

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



VÝROBA A ŽIVOTNÍ CYKLUS LITHIOVÝCH BATERIÍ PRO
ELEKTROMOBILY A JEJICH DOPAD NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

ZPRACOVAL: Jakub Macháček

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Macháček

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Výroba a životní cyklus lithiových baterií pro elektromobily a jejich dopad na životní prostředí

Název anglicky

Production and life cycle of lithium batteries for electric vehicles and their impact on the environment

Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude představení elektromobility a její dopad na životní prostředí. Konkrétně se zaměří na náročnost výroby baterií a jejich životního cyklu. Dále práce bude zahrnovat další využití baterií po ukončení provozu elektromobilu a následnou recyklaci.

Metodika

Informace k bakalářské práci budou získávány z odborné literatury a internetových zdrojů.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu

Klíčová slova

Elektromobilita, baterie, životní prostředí, elektrický proud

Doporučené zdroje informací

Electric Vehicle Machines and Drives, K. T. Chau, 2015

Eletromobilita, Frivadský Michal, 2020

Hybridní a elektrické pohony automobilů, Kamaš Josef, 2015

Lithium-Ion batteries for Electric Vehicles, Pierfrancesco Spagnol, Sergio M. Savaresi, 2010



Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 5. 12. 2022

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 12. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci pod vedením doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D. s názvem Výroba a životní cyklus lithiových baterií pro elektromobily a jejich dopad na životní prostředí jsem vypracoval zcela samostatně a veškeré informační zdroje, které byly v práci využity, jsem řádně citoval. Zdroje jsou vypsány v seznamu informačních zdrojů na konci práce.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 27.3.2024

Podpis:

Poděkování

Upřímně děkuji doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Také děkuji mé rodině za podporu.

Abstrakt

Elektromobilita, klíčový prvek udržitelné dopravy, je zkoumána v této bakalářské práci s důrazem na její vliv na životní prostředí, zejména v kontextu výroby baterií. Práce začíná komplexním představením elektromobility a analyzuje její výhody a nevýhody. S ohledem na ekologii se soustředí na náročnost výroby baterií, sleduje životní cyklus a zkoumá možnosti recyklace.

Důsledně popisuje proces výroby baterií od těžby surovin po vytvoření elektromobilu, nabízí čtenáři komplexní pohled na ekonomický řetězec elektromobility. Srovnává ekologickou stopu elektromobilů s tradičními vozidly, zahrnující nejen výrobní fázi, ale také provozní aspekty, s cílem posoudit ekologickou udržitelnost elektromobility.

Závěrečná část shrnuje poznatky a interpretuje je, nabízí ucelený pohled na elektromobilitu a podněcuje k diskusi o ekologické budoucnosti dopravy. Přestože elektromobilita přináší výhody, práce zdůrazňuje klíčové problémy, včetně závislosti na lithium-iontových bateriích a energetické náročnosti výroby a recyklace baterií. Otázky týkající se dojezdové vzdálenosti a infrastruktury nabíjecích stanic jsou také diskutovány v kontextu praktického uplatnění elektromobility.

Klíčová slova: baterie, elektromobilita, životní prostředí, těžba surovin

Abstract

Electromobility, a key element of sustainable transport, is examined in this bachelor's thesis with an emphasis on its impact on the environment, especially in connection with battery production. The work begins with a comprehensive presentation of electromobility and analyzes its advantages and disadvantages. With regard to ecology, it focuses on the complexity of battery production, monitors the life cycle and explores recycling options.

It consistently describes the battery production process from the extraction of raw materials to the creation of the electric car and offers the reader a comprehensive view of the economic chain of electric mobility. It compares the ecological footprint of electric cars with traditional vehicles, covering not only the production phase but also operational aspects, in order to assess the ecological sustainability of electromobility.

The final part summarizes the findings and interprets them, offers a comprehensive view of electromobility and encourages a discussion about the ecological future of transport. While there are benefits to electromobility, the work highlights key issues, including reliance on lithium-ion batteries and the energy intensity of battery manufacturing and recycling. In the context of the practical application of electromobility, questions related to the range and infrastructure of charging stations are also discussed.

Keywords: battery, elektromobility, environment, extraction of raw materials

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíle práce	11
3. Metodika	11
4. Literární rešerše	12
4.1. Elektromobilita	12
4.1.1. Historie	12
4.1.2. Rozvoj	12
4.1.3. Výroba	14
4.2. Hybridní pohony	14
4.3. Výroba elektrické energie	14
4.3.1. Obnovitelné zdroje	14
4.4. Infrastruktura	15
4.4.1. Infrastruktura v ČR	15
4.4.2. Infrastruktura ve světě	16
4.4.3. Nabíjení	16
4.5. Emise	20
4.5.1. Emise při výrobě elektřiny	23
4.5.2. Emise při výrobě akumulátoru	23
4.6. Akumulátory	24
4.6.1. Vývoj	24
4.6.2. Výroba	25
4.6.3. Druhy baterii	25
4.6.4. Konstrukce baterií	26
4.6.5. Kapacita baterií	27
4.6.6. Životnost baterie	27
4.6.7. Recyklace	27
4.7. Životní prostředí	28
4.7.1. Těžba vzácných kovů	28
4.8. Propagace elektromobility	30
4.8.1. EU – Green Deal	30
5. Výsledné zhodnocení	32
5.1. Ekologická stopa, porovnání se spalovacími automobily	32
5.2. Baterie	32
5.3. Výhody elektromobility	33
5.4. Nevýhody elektromobility	34
5.5. Náklady na provoz	34
5.6. Dopad na životní prostředí	35
6. Diskuse	36

7. Závěr a přínos práce	37
7.1. Celkové zhodnocení	37
8. Přehled literatury a použitých zdrojů	38
9. Seznam obrázků	42
10. Seznam grafů	42
11. Seznam tabulek	42

1. Úvod

Elektromobilita, jakožto inovativní a perspektivní oblast v oblasti dopravy, představuje klíčový prvek diskuse o udržitelnosti a ochraně životního prostředí. Tato bakalářská práce si klade za cíl důkladně prozkoumat elektromobilitu, analyzovat její výhody, nevýhody a především zhodnotit její dopad na životní prostředí s zaměřením na výrobu baterií.

V úvodu této práce se zaměřím na komplexní představení elektromobility a výčet jejích klíčových prvků. Rovněž se budu zabývat širokým spektrem otázek, jako jsou výhody, nevýhody a samotný dopad na životní prostředí. S důrazem na ekologické aspekty se detailně zaměřím na náročnost výroby baterií, sledování jejich životního cyklu a poté se zamyslím nad výzvami a možnostmi recyklace baterií.

Průběžně budu popisovat celý proces výroby baterií, začínající od těžby surovin, přes výrobní fáze až po konečný produkt v podobě elektromobilu. Tímto způsobem se pokusím poskytnout čtenáři komplexní pohled na celý ekonomický řetězec spojený s elektromobilitou.

Dalším důležitým bodem mého výzkumu bude srovnání ekologické stopy elektromobilů s tradičními spalovacími automobily. Porovnáám nejen výrobní fázi, ale také provozní aspekty obou typů vozidel, abych mohl objektivně vyhodnotit, nakolik elektromobilita představuje ekologickou alternativu.

V závěru této bakalářské práce bude provedeno shrnutí získaných poznatků a jejich interpretace, s cílem poskytnout ucelený pohled na problematiku elektromobility. Jejím hlavním cílem je shromáždit co nejvíce relevantních informací a podnítit diskusi o udržitelném a ekologickém budoucnosti dopravy. Elektromobilita se tak stává neodmyslitelnou součástí hledání nových, ekologických způsobů dopravy v rámci společnosti i celosvětově.

Přestože elektromobilita nabízí mnoho výhod, nevyhýbá se ani několika klíčovým problémům, které je třeba pečlivě zkoumat.

Jedním z hlavních problémů je závislost na lithium-iontových bateriích, které jsou základem elektrických vozidel. Tato technologie má své omezení v souvislosti s dostupností surovin, zejména lithia a kobaltu, které jsou klíčové pro výrobu těchto baterií. Omezené zásoby těchto surovin mohou ovlivnit stabilitu dodavatelských řetězců a zvýšit náklady na výrobu baterií.

Dalším problémem je otázka energetické náročnosti výroby a recyklace baterií. I když elektromobily mohou být při provozu mnohem energeticky efektivnější než vozidla s vnitřním spalovacím motorem, výroba a recyklace baterií vyžadují významnou množství energie. Tato otázka je klíčová při hodnocení celkového environmentálního dopadu elektromobility. Problémy týkající se dojezdové vzdálenosti a infrastruktury nabíjecích stanic jsou také na pořadu dne. Ačkoliv technologie baterií postupně pokračuje v zvyšování dojezdové vzdálenosti elektromobilů, stále existují obavy o jejich praktičnost, zejména při dlouhých cestách. Nedostatek dobře vyvinuté infrastruktury nabíjecích stanic může brzdit rozvoj elektromobility a omezovat její přijetí veřejností.

2. Cíle práce

Cílem práce je důkladně prozkoumat výrobu a životní cyklus lithiových baterií pro elektromobily se zaměřením na jejich dopad na životní prostředí. Hlavními cíli práce jsou podrobné analýzy výroby lithiových baterií a zhodnocení procesu jejich recyklace. Práce se také zaměří na ekologickou stopu provozu elektromobilu, porovná výhody a nevýhody elektromobility oproti vozidlům poháněným na fosilní paliva. Cílem je poskytnout ucelený pohled na environmentální aspekty elektromobility a přispět diskusí o udržitelnosti a ekologické budoucnosti dopravy.

3. Metodika

Metodický postup řešení se skládá z prostudování literatury, norem, internetových článků, odkazů a dalších pramenů. Provedení literární rešerše životního cyklu lithiových baterií s výrobou i následnou recyklací.

V první fázi se definují hlavní cíle a klíčových otázek. Následuje literární rešerše, která se soustředí na existující literaturu týkající se elektromobility, včetně odborných článků a knih. Tato fáze také zahrne identifikaci vlivu různých technologických metod na životní prostředí.

Práce dále podává komplexní představení elektromobility, zahrnující historii a klíčové prvky tohoto konceptu. Analyzuje se jak výhody, například energetická účinnost, tak nevýhody elektromobility, jako jsou omezené dojezdové vzdálenosti a infrastrukturní dostupnost.

Zvláštní pozornost je věnována vlivu elektromobility na životní prostředí, přičemž důraz je kladen na výrobu lithiových baterií. Bakalářská práce zkoumá náročnost výroby těchto baterií, sleduje jejich životní cyklus a posuzuje možnosti recyklace.

V závěru dochází k sumarizaci klíčových zjištění a interpretaci výsledků, s diskusí o přínosu elektromobility pro udržitelnost a jejím dopadu na životní prostředí. Bakalářská práce končí závěrečným zhodnocením a osobním vyjádřením autora na udržitelnost elektromobility a její budoucí roli v oblasti dopravy.

4. Literární rešerše

4.1. Elektromobilita

Elektromobilita představuje alternativní řešení pro pohyb dopravních prostředků za pomoci elektrické energie. Tato forma dopravy obsahuje široké spektrum vozidel. Diskuse kolem elektromobility se v posledních letech stala předmětem intenzivního zájmu. Tím, že umožňuje ekologičtější dopravu, odpovídá tlaku západní společnosti na udržitelnou a ekologicky ohleduplnou mobilitu. Dnešní automobilový průmysl se dostává do fáze, kdy elektrická vozidla dosahují technických parametrů srovnatelných s vozidly poháněná na fosilní paliva.

4.1.1. Historie

Nejstarší zmínky v oblasti elektromobility sahají až do první poloviny 19. století. Skotský vynálezce Robert Anderson v roce 1839 vynalezl jeden z prvních elektromobilů. Byl to vozík poháněný elektrickým proudem. Kvůli malé kapacitě baterie a nemožnosti je nabíjet nastal úpadek v oblasti elektromobility. Jízda těmito elektromobily se stala finančně velmi náročná, protože po každém vybití bylo nutné baterii vyměnit. Francouzský fyzik Gaston Planté v roce 1859 sestrojil olověné baterie, které bylo možné opětovně nabíjet. Ke konci 19. století tvořili elektromobily v USA 30 % veškerých vozidel. V New Yorku dokonce v roce 1897 jezdili první elektrické taxi. O dva roky později belgický konstruktér a podnikatel Camille Jenatton pokořil dosud pomyslnou hranici 100 km/h ve svém elektromobilu nesoucí název „La Jamais Contente“. Český vynálezce František Křížík sestrojil v roce 1895 svůj první elektromobil. Vůz byl poháněn jednosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW a napájen byl pomocí olověného akumulátoru.

Úpadek elektromobilů nastal po roce 1900, kdy je začali nahrazovat automobily se spalovacími motory. Pokles zájmu způsobil Henry Ford, který začal vyrábět vozy se spalovacím motorem, a kvůli levnějším součástkám byla pořizovací cena nižší než pořizovací cena elektromobilu. V té době byly baterie drahé a elektromobil kvůli tomu nesrovnatelně dražší než auto se spalovacím motorem. Faktory jako nízká cena pohonných hmot v důsledku objevení nových ložisek ropy a vynalezení elektrického startéru v roce 1912 způsobily další pokles zájmu o elektromobily. (KEVIN A. WILSON, 2023)

Využití elektromobilů se v následujících letech omezilo většinou na městskou hromadnou dopravu a průmysl. V období druhé světové války vznikali tzv. ropné šoky, což znamenalo výpadek v dodávkách ropy. Začali se hledat nové alternativní způsoby dopravy. Lidé si začali uvědomovat, svoji závislost na ropě a také fakt, že její zásoby jsou vyčerpateľné. Automobilové společnosti neměly zájem zařazovat elektromobily do své sériové výroby. Aktivně se začalo hovořit o elektromobilech až v souvislosti s negativním dopadem spalovacích motorů na životní prostředí a se znečištěním výfukovými plyny.

