právních předpisů o náhradě škody. Porušení této povinnosti může být dále ze strany Zaměstnavatele posouzeno jako závažné, popř. zvlášť hrubé porušení povinnosti vyplývající z právních předpisů vztahujících se k vykonávané práci. V případě střetu zájmů mezi Zaměstnavatelem a osobou jednající s ním ve shodě nebo jinak se Zaměstnavatelem spojenou je Zaměstnanec povinen přednostně hájit zájmy Zaměstnavatele.

11. Zvláštní ujednání o výkonu výzkumné činnosti a zpracování disertační práce

- 11.1. Zaměstnavatel a Zaměstnanec se dohodli, že Zaměstnavatel, za podmínek stanovených v této Dohodě o pracovní činnosti, Zaměstnanci umožní využití poznatků získaných v rámci odborné podpory projektu pro zpracování disertační práce.
- 11.2. Zpracování disertační práce probíhá vždy pod dohledem vedoucího závěrečné práce. Zaměstnanec je povinen dodržovat pokyny vedoucího při zpracování disertační práce. Odpovědným vedoucím disertační práce je **Hubert Pavelek**.
- 11.3. Vedoucí disertační práce seznámí Zaměstnance v potřebném rozsahu s tematickým okruhem disertační práce a s konkrétními interními zdroji Zaměstnavatele, z nichž může Zaměstnanec získávat poznatky pro svou disertační práci.
- 11.4. Zaměstnavatel si vyhrazuje výlučné právo na využití všech výsledků činností spojených s vypracováním disertační práce, a to včetně disertační práce samotné. Smluvní strany konstatují, že činnosti uvedené v předešlé větě jsou zaměstnaneckým dílem podle zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.
- 11.5. Zaměstnanec se v souvislosti se zpracováním disertační práce zavazuje zdržet jakékoli činnosti, která by mohla poškodit dobré jméno Zaměstnavatele.
- 11.6. Zaměstnanec je povinen před odevzdáním disertační práce požádat o schválení práce vedoucím závěrečné práce, který rozhodne, zda jsou informace použité v disertační práci v souladu s interními předpisy Zaměstnavatele a Zaměstnanec je oprávněn tyto informace v závěrečné (disertační) práci použít.



ŠKODA

12. Závěrečná ustanovení

- 12.1. *Ustanovení neupravená touto Dohodou o pracovní činnosti se řídí právními předpisy České republiky.*
- 12.2. *Zaměstnanec a Zaměstnavatel se dohodli, že Zaměstnavatel bude zasílat Zaměstnanci odměnu na osobní účet u peněžního ústavu. Zaměstnanec sdělí Zaměstnavateli číslo účtu ke dni podpisu této Dohody o pracovní činnosti, popř. po dohodě se Zaměstnavatelem v přiměřené lhůtě.*
- 12.3. *Jakékoliv změny a doplňky této Dohody o pracovní činnosti musí být se souhlasem obou Smluvních stran a v písemné formě.*
- 12.4. *Pokud jedno nebo více ustanovení této Dohody o pracovní činnosti pozbuje jakýmkoliv způsobem platnosti, stane se protiprávním nebo nevynutitelným, není tím nijak dotčena ani narušena platnost, právní váha a vynutitelnost jiných v ní obsažených ustanovení.*
- 12.5. *Tato Dohoda o pracovní činnosti se uzavírá ve dvou vyhotoveních, z nichž každá Smluvní strana obdrží po jednom.*
- 12.6. *Zaměstnavatel a Zaměstnanec prohlašují, že se s Dohodou o pracovní činnosti seznámili, jejímu obsahu a znění rozumí, a že je uzavřena na základě jejich svobodné a skutečné vůle, určitě a vážně, nikoliv v tísni za nápadně nevýhodných podmínek, na důkaz toho připojují níže své podpisy.*
- 12.7. *Zaměstnavatel a Zaměstnanec prohlašují, že se s Dohodou o pracovní činnosti seznámili, jejímu obsahu a znění rozumí, a že je uzavřena na základě jejich svobodné a skutečné vůle, určitě a vážně, nikoliv v tísni za nápadně nevýhodných podmínek, na důkaz toho připojují níže své podpisy.*

II. Závěrečná ustanovení

- II.I. *Tato Dohoda se uzavírá ve dvou vyhotoveních, z nichž každá Smluvní strana obdrží po jednom.*
- II.II. *Obsah této Dohody je možné měnit nebo doplňovat pouze písemnou formou na základě vzájemné dohody obou Smluvních stran.*
- II.III. *Pokud jedno nebo více ustanovení této Dohody pozbuje jakýmkoliv způsobem platnosti, stane se protiprávním nebo nevynutitelným, není tím nijak dotčena ani narušena platnost, právní váha a vynutitelnost jiných v ní obsažených ustanovení.*
- II.IV. *Smluvní strany prohlašují, že se s Dohodou seznámily, jejímu obsahu a znění rozumí, a že je uzavřena na základě jejich svobodné a skutečné vůle, určitě a vážně, nikoliv v tísni za nápadně nevýhodných podmínek, na důkaz toho připojují níže své podpisy.*

Dokument zpracoval: Karolína Hermanová (STR)
Důvěrné/Confidential/Vertraulich

6/7



ŠKODA

Mladá Boleslav dne 09. 12. 2021

V Mladé Boleslavi dne 09. 12. 2021

za Zaměstnavatele
Petra Meliška, MBA

Mladá Boleslav dne 09. 12. 2021

Zaměstnanec
Ing. Veronika Štekerová

za Zaměstnavatele
Ing. Karolína Hermanová

Na vědomí vzal:

Vedoucí práce

Dokument zpracoval: Karolína Hermanová (STR)
Důvěrné/Confidential/Vertraulich

1/1