VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DOPAD MASIVNÍ ELEKTROMOBILITY NA ČESKOU REPUBLIKU

IMPACT OF MASSIVE ELECTROMOBILITY ON THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Řeha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**David Řeha**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Petr Hejtmánek, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Dopad masivní elektromobility na Českou republiku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S ohledem na aktuální strategii Evropské unie je pravděpodobné, že se dále bude výrazně zvyšovat podíl vozidel s elektrickým pohonem i v České republice. Od roku 2035 je navíc navrhováno zatížit prodej vozidel se spalovacím motorem v EU natolik, že se prakticky budou prodávat pouze vozidla s elektrickým pohonem. Práce by se měla odhadnout na základě dostupných informací, jaký by převážné elektrická doprava měla vliv na Českou republiku a její občany.

Cíle bakalářské práce:

Odhad ekologického dopadu masivní elektromobility
Posouzení dopadu elektromobility na výrobu elektrické energie a její distribuci
Určení ekonomických dopadů elektromobility
Odhad dalších možných efektů elektromobility

Seznam doporučené literatury:

KASTEN, Peter, BRACKER, Joss, HALLER, Markus, PURWANTO, Joko. Assessing the Status of Electrification of the Road Transport Passenger Vehicles and Potential Future Implications for the Environment and European Energy System. Berlin: OEKO-Institut, Transport & Mobility Leuven, TNO, Trinomics, Specific Contract under Framework Contract EEA/ACC/13/003, 2016.

ŽIVČÁK, Jozef, KADÁROVÁ, Jaroslava, PUŠKÁR, Michal, KOČIŠOVÁ, Michaela, LACHVAJDEROVÁ. Laura.Expected Impacts of the Massive Increase in Electric Vehicles in Slovakia. Basel: Applied Sciences 10(24), 2020. DOI:10.3390/app10248945.

KLETTKE, Annika, MOSER, Albert, BOSSMAN, Tobias, BERBERI, Paul, FOURNIÉ, Laurent. Effect of Electromobility on the Power System and the Integration of RES. European Commission, S13 Report. 2018.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá dopadem masivního rozvoje elektromobility v České republice. Její důležitosti nahrává fakt, že se stále více hovoří o udržitelnosti rozvoje naší planety. Práce popisuje současný stav elektromobility, postoj státu k této problematice a predikce počtu těchto vozidel. Dále se věnuje analýze dopadu postupného nárůstu množství elektromobilů a dopadu užívání pouze elektrických vozidel, a to po stránce energetické, kde se očekává velký nárůst výroby a následně spotřeby elektrické energie, ekologické, kde je předpokládán pokles emisí, a ekonomické, ve které je odhadován nárůst investic a úbytek příjmů státního rozpočtu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektromobilita, elektromobil, spotřeba energie, životní prostředí, dopad

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the impact of the massive development of electromobility in the Czech Republic. Its importance is compounded by the fact that there are more and more speculations about the sustainability of our planet's development. This document describes the current state of electromobility, the state's position on this issue and the prediction of the number of these vehicles. It also analyzes the impact of a gradual increase of electric cars and the impact of using only electric vehicles, in terms of energy, where a large increase in electricity production and consumption is expected, ecological, where emissions are expected to decrease, and economic, where an increase of investment is expected and a decrease in state budget revenues.

KEYWORDS

Electromobility, electric vehicle, energy consumption, environment, impact

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEHA, D. *Dopad masivní elektromobility na Českou republiku*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Petr Hejtmánek. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139351.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Hejtmánka, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022 ……..…….

David Řeha

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Petru Hejtmánkovi, Ph.D. za cenné rady v průběhu psaní mé tvorby a průběžné konzultace, kterými byl vždy vyhodnocen správný proces postupu. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přítelkyni, kteří mě po celý rok podporují.