Nicméně, počátkem 20. století se staly spalovací motory levnějšími a výkonnějšími, což zapříčinilo pokles zájmu o elektromobily. V roce 1990 začali elektromobily znovu nabývat na popularitě, zejména na západní straně USA v Kalifornii. (KEVIN A. WILSON, 2023)

4.1.2. Rozvoj

Současný posun směrem k elektromobilitě je motivován hlavně ekologickými faktory a politickou vůlí. Tento trend je reakcí na globální závislost na ropě a plynu, což posiluje pozice zemí s bohatými nerostnými zásobami surovin, například Rusko a Saudská Arábie.

V minulosti na přelomu 19. a 20. století, se elektromobily vyvíjely rychleji než automobily se spalovacími motory z několika důvodů. Jedním z hlavních důvodů byla snadnost ovládnutí a vyšší komfort jízdy. Na rozdíl od tehdejších spalovacích motorů, které vyžadovaly ruční startování a byly hlučné a složité na ovládnutí. Elektromobily nabízely plynulejší a tichou jízdu. Hlavní překážkou pro rozšíření elektromobilů bylo uskladnění elektrické energie a vyšší pořizovací cena. Kvůli těmto faktorům se ve vývoji automobilového průmyslu nakonec prosadily automobily na fosilní paliva. (Redakce Elektriina.cz, 2018)

Na přelomu 60. a 70. let se Československo zaměřilo na výzkum elektrických alternativ pro automobilový průmysl. V roce 1968 byl Brněnský Výzkumný ústav elektrických strojů pověřen vytvořením městského elektrického automobilu. Tento projekt vyústil ve vývoj vozidla zvaného EMA, což znamená elektrický městský automobil. EMA byla považována za velmi inovativní, s dvěma elektromotory o výkonu 2 kW, umístěnými v každém zadním kole, to odstranilo potřebu diferenciálu. Vozidlo zahrnovalo systém rekuperace energie během brždění, který umožňoval přeměnu kinetické energie zpět na elektrickou energii. Maximální rychlost vozidla byla 50 km/h a dojezd se pohyboval mezi 30 až 50 km v závislosti na stylu jízdy. Bateriová sada měla hmotnost 300 kg. Komfort pro řidiče a spolujezdce byl srovnatelný s tehdejšími brněnskými tramvajemi, včetně sedaček převzatých s těchto vozidel, které byli potaženy koženkou. EMA představovala zajímavá technická řešení, ale bohužel nikdy nebyla uvedena do sériové výroby. V roce 1972 Komunistická strana Československa rozhodla, že elektromobily nejsou potřebné. (Redakce Elektřina.cz, 2018)

Obrázek 1 zobrazuje elektromobil EMA.



Obrázek 1: Elektromobil EMA. (Redakce Elektřina.cz, 2018)

V posledních dvaceti letech se elektromobilita stává významným tématem, přičemž automobilový průmysl dosahuje bodu, kdy se musí vyrovnávat s novými výzvami. Rostoucí enviromentální povědomí veřejnosti a s tím související požadavky na ekologičtější formy dopravy, spolu s pokrokem v technologii elektrických vozů a jejich klíčových součástí, jako jsou akumulátory a elektromotory, přiblížily elektrická vozidla k vozidlům s tradičními spalovacími motory. Dnes již řidiči na silnicích téměř nepoznají rozdíl mezi oběma typy vozidel. Zároveň přispívají vysoké pokuty uložené výrobcům automobilů za nedodržení emisních limitů. Takovéto tendence naznačují pomalý, ale jistý posun automobilového průmyslu k elektrické budoucnosti.

Přední světové automobilové značky již vyhlásily své plány na přechod od vozů se spalovacími motory na plně elektrické nabídky modelů. Automobilka Mercedes-Benz plánuje tuto změnu aplikovat v průběhu několika mála let. Očekává se, že do roku 2025 bude již polovina prodejů společnosti připadat na plně elektrická vozidla a plug-in-hybridy. Do roku 2030 plánuje automobilka nabízet pouze elektromobily na trzích, kde to umožní dostupná infrastruktura. (Eisenstein, 2021)

Plány na přechod na plně elektrická vozidla má mnohem více automobilek. Elektrická budoucnost je také vize koncernu Volkswagen, pod kterou spadají značky Škoda, Audi, Seat a Bentley. (Eisenstein, 2021)

4.1.3. Výroba

Výroba elektromobilů se celosvětově rozrůstá, přičemž se klade důraz na inovace v bateriových technologiích, snižování nákladů a zvyšování efektivity výroby. Automobilky investují do vývoje nových modelů elektromobilů a rozšiřují své výrobní kapacity. Zároveň se zvyšuje poptávka po surovinách pro baterie a komponenty, což stimuluje výzkum v oblasti udržitelných materiálů a recyklace. Celosvětově se také rozvíjí infrastruktura pro nabíjení elektromobilů, což také podporuje přechod na elektromobilitu.

Zjištění skutečného dopadu výroby elektromobilů na životní prostředí může být složité. Automobilové společnosti často nezveřejňují data, která by mohla negativně ovlivnit jejich image, a preferují místo toho zdůrazňovat své udržitelné praktiky a využití solární energie ve svých továrnách. Tento nedostatek transparentních dat činí analýzu celkových emisí z výroby elektromobilů komplexním úkolem. Porovnání emisí CO₂ při výrobě elektromobilů a spalovacích vozů vyžaduje přesná data. Studie naznačují, že výroba spalovacího vozidla vyprodukuje mezi 5 a 10 tunami CO₂, s variabilitou v závislosti na velikosti vozidla a místě výroby. Nejvíce energie vyžaduje výroba karoserie, která tvoří přibližně 45-50 % celkových emisí, zatímco spalovací motor přibližně 20 %.

Automobilka Tesla uvedla, že v roce 2017 vyprodukovala celkově 282 000 tun CO₂, z čehož 146 000 tun připadlo na výrobu vozidel, to odpovídá 1,4 tuny CO₂ na vozidlo. Při započítání celkových emisí společnosti dosahují 2,7 tuny CO₂ na vozidlo. Tyto údaje nezahrnují emise z výroby baterie, které pro Teslu vyrábí firma Panasonic. V porovnání s nezávislými studiemi se Tesly hodnoty jeví jako optimistické. Právě baterie jsou nejvíce neekologické prvky elektromobilu.

V Číně, která je druhým největším trhem elektromobility, vykazuje výroba běžného spalovacího automobilu 9,7 tun CO₂, s výrazným příspěvkem od výroby karoserie a motoru. Naproti tomu, výroba elektromobilu BYD Yuan EV vypouští přibližně 18 tun CO₂, což je zhruba dvojnásobek emisí. Z dostupných údajů vyplývá, že nákup elektromobilů nemusí mít tak významný přínos pro životní prostředí, jak se očekávalo, hlavně kvůli přesunutí emisí mimo města. Existuje možnost snížit emise z výroby elektrické energie, to by mohlo zlepšit celkovou uhlíkovou stopu elektromobilů. Otázka zůstává, zda se podobný pokrok projeví i v těžbě surovin v Kongu a Jižní Americe.

4.2. Hybridní pohony

Hybridní pohony v automobilovém průmyslu představují kombinaci více zdrojů energie, typicky elektrického a spalovacího motoru, to umožňuje efektivnější využití paliva a snižování emisí. Tyto systémy se liší podle konkrétního uspořádání a funkce, nabízejí různé stupně využití elektromotoru a nabíjejí se různými způsoby. Od plně paralelních, přes sériové až po sériově-paralelní hybridy, každý typ má své specifické vlastnosti a využití v různých jízdních režimech. Hybridní technologie tak představují klíčový krok k udržitelnější dopravě.

4.3. Výroba elektrické energie

Výroba elektrické energie se odvíjí od proměny různých druhů energie na elektricitu, která je následně distribuována do energetické sítě. Existují způsoby, jak lze tuto energii produkovat, v závislosti na využitých zdrojích. Neobnovitelné zdroje zahrnují fosilní paliva a jadernou energii, které jsou široce využívány, ač přinášejí s sebou enviromentální a bezpečnostní výzvy, včetně emisí skleníkových plynů a problémů s nakládáním s radioaktivním odpadem. (Ing. Josef Hodbodř, 2022)

4.3.1. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje energie, jako jsou sluneční záření, vítr, voda, geotermální energie a biomasa, představují udržitelnější alternativy. Tyto zdroje jsou prakticky nevyčerpatelné a jejich využívání je spojeno s minimálním dopadem na životní prostředí. Solární panely přeměňují sluneční světlo na elektrickou energii, větrné elektrárny používají kinetickou energii větru, vodní elektrárny produkují energii z pohybu vody, geotermální elektrárny využívají teplo z hlubin Země a biomasa je zdrojem energie z organických materiálů. Vzhledem k rostoucímu

důrazu na ochranu klimatu a snižování skleníkových plynů se očekávám že význam obnovitelných zdrojů energie bude v budoucnu dále růst. (Ing. Josef Hodbod, 2022)

Tyto technologie nejenže snižují emise skleníkových plynů a neznečišťují, ale také podporují ekonomický růst, vytvářejí nová pracovní místa a zvyšují energetickou bezpečnost tím, že snižují závislost na dovozu fosilních paliv. Investice do obnovitelných zdrojů energie jsou klíčové pro dosažení globálních cílů v oblasti klimatu a udržitelného rozvoje, což naznačuje jejich význam v energetické budoucnosti.

4.4. Infrastruktura

Jedním z klíčových faktorů, které stojí v cestě širšímu přijetí elektromobility, je infrastruktura. Aby se elektromobily mohly stát běžnějšími, je nezbytné vylepšit a přizpůsobit stávající distribuční síť pro potřeby jejich nabíjení. To zahrnuje rozšíření sítě veřejných nabíjecích stanic a jejich standardizaci, což v současnosti zahrnuje hlavně dva typy konektorů pro nabíjení: CHAdeMO a CCS. Klíčovým prvkem pro efektivní fungování této infrastruktury je vzájemné propojení vozidel, která by sdílela informace o úrovni svých baterií a vzorce jejich využívání. Tato vozidla by pak mohla působit jako integrovaná součást sítě, umožňující vyrovnávat výkyvy v energetické síti prostřednictvím inteligentního rozložení doby nabíjení nebo dokonce vrácením energie zpět do sítě. Tento koncept je známý pod názvem „smart grids“ – chytré sítě. (Mgr. Iva Zvěřinová et al., 2019)

4.4.1. Infrastruktura v ČR

Infrastruktura pro elektromobilitu v České republice prochází dynamickým rozvojem, stejně jako ve zbytku Evropy. S rostoucím počtem elektromobilů na silnicích se zvyšuje i potřeba dostatečné nabíjecí infrastruktury. V ČR se tak objevuje stále více nabíjecích stanic, včetně rychlonabíjecích, které jsou důležité pro dlouhé cesty. (OENERGETICE.CZ, 2024)

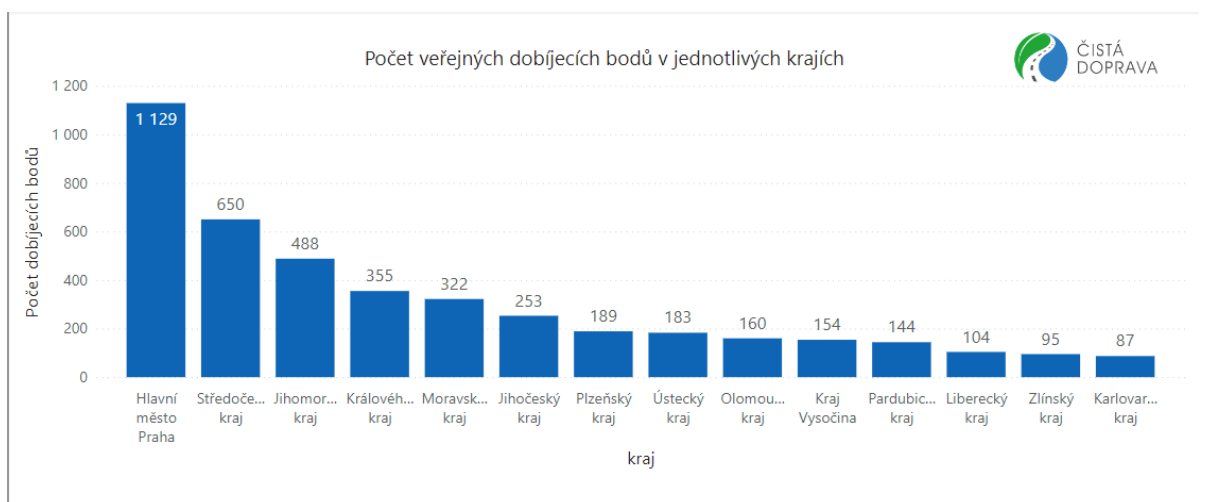
V České republice je evidováno několik tisíc nabíjecích bodů, a počet stanic stále roste. Stanice se nachází ve městech, u obchodních center, hotelů, na veřejných parkovištích nebo u dálnic a rychlostních silnic. (OENERGETICE.CZ, 2024)

Česká vláda a místní samosprávy podporují rozvoj infrastruktury pro elektromobilitu různými způsoby, včetně finančních dotací a legislativních opatření. Existují také iniciativy a projekty zaměřené na rozšíření nabíjecích stanic, zejména v městských oblastech a na klíčových trasách napříč zemí. (OENERGETICE.CZ, 2024)

Ačkoliv infrastruktura pro elektromobilitu v ČR rychle roste, stále existují výzvy, jako je nedostatečná kapacita v některých oblastech, potřeba vyššího počtu rychlonabíjecích stanic a zajištění rovnoměrného pokrytí nabíjecí sítě po celé republice. (OENERGETICE.CZ, 2024)

Rozvoj infrastruktury pro elektromobilitu v České republice je klíčový pro podporu přechodu na udržitelnější formy dopravy, snížení CO₂ a zlepšení kvality ovzduší. S pokračujícím technologickým pokrokem, snižováním nákladů na elektromobily a zvyšování povědomí o výhodách elektromobility je očekáván další růst počtu elektromobilů a zlepšování infrastruktury pro jejich nabíjení. (OENERGETICE.CZ, 2024)

Na grafu 1 lze vidět nárůst počtu veřejných nabíjecích stanic podle krajů.



Graf 1: Počet veřejných dobíjecích bodů v jednotlivých krajích (Čistá doprava & Centrum dopravního výzkumu, 2023)

4.4.2. Infrastruktura ve světě

Infrastruktura pro elektromobilitu se na celém světě rychle rozvíjí, aby byla schopna podporovat stále rostoucí počet elektrických vozidel. Motivace jsou například snížení emisí skleníkových plynů, zlepšení kvality ovzduší ve městech a snížení závislosti na fosilních palivech. Rozvoj infrastruktury se liší region od regionu, ale existuje několik klíčových trendů a iniciativ, které mají globální význam. (Vejman, 2023)

Vysokovýkonné rychlonabíjecí stanice jsou klíčové pro podporu dlouhých cest a zvyšování pohodlí uživatelů elektromobilů. Iniciativy jako Tesla Supercharger, Ionity v Evropě, a síť Electrify America v USA ukazují snahu o zřízení rozsáhlých sítí rychlonabíjecích stanic. Tyto sítě nabízejí vysoké výkony nabíjení, někdy přesahují 350 kW, to umožňuje uživatelům nabití vozidla během několika minut. (Vejman, 2023)

Vlády a soukromé společnosti po celém světě investují do rozšiřování sítě veřejných nabíjecích stanic. Evropská unie, Čína a USA jsou předními příklady, které usilovně investují do výstavby rozsáhlých sítí veřejných nabíjecích stanic. (Vejman, 2023)

Standardizace nabíjecích konektorů je důležitá pro zjednodušení procesu nabíjení a zajištění kompatibility mezi různými vozidly a nabíjecími stanicemi. Přestože existuje několik různých standardů (CSS, CHAdeMO, Tesla Supercharger), svět směřuje k větší unifikaci, s CSS se stávajícím dominantním standardem v Severní Americe a Evropě. (Vejman, 2023)

Vládní politiky, dotace hrají klíčovou roli v rozvoji infrastruktury. Některé země nabízejí finanční podporu pro instalaci nabíjecích stanic, snížené daně nebo dokonce přímé dotace pro nákup elektrického vozidla. Vlády podporují adopci elektromobilů, ale také motivují podniky a developerské společnosti k investicím do nabíjecí infrastruktury. (Vejman, 2023)

4.4.3. Nabíjení

Nabíjecí stanice pro elektromobily se klasifikují na základě typu proudu: střídavý – AC a stejnosměrný – DC.

- AC nabíjení

Střídavý proud, běžně dostupný v 230 V zásuvkách, mění svou amplitudu do kladných a záporných hodnot a je využíván v různých domácích spotřebičích, a i pro nabíjení elektromobilů. Nabíjení elektromobilů pomocí střídavého proudu vyžaduje převodník na stejnosměrný proud, což vede k pomalejšímu nabíjení kvůli nutné transformaci energie. Až poté se dobíjí baterie.

- DC nabíjení

Stejnoseměrný proud je typický pro zařízení s elektronickými obvody, včetně palubních počítačů automobilů. Baterie vždy ukládají energii ve formě stejnosměrného proudu, to znamená, že všechna zařízení poháněná na baterie, včetně elektromobilů fungují na stejnosměrném proudu. Nabíjení elektromobilů pomocí stejnosměrného proudu umožňuje přímé dodávání energie do baterie bez nutnosti transformace, to vede k výrazně rychlejšímu nabíjení ve srovnání s používáním standardních veřejných stanic nebo domácích zásuvek.

Rychlonabíječky nabízejí výkon od 40kW do 100kW a jsou známé pod pojmy jako fast, quick nebo rapid chargers. Vyrábějí je různé společnosti a pro svůj vysoký výkon využívají specifické konektory, jako je CHAdeMO pro USA a Japonsko, zatímco v České republice se často používá konektor Mennekes.

- Konektory

Konektory pro elektromobily jsou klíčové součásti infrastruktury pro nabíjení, umožňují přenos elektrické energie z nabíjecí stanice do elektrického vozidla. Existuje několik typů konektorů, které se liší podle zeměpisné oblasti, výkonu nabíjení a kompatibility s vozidly.

Zde jsou nejběžnější typy:






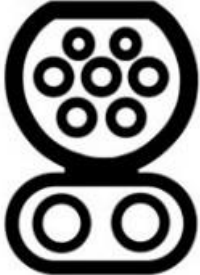
- Yazaki – používaný převážně v Severní Americe a některých asijských zemích pro standardní AC nabíjení. Má pět pinů a je schopen podporovat až 19,2 kW. (Evexpert, 2022)
- Mennekes – široce používaný v Evropě a je kompatibilní s většinou elektrických vozidel v této oblasti. Tento konektor podporuje AC nabíjení a je schopen přenášet větší výkon, typický až 43 kW pro AC a až 350 kW pro DC rychlonabíjení ve své modifikované formě. (Evexpert, 2022)
- CHAdeMO – Japonský standart pro rychlé DC nabíjení, který podporuje bidirekční nabíjení (umí přenášet energii zpět do sítě). CHAdeMO konektory mohou nabídnou výkon až 63,5 kW, s nejnovějšími specifikacemi, které umožňují vyšší výkon. (Evexpert, 2022)
- Tesla Supercharger – exkluzivní pro vozidla značky Tesla, takové konektory nabízejí jedny z nejvyšších rychlostí nabíjení dostupných na trhu, až 250 kW. Tesla začíná nabízet adaptéry, které umožňují vozidlům s konektory typ 2 využívat jejich Superchargery v některých regionech. (Evexpert, 2022)
- CSS – Combined Charging System kombinuje AC nabíjecí konektory s typem 1 nebo typem 2 s dvěma dalšími piny pro rychlé DC nabíjení. CSS je rozděleno na verze CSS1 (používáno v Severní Americe) a CSS2 (používáno v Evropě). (Evexpert, 2022)
- GB/T – standard používaný v Číně pro AC i DC nabíjení, s odlišnými konektory pro obě metody. Konektory pro DC nabíjení mohou podporovat vysoké výkony, podobně jako ostatní mezinárodní standardy. (Evexpert, 2022)

S rostoucí adopcí elektrických vozidel a zlepšováním technologií nabíjení se očekává další standardizace a zlepšení v oblasti konektorů a nabíjecích systémů.

Obrázky 2 a 4 ukazují typy konektorů pro nabíjení elektromobilů.



Obrázek 2: Dobíjecí konektor typu GB/T (Attorney general's department, 2024)

Střídavý proud AC	Stejnoseměrný proud DC	Kombinovaný (CSS)
Typ 1 Yazaki (Japonsko/USA) 	CHAdeMO (Japonsko/USA) 	Typ 1 CSS (Japonsko/USA) 
Typ 2 Mennekes (Evropa) 	Tesla Supercharger (Japonsko/USA) 	Typ 2 CSS (Evropa) 

Obrázek 3: Dobíjecí konektory pro elektromobily (a.s, 2018)

- Domácí nabíjecí stanice

Domácí nabíječky pro elektromobily jsou klíčové pro vlastnění elektromobilu, poskytují pohodlí a efektivitu nabíjení přímo u domova. Nabíječky umožňují nabíjení v různých výkonnostních úrovních a nabízejí různé funkce, aby vyhovely specifickým potřebám uživatelů.

Základní nabíjení tzv. Level 1 – nejjednodušší nabíjení a taky zároveň nejpomalejší možnost nabíjení, který využívá standardní domácí zásuvky (120 v v USA, 230 V v Evropě a většině ostatních zemí). Level 1 nabíječky nepotřebují obvykle speciální instalaci a jsou vhodné pro nabíjení přes noc, přidávají 8 až 15 km dojezdu za hodinu nabíjení.

Vylepšení nabíječky tzv. Level 2 – nabízejí mnohem rychlejší nabíjení a vyžadují speciální instalaci nabíjecí stanice. Takové stanice mohou nabídnout přibližně 25 až 50 km dojezdu za hodinu nabíjení. Ideální pro noční dobíjení nebo rychlejší doplnění během dne.

Pro instalaci level 2 nabíjecí stanice, je často potřeba udělat modernizace domácí elektrických rozvodů, včetně instalace vyhrazeného obvodu.

Při výběru domácí nabíjecí stanice je důležité zvážit typ využívaného elektromobilu, denní dojezd a dostupnost veřejných nabíjecích stanic. Pro většinu uživatelů bude nabíjecí stanice level 2 nejlepší volbou pro rychlejší nabíjení a větší pohodlí.

- **Veřejné nabíjecí stanice**

Veřejné nabíjecí stanice pro elektromobily jsou nezbytnou součástí infrastruktury pro podporu růstu a používání elektromobilů. Stanice umožňují uživatelům elektrických vozidel nabíjet jejich vozidla mimo domov, ať už během cest nebo když jsou na pracovišti nebo při nákupech.

Level 2 – typ poskytující vylepšené nabíjení. Vhodné pro denní použití, kde má uživatel možnost zastavit své vozidlo a nechat nabíjet několik hodin.

DC rychlonabíjecí stanice – tyto stanice nabízejí vysokovýkonné nabíjení pro rychlé dobíjení baterie, obvykle během 20 minut až jedné hodiny. Jsou ideální pro dlouhé cesty, kde je potřeba rychle dobít baterii. Výkon takových stanic se pohybuje od 50 kW až do několika stovek kW, to umožňuje velmi rychlé nabíjení.

Veřejné nabíjecí stanice se nachází na strategických místech, jako jsou nákupní centra, veřejná parkoviště, hotelová parkoviště, kancelářské budovy, a také podél hlavních dálnic a u klíčových dopravních uzlů, aby podporovaly jak městskou, tak dálkovou mobilitu.

Platby na veřejných sítích nabíjecích stanic jsou buď paušální, časově závislé tarify nebo tarify závislé na spotřebě.

Paušální poplatky – uživatelé mohou být účtováni paušálním poplatkem za každé započaté nabíjení.

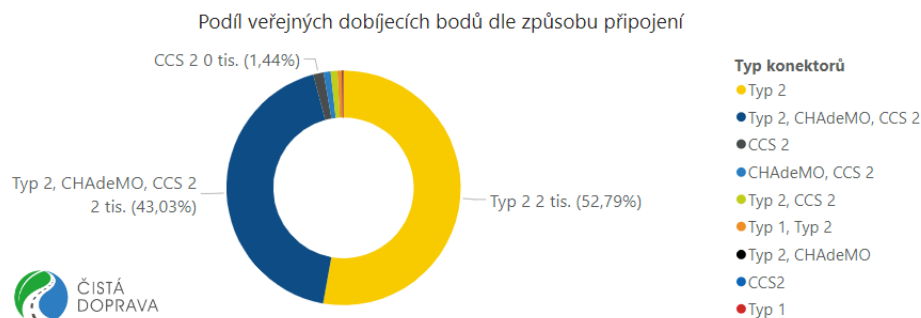
Časově závislé tarify – poplatky vypočítávají na základě doby, po kterou je vozidlo připojeno k nabíječce.

Tarify závislé na spotřebě – poplatky vypočítávají na základě množství přenesené energie (kWh).

Veřejné nabíjecí stanice mohou vyžadovat členství, předplacenou kartu nebo mobilní aplikaci pro přístup k nabíjení. Některé stanice umožňují taky přímé platby prostřednictvím kreditních nebo debetních karet. Kompatibilita s různými typy vozidel a konektory např. CCS, CHAdeMo je důležitá, avšak některé stanice nabízejí více typů nabíjecích konektorů při různé modely elektromobilů.

S rostoucím počtem elektromobilů se zvyšuje i počet veřejných nabíjecích stanic a infrastruktura se bude i nadále rozšiřovat. Bude vyšší výkon nabíjení, lepší dostupnost a pokročilejší technologie, jako je bezdrátové nabíjení nebo robotizované nabíjecí systémy, pro větší efektivitu.

Graf 2 zobrazuje podíl veřejných dobíjecích stanic a jejich typy. Obrázek 4 ukazuje veřejnou nabíjecí stanici od automobilky Tesla.