OBSAH

Úvod **10**

1 Elektromobil a elektromobilita **11**
1.1 Historie vývoje elektromobility 11
1.2 Elektromobilita 12
1.3 Elektromobil 12
1.3.1 Druhy elektromobilů 12
1.3.2 Baterie 13

2 Současný stav elektromobility **15**
2.1 Mezinárodní klimatické dohody 15
2.2 Národní akční plán čisté mobility 16
2.2.1 Strategické cíle NAP CM 16
2.2.2 Aktualizace NAP CM 17
2.3 Aktuální stav elektromobilů 17
2.4 Predikce počtu elektromobilů 18
2.5 Nabíjení elektromobilů 19
2.5.1 Druhy nabíjecích stanic 20
2.5.2 Nabíjecí síť 21
2.6 Státní podpora elektromobilů 22

3 Dopad nárůstu elektromobility **23**
3.1 Energetický dopad 23
3.1.1 Spotřeba elektromobilu 24
3.1.2 Predikce spotřeby elektrické energie 28
3.1.3 Vliv nárůstu spotřeby na elektrizační soustavu 30
3.2 Vliv na životní prostředí 33
3.2.1 Emise oxidu uhličitého 35
3.2.2 Emise ostatních plynů 36
3.2.3 Snižování emisí 38
3.2.4 Recyklace baterií 41
3.3 Ekonomický dopad 42
3.3.1 Úprava elektrizační sítě 42
3.3.2 Nižší příjem daní státu 42
3.3.3 Návratnost elektromobilů 44
3.3.4 Nabíjecí infrastruktura 44
3.4 Další možné dopady 45

4 Úplná elektromobilita **47**

Závěr **49**

Použité informační zdroje **50**

Seznam použitých symbolů **56**

Seznam použitých zkratek **58**

ÚVOD

Během posledního století se stala doprava nedílnou součástí našich životů. Umožňuje nám rychlý a efektivní přesun mezi dvěma místy, přepravu veškerého zboží a komodit, a to napříč celým světem za krátký čas a možnost pohybovat se bez omezení kdykoli a kdekoli.

Na první pohled doprava, jako široce obsáhlý pojem, vypadá obdivuhodně, ale představuje řadu otázek a problémů, s nimiž se nepotýkají jen některé státy, ale celý svět. Narůst dopravy během minulého století proměnil naši planetu v síť asfaltových cest, železničních a leteckých koridorů a transformoval krajinu do dnešní podoby. Stále zvyšující se počet vozidel na silnicích má neblahý dopad kvalitu životního prostředí, protože téměř všechna vozidla využívají ke svému pohonu spalovací motor, a to buď zážehový (benzínový) nebo vznětový (dieselový). Nežádoucím produktem spalování jsou emise oxidu uhličitého a dalších plynů, které unikají do okolní atmosféry a dochází tak ke skleníkovému efektu, a následně ke globálnímu oteplování.

Dnešní doba vnímá dopravu pomocí automobilů jako samozřejmost a určitý standart. Denně ji využívají milióny lidí napříč celým světem. Následkem toho je každým dnem vyprodukováno obrovské množství emisí, a tím dochází ke zhoršování kvality ovzduší. Proto je nezbytné jejich množství eliminovat. Začínají vznikat nízko emisní a bezemisní vozy a dochází k nahrazování spalovacích motorů alternativními způsoby, především elektromotory. Právě alternativní paliva, zejména elektrická energie, získaná z obnovitelných zdrojů využívána k pohonu vozidel namísto fosilních paliv, znamená budoucnost v dopravě.

Vliv, který způsobil masivní rozvoj dopravy, je nám znám, ale dopad, jaký způsobí nahrazování automobilů se spalovacími motory elektromobily, ten není úplně jasný. Analýzou predikce nárůstu množství elektromobilů lze odhadnout navýšení výroby a spotřeby energie, náklady na výstavbu infrastruktury nabíjecích stanic i vliv na životní prostředí.

1 ELEKTROMOBIL A ELEKTROMOBILITA

V rámci úvodu poznání této problematiky je hodné, aby byl nastíněn historický vývoj elektromobility. Poukázání toho, co dnes bereme jako inovativní a alternativní způsob dopravy, je pouhým zdokonalením téměř 200 let starého nápadu. Dále objasnění pojmu elektromobil, který neoznačuje pouze vozidla čistě na elektrický pohon, ale širší skupinu vozidel využívající k pohonu i spalovací motor.

1.1 HISTORIE VÝVOJE ELEKTROMOBILITY

V počátcích osobní přepravy se nabízely možnosti všech, v té době známým, využívaných pohonů. Dopravní prostředky byly poháněny například párou nebo taženy koňmi. Vývoj v oblasti dopravy se stal novým směrem, jímž se mohli vydat průkopníci v průběhu 19. stolení.