Graf 2: Podíl veřejných dobíjecích bodů dle způsobu připojení (Čistá doprava & Centrum dopravního výzkumu, 2023)



Obrázek 4: Veřejná nabíjecí stanice od automobilky Tesla (www.benes-michl.cz, 2019)

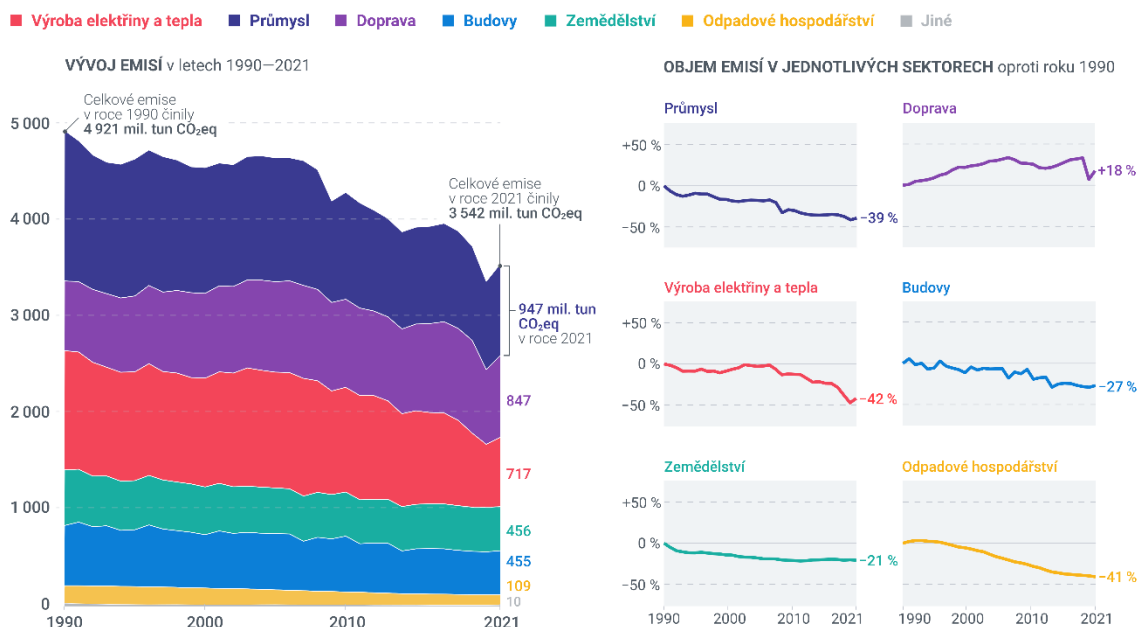
4.5. Emise

Emise se obecně vztahují k uvolňování plynů, částic nebo jiných látek do atmosféry z různých zdrojů, jako jsou průmyslové podniky, motorová vozidla, domácnosti, zemědělství nebo i přírodní procesy jako jsou vulkanické erupce. Z hlediska životního prostředí a veřejného zdraví jsou nejvíce diskutovanými emisemi ty, které obsahují skleníkové plyn, jako je oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O) a fluorované plyny. Plyny přispívají k efektu nazývaného skleníkový efekt, což je přirozený proces, který udržuje naši planetu na života schopné úrovni. Avšak nadměrné množství skleníkových plynů způsobené lidskou činností zesiluje tento efekt, což vede ke globálnímu oteplování a klimatickým změnám.

Kromě skleníkových plynů zahrnují emise také znečišťující látky, které mohou mít bezprostřední dopad na kvalitu ovzduší a lidské zdraví. To mohou být látky oxid síry (SO_x), oxidy dusíku (NO_x), těkavé organické sloučeniny (VOC), pevné částice (PM_{2.5} a PM₁₀) a ozon (O₃). Látky mohou způsobovat respirační a kardiovaskulární problémy, ovlivňovat kvalitu vody a půdy, škodit rostlinám a živočichům.

Snaha o snížení emisí a jejich negativního dopadu na planetu zahrnuje řadu opatření, včetně přechodu na čistší zdroje energie, zlepšení energetické efektivity, snižování spotřeby fosilních paliv a implementaci technologií pro zachycení a ukládání uhlíku. Významnou roli hraje mezinárodní spolupráce a legislativa, například Pařížská dohoda o klimatu, která má za cíl omezit globální oteplování.

Na grafu 3 lze vidět emise skleníkových plynů v EU od roku 1990 do roku 2021.

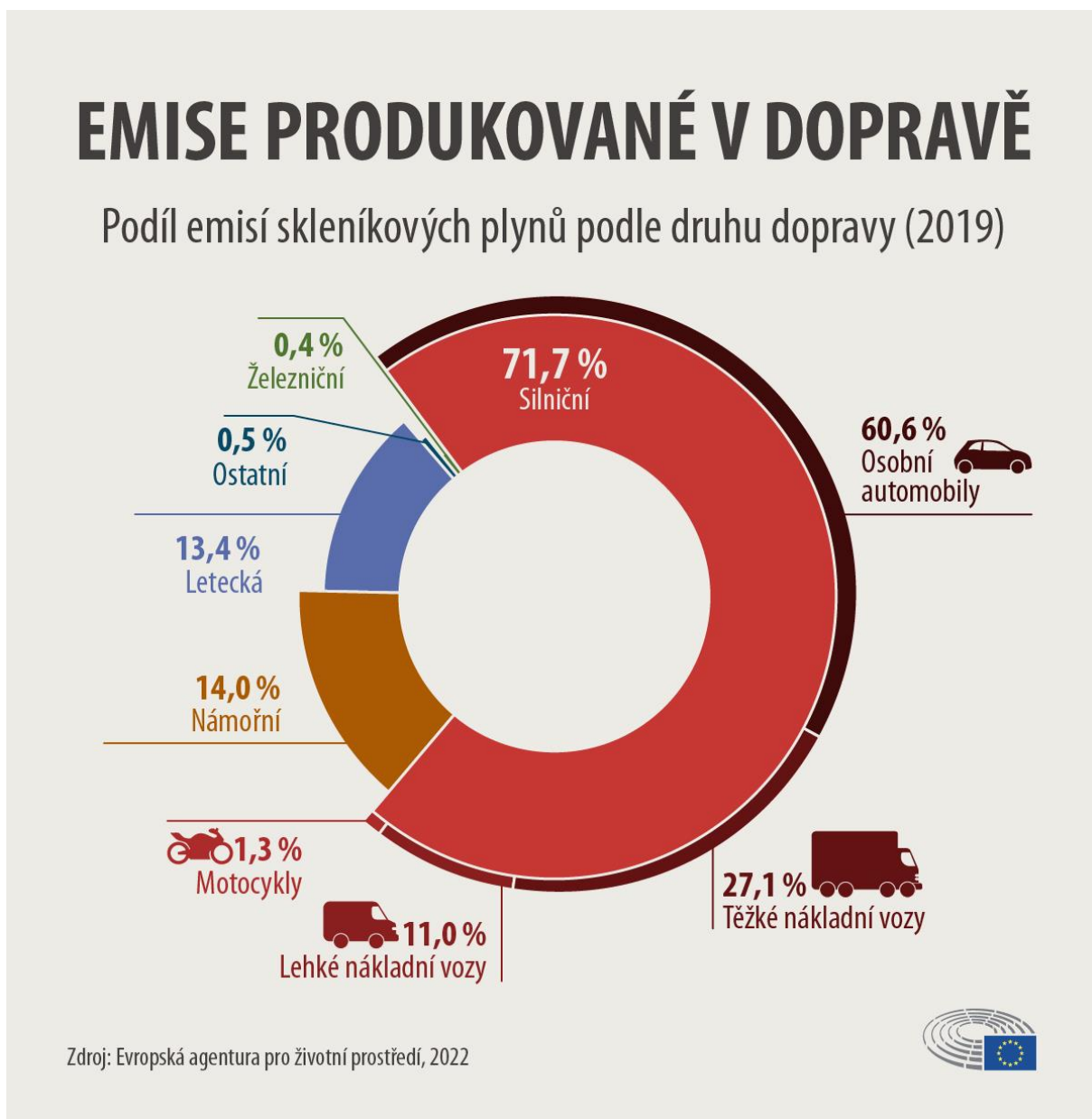


Graf 3: Emise skleníkových plynů v EU v letech 1990-2021 (Fakta o klimatu, 2021)

Na grafu lze vidět, že s výjimkou dopravy, emise v Evropské unie klesají ve všech odvětvích. Emise klesly od 90. let minulého století o 28 %.

- Výroba elektřiny a tepla:**
 Od roku 1990 došlo k poklesu emisí z výroby elektřiny a tepla o 42 % na 710 milionů tun CO₂ ročně, s výraznějším poklesem od roku 2007. V poslední době se tempo snižování emisí zrychluje, to koresponduje s cílem EU dosáhnout do roku 2050 klimatické neutrality. Snižování emisí skleníkových plynů v energetice je možné díky energetickým úsporám a vývoji obnovitelných a nízkouhlíkových zdrojů energie. (Fakta o klimatu, 2021)
- Doprava:**
 Emise z dopravy se od roku 1990 zvýšily o 18 % na 847,2 milionů tun CO₂ ročně, s dočasným poklesem po roce 2007 kvůli finanční krizi. Od roku 2013 emise opět rostou. Většina emisí pochází ze silničních vozidel, přibližně 88 %, letecká doprava přispívá 9 % emisí. Snižování emisí v dopravě je možné přechodem na alternativní paliva, zvýšením podílu hromadné dopravy a snížením počtu vozidel na silnicích, například pomocí spolujízdy nebo prací z domova. (Fakta o klimatu, 2021)
- Průmysl:**
 Emise z průmyslu klesly o 39 % na 946,8 milionu tun CO₂ ročně. Výsledek snižování ve třech kategoriích: emisích ze spalování fosilních paliv, procesních emisích vznikajících během výroby, únicích skleníkových plynů spojených s průmyslovou činností. Útlum těžkého průmyslu přispěl k poklesu emisí ze spalování, zatímco procesní emise klesly méně výrazně. Emise F-plynů, které nahradily látky škodící ozonové vrstvě, po jejich regulaci začaly klesat. (Fakta o klimatu, 2021)
- Budovy:**
 Snižování emisí o 27 % od roku 1990 došlo u budov, to je na 454,6 milionu tun CO₂ ročně. Tento údaj zahrnuje emise z domácího vytápění, ohřevu vody v rezidenčních a komerčních budovách, které nejsou napájeny z centrálních tepláren a vaření na plynu. Emise z průmyslových budov jsou klasifikovány pod kategorií průmysl. (Fakta o klimatu, 2021)

- Zemědělství:**
 V zemědělství došlo k poklesu od roku 1990 o 21 % na 456,3 milionů tun CO₂ ročně. Hlavní zdroje jsou chov zvířat a obdělávání půdy, způsobující emise N₂O. Snížení emisí metanu lze dosáhnout redukcí počtu dobytka a spotřeby hovězího masa a mléčných produktů, lepším zpracováním hnojiv, a méně intenzivní hnojením. Změny v chovu dobytka však mohou mít dopad na půdu a dostupnost přírodního hnojiva. (Fakta o klimatu, 2021)
- Odpadové hospodářství:**
 Od poloviny 90. let dochází k poklesu emisí z odpadového hospodářství, kdy do roku 2021 klesly o 41 % na 109.3 milionu tun CO₂ ročně. Hlavním zdrojem těchto emisí jsou skládky odpadů, z nichž uniká metan vznikající rozkladem organických materiálů jako jsou papír, karton, textilie a bioodpad. (Fakta o klimatu, 2021)
 Graf 4 zobrazuje podíly produkované v dopravě z roku 2019.



Graf 4: Emise produkované v dopravě (Evropský parlament, 2019)

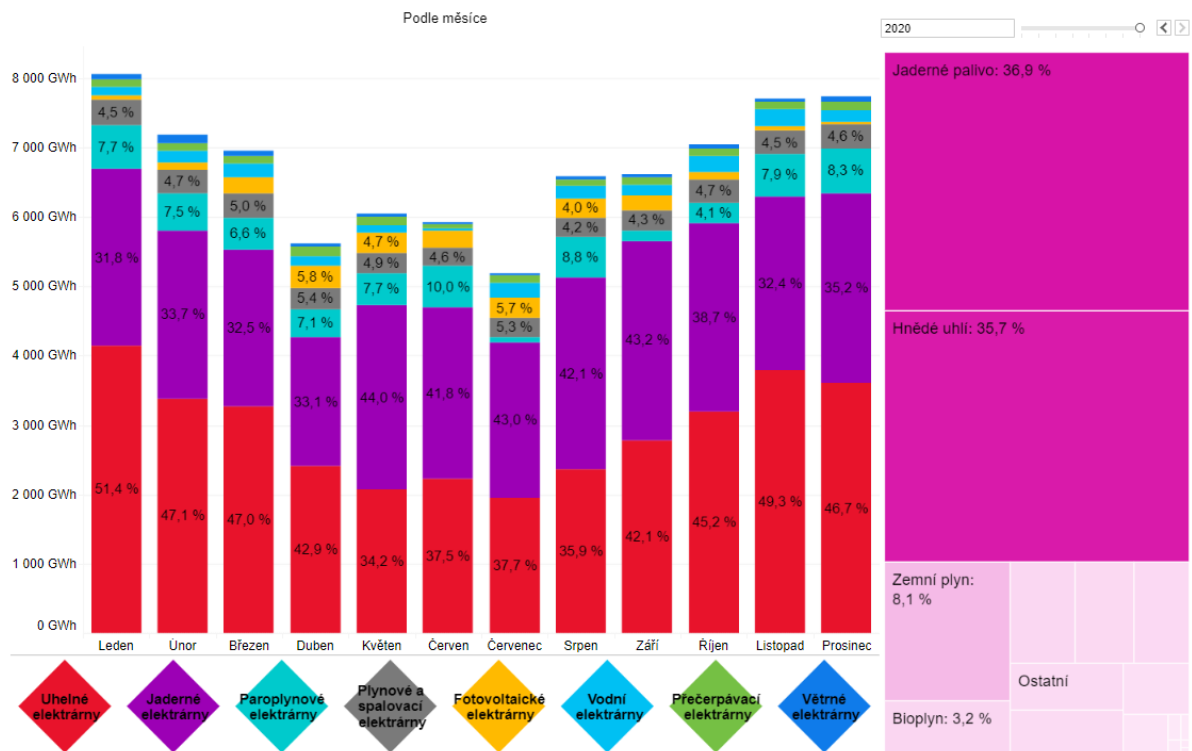
4.5.1. Emise při výrobě elektřiny

Během svého provozu elektromobily neprodukují přímo žádné skleníkové plyny. Na druhou stranu, emise vznikají při výrobě elektřiny, která je k jejich pohonu potřeba. Přestože jsou tyto emise obecně nižší než emise vznikající při tvorbě spalování paliva v motoru s vnitřním spalováním a při produkci tohoto paliva, výsledný dopad na životní prostředí závisí na způsobu, jakým je elektřina vyráběna. (European Environment Agency, 2018)

Uhelné elektrárny produkují během výroby elektřiny nejvyšší úroveň emisí skleníkových plynů, přičemž jejich emise jsou více než dvojnásobné ve srovnání s elektrárnami, které využívají zemní plyn. Naopak zdroje obnovitelné energie kromě těch, které využívají biomasu a jadernou energii, se vyznačují nejmenší uhlíkovou stopou. Přestože tyto zdroje nejsou zcela bez emisí, zejména kvůli emisím spojeným s výstavbou infrastruktury pro výrobu energie, jejich celkový dopad na životní prostředí je výrazně nižší. (European Environment Agency, 2018)

Celkový dopad elektromobilů na emise skleníkových plynů se odvíjí od složení energetického mixu v dané zemi. V zemích s převahou čisté energie, jako je Švédsko, které se opírá o jadernou energii a vodní elektrárny, jsou celkové emise z provozu elektromobilů minimální. V zemích jako je Lotyšsko, kde je elektřina získávána hlavně z uhelných elektráren, by celkový uhlíkový dopad elektromobilů mohl být vyšší, dokonce i ve srovnání s vozidly na fosilní paliva. (European Environment Agency, 2018)

Na grafu 5, jde vidět energetický mix v průběhu roku 2022.



Graf 5: Energetická mix v ČR v roce 2020 (Evropa v datech, 2022)

4.5.2. Emise při výrobě akumulátoru

Hlavním zdrojem emisí CO₂ u elektromobilů je výroba jejich akumulátorů. Studie MIT Energy Initiative ukazuje, že výroba elektromobilů může generovat až o 40 % více emisí než výroba vozidel s konvenčním pohonem, některé zdroje uvádějí až o 70 % větší emise. Většina baterií pro elektromobily se vyrábí v Číně v továrnách, které jsou významně závislé na energii z fosilních paliv, což přispívá k celkové uhlíkové stopě. Navíc doprava do výrobních továren po celém světě rovněž přispívá ke zvýšení emisí. (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2022)

Těžba surovin potřebných pro výrobu baterií elektromobilů čelí kritice kvůli neetickému zacházení s pracovníky a škodám na životním prostředí. Aby bylo možné řešit tyto problémy, je nutná takzvaná dekarbonizace energetických sítí. Tento proces představuje významnou

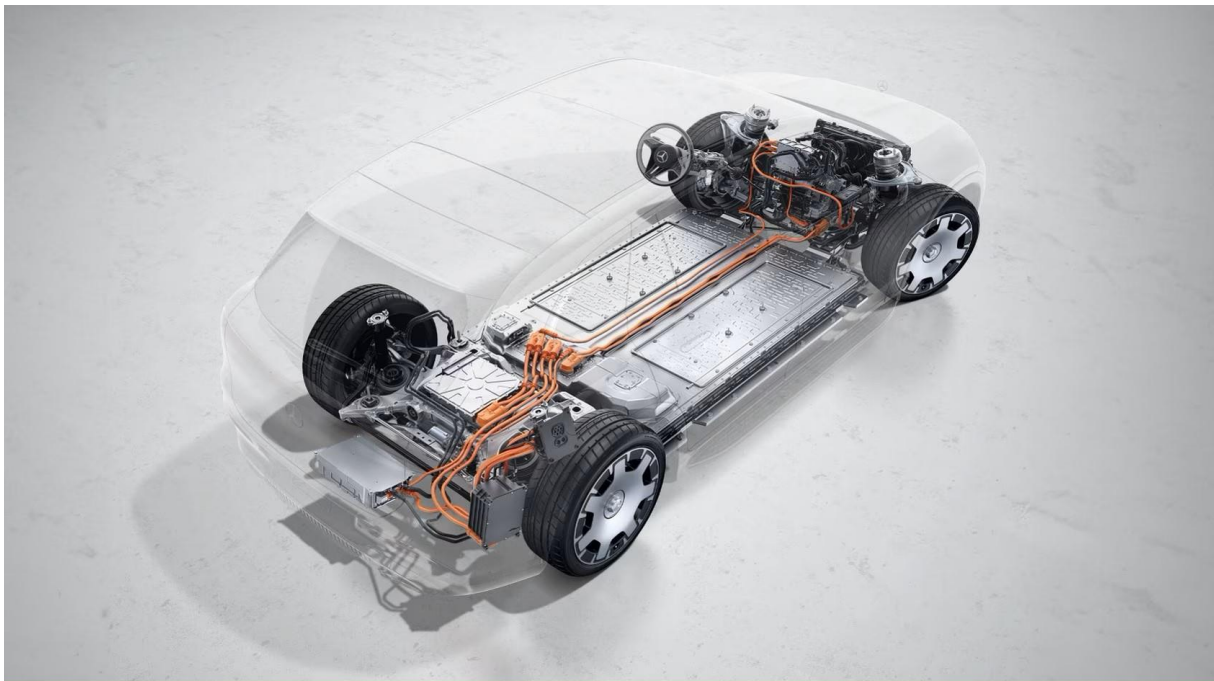
sociální a politickou výzvu, která se nedá vyřešit okamžitě. Je důležité, aby všechny části dodavatelského řetězce pracovaly na snižování své uhlíkové stopy. Bez tohoto úsilí bude přechod na elektromobilitu mít omezený význam pro snižování celkových emisí. (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2022)

Pro každou kWh kapacity baterie, která se vyrobí, se při těžbě a zpracování materiálů vypustí do ovzduší průměrně 70 kg CO₂. Výrobní proces baterií pro elektromobily je ještě energeticky náročnější, přičemž nezávislé studie uvádějí, že na výrobu 1 kWh kapacity baterie se spotřebuje přibližně 586 MJ energie. (Granovskii et al., 2006)

Výroba 64 kWh akumulátoru pro elektrické vozidlo Hyundai Kona v Jižní Koreji způsobí emise přibližně 12,3 tuny CO₂. To znamená, že samotná baterie přispívá dvanácti tunami oxidu uhličitého k celkové uhlíkové stopě vozidla. Když se k tomu přičtou emise z výroby zbytku automobilu, které se pohybují mezi 4 a 6 tunami CO₂. Celkové emise CO₂ pro Hyundai Kona s baterií o kapacitě 64 kWh dosahují přibližně 18 tun. Pro model s menší baterií o kapacitě 39,2 kWh pak celkové emise činí zhruba 13 tun. (Michal Dokoupil, 2019)

4.6. Akumulátory

Akumulátory patří mezi klíčové komponenty elektromobilů, stanovuje dojezd a má zásadní vliv na celkovou životnost vozidla. Aktuálně představují akumulátory klíčový faktor, který ovlivňuje cenu elektromobilů. V důsledku technologického pokroku a zvyšující se tržní soutěže dochází k postupnému snížení cen baterií pro elektromobily. Současně se zlepšuje jejich výkon a prodlužuje dojezdová vzdálenost. Očekává se, že budoucí vývoj v oblasti baterií pro elektromobily přinese další pokrok a inovační průlomy, které ještě více zlepší jejich vlastnosti. Viz obrázek 5 ukazuje uložení akumulátoru v elektromobilu.



Obrázek 5: Uložení akumulátoru v elektromobilu (Mercedes-Benz, 2024)

4.6.1. Vývoj

Baterie pro elektrické automobily jsou v současné době středem intenzivního výzkumu a inovací. Cílem je nejen zlepšit jejich kapacitu a životnost, ale také zredukovat výrobní náklady a zajistit vyšší bezpečnost. Vývoj se soustředí na nové materiály a technologie, jako jsou například baterie na bázi lithiového železofosfátu (LiFePO₄) nebo baterie s pevnými elektrolyty, které mají potenciál zvýšit výkon baterií.

Další výzkum se zaměřuje na zvýšení energetické hustoty baterií. Tím by se rozšířil dojezd elektrických vozidel na jedno nabití, což je klíčový faktor pro jejich širší přijetí

společností. Paralelně se vývojáři snaží snížit hmotnost baterií, což by vedlo k zlepšení energetické efektivity elektromobilu.

Vývoj v oblasti nabíjecích technologií, jako je rychlé a bezdrátové nabíjení, přispívá ke zlepšení uživatelské zkušenosti s elektromobily. Tyto inovace umožňují rychlejší a pohodlnější nabíjení, to zvyšuje atraktivitu elektromobilů pro širokou veřejnost.

Celkový dopad na produkci skleníkových plynů výrazně závisí na kapacitě trakční baterie v elektromobilech, které je klíčová pro dosahování většího dojezdu. Aktuální výzkumy ukazují, že obavy z nedostatečného dojezdu vedou mnoho lidí k přeceňování potřebného dojezdu pro běžné cesty. Očekává se, že v budoucnosti se tyto obavy sníží díky hustší nabíjecí infrastruktuře a zvykání řidičů na používání elektromobilů. S vhodnými podmínkami pro spotřebitele a výrobce by mohlo dojít k využití zlepšení energetické hustoty akumulátorů a k minimalizaci environmentálních dopadů na výrobu baterií, zatímco by se zachoval požadovaný dojezd elektromobilů. (European Environment Agency, 2024)

V příštích letech se očekává pokračující zlepšování energetické hustoty a životnosti různých typů lithiových baterií díky pokračujícímu technologickému pokroku. Rovněž se předpokládá, že nové druhy chemie baterií, jako jsou například lithium-titanové, lithium-vzduchové nebo lithium-sírné, mohou přinést další zlepšení v energetické hustotě nebo delší životnosti cyklů. Takové inovace mohou představovat významný krok vpřed v oblasti vývoje akumulátorů. (Gustafsson & Johansson, 2015)

4.6.2. Výroba

Výroba baterie zahrnuje procesy, které jsou energeticky náročné a finální emisní náročnost ovlivňují zdroje energie v lokalitě výroby. Podobně jako u vozidel na fosilní paliva se různé části elektromobilů vyrábí v mnoha lokalitách a následná montáž se provádí také na jiné lokalitě. Místo, kde se vyrábějí baterie, má velmi významný vliv na celkové emise, protože baterie představují podstatnou část hmotnosti elektromobilu. Následná přeprava dílů k montáži celku vozidla se projevuje ve zvýšených emisích spojených s přepravou dílů. (Mayyas et al., 2017)

Významná část skleníkových plynů, které jsou uvolňovány během výrobního procesu, je spojena s výrobou elektřiny a dalších energeticky náročných procesů. Největší výrobci lithium-iontových baterií je Čína, Jižní Korea a Japonsko. Průmyslová studie uvádí, že přibližně 50 % emisí pochází ze spotřeby energie při výrobě článků. (European Parliament, 2018)

Celkově má výroba elektrického vozidla větší dopad na životní prostředí než výroba vozidla se spalovacím motorem. Studie naznačují, že samotný akumulátor může generovat až 200 kg CO₂ na každou kilowatthodinu své kapacity.

4.6.3. Druhy baterií

Bateriový systém ve vozidlech obsahuje tisíce sekundárních článků spojených do série pro dosažení požadovaného výstupního napětí. Každý článek obsahuje katodu, anodu, separátor a elektrolyt, umožňující pohyb lithiových iontů během nabíjení a vybíjení. Články jsou seskupeny do modulů pro ochranu a tyto moduly se dále kombinují do větších jednotek, ty se nazývají battery pack. Battery packy poskytují potřebnou kapacitu a vytvářejí celkový bateriový systém.

V moderních elektrických vozidlech se běžně používají lithium-iontové baterie díky jejich vysoké energetické hustotě, minimální samovybíjecí schopnosti a adekvátní kapacitě. Různé typy těchto baterií se odlišují především materiálem použitých pro katodu.

- Lithium-iontové baterie (Li-ion)
Lithium-iontové baterie jsou oblíbené pro svou vysokou energetickou hustotu, dlouhou životnost a schopnost rychlého nabíjení bez výrazného paměťového efektu. Často se používají v široké škále elektronických zařízení, jako jsou mobilní telefony, notebooky, tablety a elektrická vozidla. Díky těmto vlastnostem jsou ideální pro aplikace, kde je potřeba dlouhodobého a spolehlivého napájení. (Battery university, 2010)

- Lithium-železo-fosfátové baterie (LFP)
Vyznačují se vysokým elektrochemickým výkonem a nízkým vnitřním odporem, což umožňuje dodávat velké proudy a nabízí dlouhou životnost, tepelnou stabilitu a bezpečnost. Jsou určeny k použití ve stavu plného nabití, což je činí méně náchylnými k poškození při dlouhodobém skladování pod vysokým napětím, ale mají rychlejší samovybíjecí rychlost a jsou citlivé na vlhkost, to může ovlivnit počet nabíjecích cyklů. (Battery university, 2010)
- Lithium-titaničitan baterie
Známé pro své rychlé nabíjení a schopnost dodávat vysoký proud, se často využívají v elektrických pohonech, záložních zdrojích a solárních systémech využívané v pouličním osvětlení. Přestože nabízí vysokou úroveň bezpečnosti jejich vyšší cena a nižší energetická hustota omezuje širší použití. (Battery university, 2010)
- Lithium-mangan oxidové baterie
Používané v elektrickém nářadí, zdravotnických přístrojích a vozidlech na hybridní a elektrický pohon, mají díky specifické struktuře minerálů nízký vnitřní odpor, což umožňuje rychlejší nabíjení a vyšší proud při vybíjení. Vynikající tepelnou stabilitu a bezpečnost, to zaručuje jejich delší životnost. (Battery university, 2010)
- Lithium-nikl-mangan-kobalt oxidové baterie
NMC je zkratka pro nejspěšnější typ lithium-iontového systému, který kombinuje nikl pro vysokou energetickou hustotu a mangan pro strukturální stabilitu a nižší vnitřní odpor. Tento systém je doplněn o kobalt pro zlepšení vlastností a snížení nákladů díky množství potřebného kobaltu. Tato směs se běžně používá v různých elektrických nářadích a jiných elektrických zařízeních. Obvykle se pro katodu kombinuje jedna třetina niklu, jedna třetina manganu a jedna třetina kobaltu. (Battery university, 2010)
- Lithium-kobalt-oxidové baterie
LCO baterie, oblíbené v mobilních zařízeních jako smartphony a tablety, využívají katodu z oxidu kobaltu a anodu z grafitu. Tento typ baterie umožňuje rychlý pohyb lithiových iontů během vybíjení díky vrstvené struktuře katody. Bohužel, mají omezenou životnost, nižší tepelnou stabilitu a omezenou schopnost zvládat vysoké zatížení. (Battery university, 2010)
- Lithium-nikl-kobalt-oxid-hlinitý baterie
Baterie označované také zkratkou NCA, mají s NMC bateriemi společnou vysokou energetickou hustotu, dlouhou životnost a nižší výkon. Na rozdíl od NMC, NCA baterie mají slabší bezpečnostní parametry a jejich výroba je nákladnější. (Battery university, 2010)

4.6.4. Konstrukce baterií

Každý výrobce automobilů vytváří své specifické typy baterií, které se od sebe mírně liší. Nicméně, obecně platí, konstrukční princip všech těchto baterií je podobný. Jednotlivé malé bateriové články se seskupují do větších jednotek, nazývaných moduly, tyto moduly se následně spojují do celkové baterie pro elektromobil. Klíčovým prvkem je modulární desing, který výrobcům umožňuje jednodušší výrobu a instalaci baterií do vozidel, stejně jako pohodlnější údržbu a výměnu poškozených částí.