První elektrické vozidlo vzniklo v roce 1835 v dílně holandského profesora Sibranduse Stratingha. Avšak tento vůz nevypadal jako automobil. Jednalo se pouze o model v menším provedení, který obsahoval baterie, které nešlo opakovaně nabíjet. První oficiálně uznané vozidlo na světě, bráno jako elektromobil, vzniklo pod rukama Francouze Gustava Trouvé roku 1881 v Paříži. Jednalo se o tříkolové vozidlo, které mělo pomocné pedály. O osm let později, Francouz Charles Jeantaud založil první automobilku, která vyráběla pouze elektrické vozy. [1]

Jak je známo, konec 19. století a počátek 20. patřil technologickým soupeřením o celková světová prvenství. Elektromobil značky Jeantaud vytvořil rychlostní rekord, kdy v roce 1899 zaznamenal rychlost 92 km/h. Ještě téhož roku byla tato rychlost překonána elektromobilem, který přeročil hranici 100 km/h. Rekordy byly zaznamenány i v ujeté vzdálenosti. Vůz Jeantaud ujel v roce 1899 vzdálenost 140 kilometrů bez dobíjení a následující rok to bylo úctyhodných 262 kilometrů. [2]

Na počátku 20. století tvořily 40 % všech provozovaných aut právě elektromobily. Jejich slabou stránkou byla nízká provozní rychlost a malá dojezdová vzdálenost. Na trhu měly silnou konkurenci, a tou byly automobily s vnitřním spalovacím motorem. Usilovně se pracovalo se na zdokonalování kapacity baterií, a tím možnosti navýšení dojezdu. Ale ani to nebylo dostačující v době, kdy se stal benzín levým a dostupným zbožím, což mělo za důsledek, že elektromobily ve 30. letech téměř zmizely z trhu. [3]

Jejich návrat se konal v 70. letech minulého století. Důvodem byla celosvětová ropná krize a nejistota dodávek ropy. Začaly se tedy hledat alternativy udržitelného zdroje energie, a tím se nabízely právě elektromobily. Dávaly lidem naději, že se v budoucnu obejdou bez ropy. Dalším impulzem se jevila snaha o zmírnění znečištění ovzduší. [3]

Výrobci automobilů se zabývali možnostmi nahrazení fosilních paliv alternativními palivy. Navýšení dojezdové vzdálenosti elektrických vozidel však nebylo nikterak výrazné a cena baterií učinila auto drahým prodejním artiklem. Změna nastala s příchodem lithium-iontových

baterií, které byly mnohonásobně levnější a udržovaly stálou kapacitu. To mělo za následek snížení cen elektromobilů, které se staly dostupnějšími. [4]

1.2 ELEKTROMOBILITA

Elektromobilita znamená nový a rozmanitý způsob dopravy. V dopravních prostředcích, zejména automobilech, dochází k nahrazování konvenčních paliv elektřinou. Elektromotor, jakožto pohonná jednotka, přeměňuje elektrickou energii na mechanickou. Během tohoto procesu nevznikají žádné emise a jedná se tedy o ekologicky šetrný způsob dopravy. Oproti tomu spalovací motory mají negativní vliv na udržitelnost rozvoje a zachování kvality životního prostředí. Produkují řadu škodlivých látek a podílí se na zhoršení emisního stavu ovzduší ve velkých městech a regionech. V posledním desetiletí nabývá elektromobilita na významu a postupně nahrazuje dopravu, jakou ji známe doposud.

1.3 ELEKTROMOBIL

Elektromobil, jak z názvu vyplývá, je automobil, nebo také elektrické vozidlo používající pro pohon elektrickou energii pomocí elektromotoru. V odborných článcích či textech se lze setkat se zkratkou EV (angl. Electric Vehicle). Elektromobily si elektrickou energii uchovávají v bateriích (akumulátorech). Kromě výše uvedeného pohonu těchto vozidel jsou dostupná i další provedení, u kterých je pohon kombinován se spalovacím motorem. V takových případech se jedná o hybridní vozidlo. [5]

Elektromotor přeměňuje elektrickou energii vlivem elektromagnetických účinků na mechanickou energii, rotační pohyb, který pohání kola vozidla. Výhodou elektromotorů je jejich vysoká účinnost, která se pohybuje kolem 90 %, kde se jen zlomek energie spotřebovává v teplo a mechanické ztráty. V porovnání, u spalovacích motorů je účinnost v rozmezí 30-40 %. [6]