V současném stavu technologie elektromobilů se vyskytují tři hlavní typy akumulátorových článků. První kategorie zahrnuje válcové články, které jsou známé pro svou vysokou efektivitu a optimalizaci výrobních nákladů, to je přístup, který upřednostňuje například automobilka Tesla. Druhým typem jsou hranolové články, které mají v oblibě automobilky BMW nebo Volkswagen. Díky své dobré skladnosti a jednoduššímu chlazení, i když mají nižší energetickou hustotu. Poslední kategorií jsou pouzdrové články, používané

automobily Nissan, Renault nebo Chevrolet. Tento typ článků nabízí flexibilitu v oblasti modulů a kapacity, avšak vyžadují pečlivou kontrolu teploty a tlaku. (*Elektromobily a jejich baterie*, 2022)

4.6.5. Kapacita baterií

Klíčovým parametrem každé baterie v elektromobilu je její kapacita, která ve spojení s výkonem elektromobilu rozhoduje o maximálním dojezdu vozidla. Kapacita baterie se obvykle vyjadřuje v kilowatthodinách (kWh), to indikuje maximální množství energie, které může baterie poskytnout za hodinu. U městských elektromobilů se kapacita často pohybuje okolo 30 kWh. Například u modelu Škoda Citigo iV umožňuje dojezd až kolem 250 km při nízké spotřebě. V současnosti se však standardní kapacitou baterií v elektromobilech pohybuje v rozmezí 60 až 80 kWh, přičemž některé modely nabízejí i kapacitu až 100 kWh.

Rozlišujeme celkovou a využitelnou kapacitu baterie. Výrobci obvykle uvádějí celkovou kapacitu baterie, protože to je větší číslo a z marketingového hlediska vypadá atraktivněji. Ve skutečnosti nemůže být celá tato kapacita využita. Rozdíl mezi celkovou a využitelnou kapacitou se nazývá „buffer“, což je ochranný prostor pro zabránění úplného vybití baterie. Úplné vybití baterie by mohlo baterii nevratně poškodit.

4.6.6. Životnost baterie

Dobíjecí baterie obvykle zvládnou jen omezený počet cyklů nabíjení a vybíjení do 20 % jejich kapacity, který se pohybuje v řádu několika stovek. Přesná životnost baterie však závisí na jejím typu, designu a způsobu využití. Tato charakteristika je klíčová pro technické specifické baterie, jelikož má přímý dopad na její celkovou životnost a tím i na celkové náklady spojené s provozem elektromobilu.

Stárnutí baterií v elektromobilech se dělí na dva hlavní způsoby: první je závislé na počtu nabíjecích cyklů a druhý souvisí s celkovou délkou používání baterie. To znamená, kolik let je baterie v provozu. Zhoršování vlastností baterie závisí na množství nabíjecích cyklů a je ovlivněno podmínkami používání, jako je teplota při provozu, intenzita nabíjení a styl jízdy. Kromě toho na životnost baterie má vliv také způsob skladování, včetně vystavování extrémním teplotám, vlhkosti a délce období, po kterou není vozidlo využíváno. Projevy stárnutí baterie se nejvýrazněji projevuje poklesem její kapacity a změnami vnitřního odporu, což má za následek omezení maximálních proudů a zvýšení ohřívání baterie při používání. Takové změny mají dopad na schopnost baterie akumulovat a uvolňovat energii, což ovlivňuje její využitelnost v dalších životních cyklech.

Degradace vlastností baterií představuje hlavní výzvu pro jejich opětovné využití ve druhém životním cyklu. Diskuse o recyklaci baterií z elektromobilů je poměrně nová a chybí dostatečná data pro přesné modelování jejich životnosti. Sběr a analýza těchto dat jsou nákladné, bohužel to zpomaluje vývoj v tomto oboru, avšak jsou zásadní pro zajištění bezpečnosti a afektivity recyklovaných baterií. (Chen et al., 2019) (Neubauer et al., 2015)

4.6.7. Recyklace

V narůstajícím počtem elektromobilů na silnicích se zvyšuje i množství baterií, které již nelze dále využívat v automobilech. V Evropě se takové baterie recyklují, zatímco v jiných regionech světa může docházet k jejich likvidaci nebo ukládání na skládky. I po vyřazení však tyto baterie uchovávají značnou část své kapacity, přibližně 80 % původní hodnoty, to umožňuje jejich další využití v sektorech, kde nezáleží na energetické hustotě. Tento proces, známý jako „second life cycle of batteries“, přispívá k prodloužení životnosti baterií, efektivnějšímu využívání vzácných materiálů a snižování environmentálního dopadu. (Union, 2023)

Recyklování lithiových baterií je proces náročný jak z technického, tak energetického hlediska, přičemž specifická metoda závisí na chemickém složení konkrétní baterie. Lithiové baterie představují riziko pro životní prostředí, pokud jsou nesprávně skladovány na skládkách, kde mohou uvolňovat toxické látky a v extrémních případech může dojít k jejich vzplanutí nebo explozi. (Foster et al., 2014)

Recyklace olovených a niklmetal-hydrových baterií je efektivní, s mírou recyklace blížící se 100 % v USA a Evropě, částečně díky finanční podpoře sběru. Na rozdíl od nich, recyklace lithiových baterií čelí výzvám, včetně míry sběru, což omezuje recyklaci baterií používaných ve spotřební elektronice. Recyklace lithiových baterií čelí složitějším výzvám ve srovnání s olovenými nebo NiMH bateriemi, zejména kvůli rozmanitosti katodových materiálů a jejich složení, které se neustále rozšiřuje díky novým výzkumům. Variabilita ve složení použitých baterií přináší výzvy pro recyklační společnosti, jelikož nekonzistentní přísun a složení materiálů může vést k nízkému a nestabilnímu zisku z recyklace. Vzhledem k tomu, že materiály katody představují zhruba 40 % hodnoty baterií, jejich recyklace je klíčová. Zpětné zpracování dalších součástí baterie, jako anody, fólie a elektrolyty, zvyšuje finanční výnosy recyklace a podporuje udržitelnost recyklačního systému recyklace. (Chen et al., 2019) (Directorate-General for Environment (European Commission) & University of the West of England (UWE). Science Communication Unit, 2018)

Pokud se baterie při testování ukáže jako dostatečně výkonná, s kapacitou přibližně 88 % původní kapacity, může být znovu použita, často jako záložní zdroj nebo pro výměnu poškozených jednotek ve stejném sektoru. Očekává se, že mezi lety 2025 až 2033 bude 50 % poptávky po nových bateriích pro elektrická vozidla pokryto bateriemi na konci prvního životního cyklu. Podle studie M. Fostera z roku 2014, nákladově přenosová analýza zahrnující investice do stavby nové továrny na repasování, stejně jako provozní a logistické náklady, ukazuje, že repasování starých baterií může přinést až 40 % úsporu proti nákupu nových baterií. Kdyby byli vstupní náklady na zřízení repasovací továrny desetkrát vyšší, repasování by bylo stále ekonomicky výhodné. Tento proces obnáší diagnostiku, demontáž battery packů, výměna nefunkčních článků a modulů, jejich znovusložení do nového battery packu. (Chen et al., 2019) (Foster et al., 2014)

4.7. Životní prostředí

Člověk má značný vliv na životní prostředí, a to především prostřednictvím emisí skleníkových plynů, odlesňování, znečištění vody a vzduchu, nadměrné využívání přírodních zdrojů. Elektromobilita, i když je považována za ekologičtější alternativu k vozidlům se spalovacími motory, má také určitý dopad. Výroba a recyklace baterií, výroba elektřiny pro nabíjení vozidel a výroba samotných vozidel mohou mít negativní dopady na životní prostředí. Nicméně, celkově může přechod na elektromobilitu přispět k redukci emisí CO₂ a snížení závislosti na fosilních palivech.

Pokračující rozvoj a rozšíření elektromobility může hrát klíčovou roli v ochraně životního prostředí tím, že pomůže snížit emise škodlivých látek a zlepšit kvalitu ovzduší ve městech. Navíc, s pokrokem v technologiích obnovitelných zdrojů energie a zlepšováním účinnosti výroby a recyklace baterií se očekává, že celkový dopad elektromobility na životní prostředí se bude postupně snižovat. Důležité je také zvýšení povědomí a podpora ze strany vlád a veřejnosti pro udržitelnou dopravu a zodpovědné využívání zdrojů.

4.7.1. Těžba vzácných kovů

Problémem spojených s bateriemi je také získávání vzácných kovů, jako jsou lithium a kobalt. Hlavním zdrojem kobaltu je Demokratická republika Kongo. Ovšem situace v této africké zemi zejména pokud jde o pracovní podmínky, není třeba idealizovat. Americká vláda se před pár lety začala zajímat tyto doly v reakci na obavy z dětské práce. V průběhu čtyř let nebyli inspektoři vpuštěni do dolů, což naznačuje zjevný důvod. Děti, někdy i předškolního věku, jsou vybaveny pouze plátným pytlím a ručně procházejí těžbou zeminu a hledají malé kousky kobaltu. Odhaduje se, že v kobaltových pracuje až 35 000 dětí. Dopady prachu na lidský organismus v dolech je alarmující.

Těžba nerostných surovin v některých regionech, jako je Čína nebo Kongo, často nepřihlíží k ekologickým standardům, využívají se zastaralé metody bez ohledu na emise nebo filtraci odpadů. Nicméně v Číně dochází k postupnému zlepšování ekologické situace, zejména ve velkých městech. Kde byla přijata opatření pro snížení znečištění, včetně uzavírání továren

nebo omezení vjezdu vozům do městských center. Ve více odlehlých, chudších oblastech však zůstává situace často nezměněná.

Austrálie, Chile a Argentina mají největší zásoby lithia, avšak doly často vlastní čínské firmy, které vedou k tomu, že přes 60 % lithia se zpracuje v Číně. Těžba niklu a grafitu dominuje v Číně a kobalt v Kongu, ale zpracování probíhá převážně v Číně. Při zohlednění emisí je důležité počítat i s emisemi z námořní dopravy, která patří mezi méně ekologické způsoby transportu.

Na obrázku 7 a 8 lze vidět horníky pracující v dolech v Kongu v příšerných podmínkách a bez vybavení.



Obrázek 6: Horníky pracující v kobaltovém dole Tulwizembe v Demokratické republice Kongo (*Home & Home, 2021*)



Obrázek 7: Horníci v dole Shabara v Demokratické republice Kongo (News, 2023)

4.8. Propagace elektromobility

Propagace elektromobility je klíčová pro přechod k udržitelnější dopravě. Zahrnuje vysvětlení o výhodách elektrických vozidel, jako jsou nižší emise CO₂ a provozní náklady, podporu výstavby infrastruktury pro nabíjení elektromobilů, finanční nabídky a daňové úlevy pro nákup elektromobilů. Důležitý je také rozvoj technologií pro zvýšení dojezdu a snížení ceny baterií. Propagace prostřednictvím vládních programů, reklamních kampaní a vzdělávacích iniciativ pomáhá zvyšovat povědomí a přijetí elektromobility veřejností.

4.8.1. EU – Green Deal

Green Deal, neboli Evropská zelená dohoda, je strategie Evropské unie s cílem dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. Hlavní úkoly zahrnují snížení emisí skleníkových plynů, investice do udržitelné technologie, podporu energetické účinnosti, a ochranu přírodního prostředí. Tento plán zahrnuje různé politické a iniciativy v oblastech jako jsou energetika, doprava, zemědělství a biodiverzita, s cílem podpořit ekologický přechod v EU. (Evropská rada & Rada Evropské unie, 2024) (Evropská komise, 2021)

Evropská zelená dohoda směřuje k větší podpoře elektromobility klíčového prvku v redukci emisí skleníkových plynů. Zahrnuje investice do infrastruktury pro nabíjecí stanice, vývoj a výrobu čistých vozidel a potenciální omezení prodeje nových spalovacích automobilů v budoucnosti. Pro automobily se spalovacím motorem to může znamenat zpřísnění emisních norem a snižování jejich podílu na trhu ve prospěch elektrických vozidel. Green Deal otevírá cestu k přechodu na udržitelnější formy dopravy.

Pro automobilový průmysl a dopravní sektor v EU to vyžaduje významné změny. Pro automobilky to znamená přechod na výrobu ekologičtějších vozidel, zejména elektrických, a investice do udržitelnějších technologií. Doprava v EU se bude muset přizpůsobit nižším emisím, včetně rozvoje infrastruktury pro elektromobily a zvýšení efektivity veřejné dopravy. Změny podporují cíl dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. (Evropská rada & Rada Evropské unie, 2024) (Evropská komise, 2021)

Pro občany v EU znamená dohoda zlepšení životního prostředí a zdraví tím, že snižuje emise a podporuje udržitelnější technologie. Dohoda může přinést výzvy jako jsou vyšší

počáteční náklady na ekologičtější produkty a technologie, zvýšení cen energií kvůli investicím do obnovitelných zdrojů, a nutnost přizpůsobení se změnám v oblasti zaměstnanosti v důsledku přechodu na zelenější ekonomiku. Výzvy vyžadují pečlivé řízení, aby se minimalizoval dopad na životní náklady a zajistila podpora pro občany během přechodu. Občané, ale zároveň mohou těžit z čistšího prostředí a nových pracovních příležitostí v zeleném odvětví. (Evropská rada & Rada Evropské unie, 2024) (Evropská komise, 2021)

5. Výsledné zhodnocení

5.1. Ekologická stopa, porovnání se spalovacími automobily

Porovnání ekologické stopy elektromobilů a automobilů se spalovacími motory zahrnuje několik klíčových fází: výroba, provoz a likvidace. Každá fáze má na životní prostředí odlišný dopad, proto je důležité posuzovat celkový životní cyklus.

Výroba elektromobilů má celkově vyšší ekologickou stopu než výroba automobilů se spalovacími motory, zejména kvůli těžbě a zpracování surovin potřebných pro baterie. Proces vyžaduje značné množství energie a vede k emisím skleníkových plynů a jiných environmentálních dopadů.

Provoz elektromobilů vede k podstatně nižším emisím skleníkových plynů, zejména pokud je elektrická energie získávána z obnovitelných zdrojů. Náklady na energii jsou také často nižší než za benzín nebo naftu.

Likvidace baterií z elektromobilů představuje výzvu pro životní prostředí, i když technologie recyklace se neustále vyvíjejí. Je důležité efektivně recyklovat a znovu používat materiály, aby se minimalizoval dopad.

Výroba automobilů se spalovacími motory je výrobní proces méně náročný na energii ve srovnání s elektromobily. Automobily se spalovacími motory produkují emise během celého svého životního cyklu, včetně výroby, provozu i likvidace.

Automobily se spalovacími motory produkují CO₂ a další znečišťující látky během provozu, to má za následek významný dopad na kvalitu ovzduší a klimatické změny.

Likvidace automobilů se spalovacími motory také vyžaduje recyklaci, ale zatížení životního prostředí je obecně menší ve srovnání s likvidací baterií z elektromobilů.

Tabulka 1 ukazuje porovnání mezi elektromobilem a automobilem se spalovacím motorem.

Fáze	Elektromobil	Automobil se spalovacím motorem
Výroba	Vyšší emise kvůli bateriím	Nižší emise
Provoz	Nižší emise, závislé na zdroji elektrické energie	Vyšší emise CO ₂ a znečišťující látky
Likvidace	Výzva v recyklaci baterií	Menší environmentální zatížení

Tabulka 1: Porovnání ekologické stopy elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem

Celkově elektromobily nabízejí v průběhu životního cyklu potenciál pro nižší ekologickou stopu ve srovnání s automobily se spalovacími motory. Pokud jde o provozní fázi a předpokladu, že elektrická energie pochází z obnovitelných zdrojů. Výzvy spojené s výrobou a likvidací baterií však zdůrazňují potřebu dalšího vývoje v oblasti udržitelných materiálů a technologií recyklace a využití baterií ze starších elektromobilů.

5.2. Baterie

Ekologická stopa baterií do elektromobilů a související problémy představují značné výzvy v rámci celkové udržitelnosti elektromobilů. Výzvy začínají těžbou surovin přes výrobu, využití až po recyklaci a likvidaci baterie. Každá fáze s sebou nese specifické environmentální a sociální dopady.

Na začátku životního cyklu baterie je těžba surovin, jako jsou lithium, kobalt, nikl a mangan. Proces výroby často vede k výrazné environmentální degradaci, včetně odlesňování, eroze půdy a znečištění vodních zdrojů a toků. Energetická náročnost těžby a rafinace vytěžených materiálů přispívá k významným emisím skleníkových plynů. Sociální a etické problémy, špatné pracovní podmínky a dětská práce jsou dalšími znepokojivým prvkem těžby surovin pro výrobu baterií.

Samotná výroba baterií je rovněž energeticky náročný proces a přináší riziko znečištění kvůli chemickým procesům a použití těžkých kovů. Přestože baterie poskytují během svého využívání v elektromobilech relativně nízké emise, zejména pokud je elektromobil nabíjen

z obnovitelných zdrojů energie, postupný pokles účinnosti a kapacity baterie může vést k předčasnému vyměnění, což opět zatěžuje životní prostředí.

Recyklace a likvidace baterií jsou největšími výzvami. Přes pokrok v technologiích recyklace baterií, efektivní recyklace zůstává komplexním a energeticky náročným procesem, při snaze získat cenné materiály. Současná recyklace a efektivita procesu nejsou dostatečné k odstranění potřeby těžby surovin. Dlouho neřešená likvidace baterií představuje významné riziko pro životní prostředí, pokud chemikálie a těžké kovy z baterií znečistí půdu a vodní zdroje.

Pro řešení takových problémů je nezbytný výzkum nových materiálů a technologií pro baterie, které jsou méně závislé na vzácných surovinách. Měli by také nabízet delší životnost a snadněji se recyklovat. Zlepšení procesů recyklace, podpora cirkulární ekonomie a inovace v oblasti udržitelnějších baterií jsou hlavními kroky k minimalizaci ekologické stopy baterií a zajištění budoucnosti elektromobilů jako skutečně zelené alternativy k automobilům se spalovacími motory.

5.3. Výhody elektromobility

Elektromobilita nabízí řadu výhod oproti vozidlům se spalovacím motorem. Výhody se týkají enviromentálních hlediska, provozních a ekonomických benefitů. Níže je tabulka s přehledem hlavních výhod v porovnání s automobily se spalovacími motory.

Tabulka 2 porovnává výhody elektromobilu oproti automobilu se spalovacím motorem.

Výhody	Elektromobil	Automobil se spalovacím motorem
Emise CO ₂	Nízké až nulové emise při provozu	Vysoké emise CO ₂
Lokální znečišťující látky	Absence lokálních emisí	Emise NO _x , SO _x a pevných částic
Energetická efektivita	Vyšší efektivita, méně energie na km	Nižší efektivita
Provozní náklady	Nižší náklady na energii a údržbu	Vyšší náklady na palivo a údržbu
Hlučnost	Nižší hlučnost	Vyšší hlučnost
Podpora obnovitelné energie	Možnost využití obnovitelné energie	Využití fosilních paliv
Inovační technologie	Často obsahuje pokročilé technologie	Pokročilé technologie až za příplatek
Státní podpora a dotace	Daňové úlevy, dotace, vjezd do nízkoemisních zón	Omezenější státní podpory
Recyklace	Vyšší potenciál pro recyklaci součástí	Nižší potenciál pro recyklaci

Tabulka 2: Porovnání výhod elektromobilu s autem se spalovacím motorem

5.4. Nevýhody elektromobility

Přestože elektromobilita nabízí řadu výhod, existují i určité nevýhody, které je třeba zvážit při porovnání s vozidly se spalovacími motory. V tabulce 3 lze vidět porovnání nevýhod elektromobilu oproti automobilu se spalovacím motorem.

Nevýhody	Elektromobil	Automobil se spalovacím motorem
Pořizovací cena	Vyšší počáteční náklady	Nižší pořizovací cena
Dostupnost dobíjecích stanic	Omezenější, závislé na regionu	Rozsáhlá síť čerpacích stanic
Dobíjecí doba	Delší doba nabíjení	Rychlé tankování
Dojezd na jedno nabití	Menší dojezd oproti nádrži plné paliva	Delší dojezd
Ovlivnění dojezdu	Ovlivnění teplotou a využíváním systémů ve vozidle	Stabilnější dojezd
Dostupnost a rozmanitost modelů vozidel	Omezenější výběr modelů	Široký výběr modelů
Recyklace a likvidace baterií	Výzvy spojené s recyklací a likvidací baterií	Méně problematická recyklace
Vliv na elektrickou síť	Potencionální zátěž pro elektrickou síť	Bez vlivu
Ekologická stopa výroby baterií a automobilu	Vyšší ekologická stopa výroby	Nižší ekologická stopa výroby
Použití vzácných materiálů	Závislost na vzácných materiálech	Závislost na ropě

Tabulka 3: Porovnání nevýhod elektromobilu s automobilem se spalovacím motorem

Jednou z hlavních překážek pro širší veřejnost je vyšší pořizovací cena, i když provozní náklady mohou být nižší v dlouhodobém horizontu. Nedostatečná infrastruktura dobíjecích stanic může v méně urbanizovaných nebo odlehlých oblastech způsobit omezení. Další nevýhoda může být doba dobíjení baterie na dlouhých cestách. Menší dojezd na jedno nabití může vyvolávat obavy. Výroba baterií pro elektromobily má významnou ekologickou stopu, zvláště kvůli těžbě surovin a nelidským podmínkám horníků.

5.5. Náklady na provoz

Náklady na provoz elektromobilu jsou zpravidla nižší než u automobilu se spalovacím motorem. Cena elektřiny pro nabíjení elektromobilů je obvykle nižší než cena benzínu nebo nafty na stejný počet ujetých kilometrů. Efektivita přeměny energie na pohyb je u elektromobilů vyšší než u spalovacích motorů, to přispívá k nižším nákladům na provoz.

Elektromobily mají méně pohyblivých dílů než vozidla se spalovacími motory, což znamená méně dílů, které by se mohly pokazit nebo vyžadovat pravidelnou údržbu. Jako příklad uvádím výměnu motorového oleje ve spalovacím motoru, tuhle výměnu elektromotor nepotřebuje. Elektromobily mají také rekuperační brzdění, které snižuje opotřebením brzd a prodlužuje jejich životnost, to také snižuje náklady na údržbu.

V mnoha zemích existují různé formy podpory pro majitele elektromobilů, včetně daňových úlev, dotací na nákup, nižších poplatků za registraci vozidla a další, které mohou snížit celkové náklady na provoz.

Náklady na provoz jdou také snížit domácím nabíjením ze solárních panelů nebo nabíjením přes noc při nižších tarifech za elektřinu. Oboje výrazně sníží náklady za energii.

Celkově pořizovací cena elektromobilů bývá vyšší, ale nižší provozní náklady v průběhu času mohou přinést významné úspory. Pro konkrétní hodnoty je však dobré porovnat aktuální ceny energií, dostupné státní podpory a dotace.

5.6. Dopad na životní prostředí

Dopad elektromobilů na životní prostředí, zejména s ohledem na výrobu a životní cyklus baterie, lze rozdělit do několika fází: výroba, provoz a recyklace nebo likvidace. Každá z fází má specifický dopad na životní prostředí, které se liší v závislosti na použitých technologiích, zdroji energie a efektivitu recyklace.

Výroba baterie má nejvyšší ekologickou stopu, která odráží energetickou náročnost a emise spojené s těžbou a zpracováním surovin potřebných pro výrobu baterie. Výroba zbytku vozidla také představuje významný dopad, ale je nižší než při výrobě baterie. Provoz elektromobilu má nejnižší ekologickou stopu, zejména díky absenci emisí během jízdy a možnosti využití pro ostatní komponenty vozidla. Recyklace nebo likvidace má středně vysokou ekologickou stopu, která souvisí na dostupnosti a efektivitě recyklačních technologií.

Problémy s výrobou baterií začínají již při těžbě surovin jako je lithium, kobalt, nikl a mangan. Těžba často způsobuje negativní dopad na životní prostředí, včetně znečištění vody, odlesňování a ztráty biologické rozmanitosti. Těžba může být spojena s etickými problémy, např. využívání dětské práce.

Po získání surovin následuje fáze výroby baterie, která je energeticky náročná a vyžaduje použití různých chemických látek. Energie využita v této fázi často pochází z fosilních paliv a zvyšuje tak uhlíkovou stopu.

Baterie postupně ztrácí kapacitu a účinnost, elektromobilu ovlivňuje výkon a dojezd. Životnost baterie může být ovlivněna cykly nabíjení a vybíjení, další ovlivnění může vzniknout při extrémních teplotách.

Na konci životnosti baterie je důležité, aby materiály obsažené v baterii byly efektivně recyklovány. Materiály mohou být znovu použity na výrobu nových baterií nebo jiných produktů. Recyklace baterií je velmi náročná, kvůli složitosti chemického složení a struktury. Zatímco technologie recyklace se neustále vyvíjejí a jsou efektivnější, stále existuje řada technických a ekonomických výzev.

Celkově výroba, využívání a recyklace baterií pro elektromobily má výrazný dopad na životní prostředí. I když používání elektromobilů může výrazně snížit emise s provozem vozidla, stále zůstává zásadní dopad spojený s bateriemi. Zahrnuje minimalizaci negativního dopadu těžby, zlepšení efektivity výrobních a přepravních procesů, prodloužení životnosti baterie a maximální recyklovatelnost.

6. Diskuse

I když elektromobilita představuje ekologičtější alternativu k vozidlům se spalovacím motorem, výroba a recyklace lithiových baterií přináší značné environmentální výzvy. Výsledky ukazují, že jsou podobné jako výsledky jiných studií, které poukazují energetickou náročnost a dopad těžby vzácných materiálů potřebných pro výrobu baterií. Důraz na nutnost efektivních recyklačních procesů a vývoj udržitelnějších baterií je v souladu s aktuálními odbornými diskusemi.

Diskuse o ekologickém dopadu výroby baterií pro elektromobily je nezbytné zmínit opatrnost a uzavřenost výrobců ohledně zveřejňování údajů o emisích spojených s výrobou baterií. Takové chování komplikuje snahu o plnou kvantifikaci environmentálního dopadu elektromobilů. Hodně výrobců baterií do elektroaut si zachovává informace o uhlíkové stopě a emisích z výroby jako obchodní tajemství nebo je nezveřejňují z obav o negativní vnímání veřejnosti a investorů. Nedostatek transparentnosti ztěžuje nejenom výzkum pracovníkům a analytikům vytvářet přesné odhady celkového dopadu elektromobility na životní prostředí.