1.3.1 DRUHY ELEKTROMOBILŮ

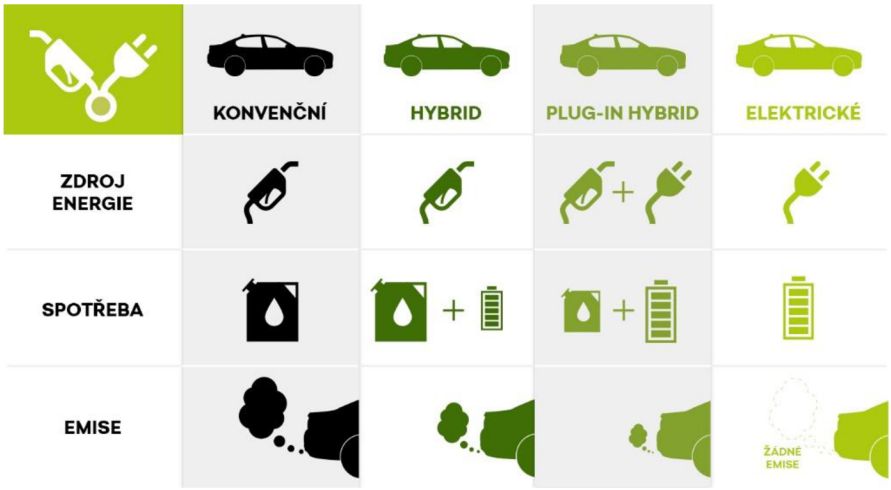
Jak již bylo zmíněno, existuje více druhů elektromobilů. Ty se dělí podle způsobu využívání elektrické energie a možné kombinace se spalovacím motorem.

Vozidlo využívající ke svému pohonu pouze elektřinu, se nazývá bateriové elektrické vozidlo, zkr. BEV (angl. Battery Electric Vehicles). Elektrická energie je uchovávaná v bateriích a elektromotor čerpá energii pro pohon hnacího ústrojí z baterie.

Vozidla obsahující oba typy motorů (spalovací i elektromotor), se nazývají hybridní elektromobily zkr. HEV (angl. Hybrid Electric Vehicle). Ty se dále dělí podle uspořádání hnacího ústrojí. Sériový hybrid využívá spalovací motor k dobíjení baterie, která následně pohání elektromotor. Častěji vyráběným hybridem je tzv. paralelní hybrid, u kterého je spalovací motor i elektromotor propojen převodovkou, k pohonu vozidla může být využíván jeden nebo oba motory najednou. Hybridní elektromobil se nedá externě dobíjet. Energii pro

baterii získává buď výrobou ze spalovacího motoru anebo akumulací energie při brždění, které se říká rekuperace.

Vozidlo, obsahující spalovací motor a elektromotor, a které lze zároveň nabíjet z dobíjecích stanic či zásuvek, se nazývá Plug-in Hybrid, zkr. PHEV (angl. Plug-In Hybrid Electric Vehicle). Díky tomuto provedení lze využít výhody elektromobilů i aut se spalovacím motorem. Jelikož se jedná z části čistě o elektromobil, nabývá na významu především ve velkých městech. [7] Porovnání výše zmíněných druhů elektromobilů je patrné z obrázku 1.



Obr. 1 Grafické porovnání konvenčního vozidla a elektromobilů [7]

1.3.2 BATERIE

Klíčovou součástí elektromobilů je baterie sloužící k uchovávání elektrické energie pro provoz vozidla. Jedná se o nejdůležitější a nejdražší část vozidla. Otázka ohledně baterií budí ve společnosti rozruch. Jde o velice kontroverzním téma, především v souvislosti zátěže na životní prostředí při její recyklaci.

Baterii elektromobilů tvoří moduly, což jsou soustavy vzájemně propojených článků. Tyto články jsou základními elementy celé baterie a jejich počet udává její celkovou kapacitu. Právě kapacita je rozhodující faktor pro výsledný dojezd vozidla. Mezi základní parametry baterie patří vnitřní odpor. Ten ovlivňuje maximální výkon baterie. Se snížením vnitřního odporu dojde ke zvýšení výkonu. Výkon je vyjádření intenzity práce jako součin napětí a elektrického proudu. Jednotka je watt (W, resp. kW). Kapacita baterie udává, jak velký maximální výkon dokáže baterie dodávat po dobu jedné hodiny. Jednotka je tedy Wh, resp. kWh. Dojezd se tedy snadno spočítá jako podíl celkové kapacity baterie a spotřeby elektrické energie elektromobilu. [8],[9]

POUŽÍVANÉ TYPY BATERIÍ

Lithium-iontové baterie (Li-ION) jsou nejrozšířenějším typem. Díky ideálnímu poměru výkonu k hmotnosti a vysoké účinnosti jsou využívány nejen v elektromobilech, ale i v běžné

elektronice. Dodávají dobrý výkon i při vysokých teplotách a mají nízkou rychlost samovybíjení.[10]

Nikl-metal hydridové baterie (Ni-MH) jsou využívány v hybridních elektromobilech. Mezi jejich přednosti patří životnost, ale mají velkou rychlost samovybíjení. Tato vlastnost vyhovuje právě hybridním vozidlům, které si samy vyrábí elektřinu a tou pohání v daný okamžik elektromotor, a energie je uchovávaná pouze krátkou dobu. [10]

Olověné baterie (Lead Acid) se používají jako sekundární uložiště energie u aut se spalovacím motorem a startovací zdroje energie. Jde o nejlevnější a nejvýkonnější provedení baterie, ale při nižších teplotách výkon razantně klesá.

Baterie na bázi lithia nejsou pouze Li-ION. Existuje celá řada druhů baterií na bázi lithia, jako jsou lithium-polymerové baterie (LiPO) nebo lithium-železo-fosfátové baterie ($LiFePO_4$). Jak název jednotlivých typů napovídá, liší se jednotlivým chemickým složením elektrod. [11]

ŽIVOTNOST BATERIÍ

Délka životnosti baterií je ovlivněna řadou faktorů. Velká část z nich má spíše negativní vliv, a tím zkracují životnost baterií. Významný poddíl na životnosti baterií mají extrémní teploty, a to jak nízké zimní mrazy, tak i vysoké letní horka. Druhým faktorem je způsob dobíjení, kdy bateriím méně škodí střídavý proud při nižších dobíjecích výkonech oproti stejnosměrném proudu při vysokých dobíjecích výkonech. Mezi další vlivy patří prudká zrychlení, rekuperace elektrické energie při brzdění, vnější vlhkost a vibrace vozu. Pro zachování maximální doby živostnosti se doporučuje vyhýbat těmto negativním vnějším vlivům, přičemž řádným užíváním lze prodloužit život baterie až dvojnásobně. Například elektromobily značky Volkswagen nebo BMW uvádí, že po 8 letech nebo ujetí 160 000 kilometrů bude baterie disponovat nejméně 70 % původní kapacity.

Nicméně i baterie s nižšími kapacitami najdou svá uplatnění v podobě tzv. druhého života. Druhý život (angl. Second life) baterií spočívá v uchovávání vytvořené elektrické energie pro pozdější užití. Tato uložiště budou mít v budoucnu velký význam pro uchovávání elektrické energie především z čistých zdrojů energií pro vyrovnávání zátěže sítě nebo pro samostatné ostrovní systémy. [12]

RECYKLACE BATERIÍ

Nařízení Evropské komise o recyklaci baterií elektromobilů aktuálně udává, že minimálně 50 % hmotnosti baterie se musí recyklací získat zpět. [13] Otázka, zda se to daří nebo ne, je na místě. Téměř všechny automobilky vyrábějící elektromobily se zavazují k recyklaci baterií používaných ve svých vozidlech. Snaží se různými technicky proveditelnými způsoby dosáhnout co nejvyšší návratnosti použitých materiálů na baterie zpět. Jedná se především o vzácné kovy, jako jsou lithium, kobalt a nikl, kterých je omezené množství. Proto jsou také Evropskou komisí do budoucna navrženy vyšší limity pro separaci baterií, a to na 65 % v roce 2025 a 70 % v roce 2030. Baterie pro elektro vozy budou muset od roku 2030 obsahovat určitý poddíl kovů získaných právě předešlou recyklací. [14]

2 SOUČASNÝ STAV ELEKTROMOBILITY

Povědomí veřejnosti o elektromobilitě stále roste. Tento jev nesouvisí pouze s finanční dostupností, ale také se zájmem o neustálé zlepšování kvality životního prostředí. Aktuální počty elektromobilů a jejich zvyšující se množství nabízí další otázky, jako je například stabilní a rozsáhlá nabíjecí infrastruktura. To, jakým směrem a jakým tempem se bude ubírat elektromobilita, souvisí s ekologickými dohodami mezi státy a snahou o udržitelnost naší planety.