Stav vyvolává potřebu větší regulace a standardizace v oblasti reportingu emisí a uhlíkové stopy ve výrobním fázi. Zpřístupnění údajů by mohlo podpořit inovace a zlepšení v oblasti udržitelnosti, porovnávat výkonnosti mezi různými výrobci a motivovat k dalšímu snižování dopadu na životní prostředí. Důraz na transparentnost a odpovědnost v celém dodavatelském řetězci je klíčové pro budování důvěry veřejnosti v elektromobilitu jako udržitelnou alternativu ke spalovacím motorům a pro dosažení dlouhodobých environmentálních cílů.

Zjištění práce ukazuje důležitost přechodu na elektromobilitu v rámci snah o snížení globálních emisí a boje proti klimatické změně. Současně upozorňuje na potřebu dalšího výzkumu a inovací ve výrobě a recyklaci baterií, aby bylo možné minimalizovat ekologický dopad. Práce poukazuje na potřebu komplexního přístupu k elektromobilitě, který zahrnuje nejen samotné elektromobily, ale celý životní cyklus elektromobilu.

Ačkoliv práce poskytuje komplexní pohled na problematiku elektromobility a baterií, omezení související s rychlým vývojem v oblasti baterií a recyklačních procesů můžou změnit prezentované výsledky. Lokální rozdíly v energetické rozmanitosti a dostupnosti materiálů mohou velmi ovlivnit celkový dopad elektromobilů v různých lokalitách.

Budoucí výzkum by měl pokračovat v hledání efektivnějších a udržitelnějších materiálů pro baterie, stejně tak i ve vývoji recyklačních technologiích. Zároveň by měly být prováděny studie zaměřené na optimalizaci energetické sítě pro nabíjení elektromobilů, s tím souvisí i energeticky udržitelnější energie., aby se co nejvíce zefektivnili environmentální výhody.

7. Závěr a přínos práce

Bakalářská práce analyzovala a prozkoumala současnou situaci a výzvy spojené s elektromobilitou. Práce přináší důležité poznatky, které odrážejí rostoucí důraz na udržitelnost a snižování dopadu dopravy na životní prostředí. I když představuje významný krok k dekarbonizaci dopravního sektoru, stále je zřejmé, že s sebou přináší nové výzvy v oblasti výroby a recyklace baterií.

Práce přináší cenné poznatky a přispívá k rozvoji diskuse o ekologických vlivech elektromobility. Důležité je, aby se budoucí výzkum ubíral na hledání inovativních řešení hlavně ve fázi výroby a recyklace baterií, a aby se našli způsoby, jak maximalizovat pozitivní dopad elektromobility na životní prostředí. Pouze tak můžeme zajistit, že elektromobilita bude skutečně udržitelnou alternativou ke spalovacím motorům, a že přispěje k ochraně životního prostředí pro budoucí generace.

Celosvětové snahy o redukci emisí skleníkových plynů a boje proti klimatickým změnám představuje elektromobilita klíčové prvky transformace dopravního sektoru. Její úspěch závisí na schopnosti řešit ekologické, technologické a ekonomické výzvy, které s sebou přináší. Tato práce ukazuje, že přechod na elektromobilitu není pouze otázkou výměny spalovacích motorů za elektrické, ale vyžaduje komplexní přístup. Ten zahrnuje výrobu baterií, energetické zdroje a celkový dopad na životní prostředí. Přijetí všech těchto fází bude potřebné pro dosažení skutečně udržitelné budoucnosti dopravy.

7.1. Celkové zhodnocení

Výroba lithiových baterií pro elektromobily má významný dopad na životní prostředí, hlavně kvůli energetické náročnosti výrobních procesů a těžbě vzácných materiálů. Tahle fáze vyžaduje další inovace a vývoj udržitelnějších baterií.

Recyklace baterií je klíčová pro minimalizaci celkového environmentálního dopadu. Efektivní recyklace může výrazně přispět k udržitelnosti elektromobility tím, že sníží potřebu materiálů a energetickou náročnost výroby nových baterií.

Elektromobily nabízejí významné výhody v porovnání s automobily se spalovacími motory, hlavně když jde o provozní emise a náklady. Celkový dopad na životní prostředí musí být posuzováno z hlediska celého životního cyklu, od výroby až po recyklaci nebo likvidaci.

I nadále bude nutné podporovat výzkum zaměřený na hledání nových, méně náročných materiálů pro baterie, které by mohli snížit celkovou ekologickou stopu. Stejně tak investice do technologií pro efektivní recyklaci baterií by měli být prioritou, aby se co nejvíce využívalo znovupoužití vzácných materiálů a minimalizovali se odpady.

Pro maximální ekologické výhody elektromobilů je nezbytné zvýšit podíl obnovitelných zdrojů v energetické síti používané pro nabíjení elektromobilů. Vláda by měla podporovat přechod na elektromobilitu prostřednictvím dotací, daňových úlev a legislativním rámcům, které usnadní rozvoj infrastruktury a podpoří vývoj v oblasti udržitelnosti.

Podle názoru autora práce má elektromobilita smysl v tuhle chvíli hlavně ve městech. Když se do budoucna zlepší energetický mix na více energie s obnovitelných zdrojů, bude doprava opravdu ekologičtější, a zvláště v městských oblastech, kde je hustota dopravy vysoká a kvalita ovzduší často problematická. Díky tichému provozu elektromobilů dochází ke snížení hlukového znečištění, to také přispívá ke zlepšení života ve městech. Elektromobily jsou efektivní při krátkých městských jízdách, kde mohou využít rekuperační brzdění. Kromě environmentálních výhod může elektromobilita přinést i ekonomické benefity, jako je snížení provozních nákladů. Víze pro elektromobilitu vyžadují technologický pokrok, promyšlenou politiku a investování do obnovitelných zdrojů energie a infrastrukturu pro elektromobilitu.

8. Přehled literatury a použitých zdrojů

a.s, A. (2018, leden 3). *Jak a kde dobít elektromobil a kolik lze ušetřit?* | Alza.cz. Alza.

<https://www.alza.cz/vse-o-nabijeni-elektromobilu>

Attorney general's department. (2024). *Attorney General's Department*.

<https://www.attorneygeneral.gov.lk/>

Battery university. (2010, září 18). *BU-205: Types of Lithium-ion*. Battery University.

<https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>

Čistá doprava, & Centrum dopravního výzkumu. (2023). *Stanice: Česká republika* | Centrum

dopravního výzkumu, v. V. I. <https://www.cistadoprava.cz/stanice-ceska-republika/>

Directorate-General for Environment (European Commission) & University of the West of England

(UWE). Science Communication Unit. (2018). *Towards the battery of the future*. Publications

Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/674936>

Eisenstein, P. A. (2021, červenec 22). *Mercedes-Benz Goes All-Electric By 2030*. Forbes Wheels.

<https://www.forbes.com/wheels/news/mercedes-benz-all-electric-2030/>

Elektromobily a jejich baterie. (2022). [https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-](https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie)

[centrum/elektromobily-a-jejich-baterie](https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie)

European Environment Agency. (2024). *Publications—European Environment Agency* [Folder].

<https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-lifecycle>

European Parliament. (2018). *European Parliament*. European Parliament.

<https://www.europarl.europa.eu/portal>

European Environment Agency. (2018). *Electric vehicles from life cycle and circular economy*

perspectives—TERM 2018—European Environment Agency [Publication].

<https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>

Evexpert. (2022). *Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě*. [https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-](https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete)

[centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete](https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete)

Evropská komise. (2021). *Doprava a Zelená dohoda—Evropská komise*.

https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_cs

Evropská rada, & Rada Evropské unie. (2024, březen 19). *Zelená dohoda pro Evropu*.

<https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/>

Fakta o klimatu. (2021). *Emise skleníkových plynů v EU v letech 1990–2021*. Fakta o klimatu.

<https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-eu-vyvoj>

Foster, M., Isely, P., Standridge, C., & Hasan, M. (2014). Feasibility assessment of remanufacturing, repurposing, and recycling of end of vehicle application lithium-ion batteries. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 7, 698–715. <https://doi.org/10.3926/jiem.939>

Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*, 159, 1186–1193. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>

Gustafsson, T., & Johansson, A. (2015). *Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels—From an energy efficiency and cost perspective*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-between-Battery-Electric-Vehicles-and-by-Gustafsson-Johansson/cfb3aa91cb4b0358c73bb2690629663c0947411a>

Home, A., & Home, A. (2021, květen 13). Cobalt, Congo and a mass artisanal mining experiment. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/energy/cobalt-congo-mass-artisanal-mining-experiment-andy-home-2021-05-13/>

Chen, M., Ma, X., Chen, B., Arsenault, R., Karlson, P., Simon, N., & Wang, Y. (2019). Recycling End-of-Life Electric Vehicle Lithium-Ion Batteries. *Joule*, 3(11), 2622–2646. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.014>

Ing. Josef Hodboď. (2022). *Výroba elektrické energie v ČR podle zdroje*. TZB-info.

<https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/23485-vyroba-elektricke-energie-v-cr-podle-zdroje>

- KEVIN A. WILSON. (2023, březen 31). *The Electric Car's History Goes Back Further Than You Think*. Car and Driver. <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>
- Mayyas, A., Omar, M., Hayajneh, M., & Mayyas, A. (2017). Vehicle's Lightweight Design vs. Electrification from Life Cycle Assessment Perspective. *Journal of Cleaner Production*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.145>
- Mgr. Iva Zvěřinová, Mgr. Milan Ščasný, Ph.D., Mgr. Zuzana Martínková, & JUDr. et Mgr. Vojtěch Máca, Ph.D. (2019). *Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: Veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí*. TZB-info. <https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici>
- Michal Dokoupil. (2019). *Jízda čistá, ale co výroba? Kolik CO2 vznikne při výrobě elektromobilů?* auto.cz. <https://www.auto.cz/jizda-cista-ale-co-vyroba-kolik-co2-vznikne-pri-vyrobe-elektromobilu-131387>
- Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2022). *Odborníci spočítali reálné emise u elektromobilů a zjistili, že jsou vyšší než u klasických spalovacích motorů—eProgram.cz | Časopis Program*. <https://www.eprogram.cz/magazin/44-hydepark-nazory-komentare/2866-odbornici-spocitali-realne-emise-u-elektromobilu-a-zjistili-ze-jsou-vyssi-nez-u-klasickyh-spalovacich-motoru>
- Neubauer, J., Wood, E., & Pesaran, A. (2015). A Second Life for Electric Vehicle Batteries: Answering Questions on Battery Degradation and Value. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 8. <https://doi.org/10.4271/2015-01-1306>
- News, A. B. C. (2023). *Artisanal cobalt mining swallowing city in Democratic Republic of the Congo, satellite imagery shows*. ABC News. <https://abcnews.go.com/International/cobalt-mining-transforms-city-democratic-republic-congo-satellite/story?id=96795773>
- OENERGETICE.CZ. (2024, leden 12). *V ČR loni vznikly stovky nových dobíjecích stanic pro elektromobily*. oEnergetice.cz. <https://oenergetice.cz/elektromobilita/v-cr-loni-vznikly-stovky-novych-dobijecich-stanic-pro-elektromobily/>
- Redakce Elektrina.cz, U. cz. (2018, prosinec 14). *Tuzemský elektromobil EMA předběhl dobu o desítky let*. <https://www.elektrina.cz/elektromobil-ema>

Union, P. O. of the E. (2023). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/743e967a-b187-11e8-99ee01aa75ed71a1/language-en/format-PDF> [Website]. Publications Office of the EU; Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/743e967a-b187-11e8-99ee01aa75ed71a1/language-en/format-PDF>

Vejman, M. (2023, únor 14). Elektroaut přibývá a infrastruktura se tomu musí přizpůsobit. Co se letos změní? *Forbes*. <https://forbes.cz/elektroaut-pribyva-a-infrastruktura-se-tomu-musi-prizpusobit-co-se-letos-zmeni/>

www.benes-michl.cz, B. & M. (2019). *Jak fungují dobíjecí stanice pro elektromobily a jaké jsou mezi nimi rozdíly* | *epet.cz*. EP ENERGY TRADING. <https://www.epet.cz/jak-funguji-dobijeci-stanice-pro-elektromobily-a-jake-jsou-mezi-nimi-rozdily/>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Elektromobil EMA (Redakce Elektřina.cz, 2018)	13
Obrázek 2: Dobíjecí konektor typu GB/T (Attorney general's department, 2024)	18
Obrázek 3: Dobíjecí konektory pro elektromobily (a.s, 2018)	18
Obrázek 4: Veřejná nabíjecí stanice od automobilky Tesla (www.benes-michl.cz, 2019)	20
Obrázek 5: Uložení akumulátoru v elektromobilu (Mercedes-Benz, 2024)	24
Obrázek 7: Horníci pracující v kobaltovém dole Tulwizembe v Demokratické republice Kongo (Home & Home, 2021)	29
Obrázek 8: Horníci v dole Shabara v Demokratické republice Kongo (News, 2023)	30

10. Seznam grafů

Graf 1: Počet veřejných dobíjecích bodů v jednotlivých krajích (Čistá doprava & Centrum dopravního výzkumu, 2023)	16
Graf 2: Podíl veřejných dobíjecích bodů dle způsobu připojení (Čistá doprava & Centrum dopravního výzkumu, 2023)	19
Graf 3: Emise skleníkových plynů v EU v letech 1990-2021 (Fakta o klimatu, 2021)	21
Graf 4: Emise produkované v dopravě (Evropský parlament, 2019)	22
Graf 5: Energetická mix v ČR v roce 2020 (Evropa v datech, 2022)	23

11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání ekologické stopy elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem	32
Tabulka 2: Porovnání výhod elektromobilu s automobilem se spalovacím motorem	33
Tabulka 3: Porovnání nevýhod elektromobilu s automobilem se spalovacím motorem	34