2.1 MEZINÁRODNÍ KLIMATICKÉ DOHODY

Klimatické změny v posledním století netrápí pouze Evropu, ale zasahují do celosvětového měřítka. Je nutné, aby státy projevily větší odpovědnost za aktuální stav a vývoj životního prostředí jak v regionálním, tak v globálním rozsahu. Klimatické problémy přesahují hranice států i kontinentů a je nezbytné, aby se problémům začaly věnovat mezinárodní organizace a instituce. [15]

DEKLARACE KONFERENCE ORGANIZACE SPOJENÝCH NÁRODŮ O ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Jedná se o první světovou konferenci konanou v roce 1972, jejímž předmětem bylo životní prostředí. Na tomto jednání byly stanoveny základní principy, které formulují vztah a zasahování člověka k přírodě. Tato deklarace se stala základem dalších dohod a úmluv týkajících se životního prostředí. [16]

RÁMCOVÁ ÚMLUVA OSN O ZMĚNĚ KLIMATU

Konference OSN o životním prostředí a rozvoji se konala v roce 1992 v brazilském Riu de Janeiru. Zde byla schválena Úmluva obsahující řadu vyjednávání o možném řešení změny klimatu a snižování emisí skleníkových plynů. Česká republika podepsala Úmluvu v roce 1993 a zavázala se jejím plněním (tj. snižování emisí skleníkových plynů). [17]

PAŘÍŽSKÁ DOHODA

Na podzim roku 2015 se uskutečnilo zasedání konference v rámci Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu. Výsledkem této dohody bylo nastavení dlouhodobého cíle ochrany celosvětového klimatu. Cílem je, aby nárůst globální průměrné teploty nepřesáhnul 2 °C v porovnání s hodnotami celosvětové průměrné teploty před průmyslovou revoluci, a snaha o to, aby nárůst nepřesáhl ani 1,5 °C. V případě, že by se podařilo nepřesáhnout hranici 1,5 °C, snížilo by to riziko a dopad na změny klimatu. Dalším z cílů konference je snížení do roku 2030 emise skleníkových plynů o nejméně 40% v porovnání s rokem 1990. [18]

ZELENÁ DOHODA PRO EVROPU

Zelená dohoda pro Evropu (angl. Green Deal) je soubor opatření schválen Evropskou komisí. Evropská unie si klade za cíl stát se do roku 2050 klimaticky neutrálním kontinentem. Jinými slovy, členské státy EU se budou snažit dosáhnout uhlíkové neutrality. Součástí dohody je návrh obsahující postup na snižování emisí a kroky k přechodu k bezuhlíkové ekonomice.

K dosažení tohoto cíle bude zapotřebí postupovat náležitě ve všech odvětvích hospodářství, a to i v dopravě. [19]

BALÍČEK „FIT FOR 55“

Evropská komise předložila v půlce roku 2021 nejobsáhlejší soubor návrhů ohledně klimatu a energetiky, který navazuje na Zelenou dohodu pro Evropu. Aby se podařilo EU snížit emise natolik, aby v roce 2050 dosáhla uhlíkové neutrality, dala si za cíl do roku 2030 snížit tyto emise skleníkových plynů nejméně o 55 % v porovnání s rokem 1990.

Součástí balíčku byla také vydána směrnice o obnovitelných zdrojích. Ta definuje, jaké zdroje energie jsou brány jako obnovitelné. Bude nutností navýšit poddíl výroby energií právě z obnovitelných zdrojů, a to ze stávajícího 20% na 32% poddíl k roku 2030. Ovšem Evropská komise zvažuje tento cíl ještě navýšit na 38-40 %. [20]

2.2 NÁRODNÍ AKČNÍ PLÁN ČISTÉ MOBILITY

Ministerstvo životního prostředí spolu s ministerstvy dopravy a průmyslu a obchodu vydaly národní akční plán čisté mobility (zkr. NAP CM). Tento dokument vznikl v roce 2015 na základě směrnice Evropského parlamentu a rady (2014/94/EU) o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Evropská unie požaduje, aby si jednotlivé členské státy formulovaly své národní cíle rozvoje této infrastruktury, podle kterých budou následně až do roku 2030 postupovat. Jelikož se jedná o neustálý vývoj, NAP CM je každé tři roky aktualizován. V dlouhodobém měřítku bude České republika usilovat o dosažení rozvoje srovnatelného s vyspělými státy EU, kde je elektromobilita brána jako standard a středem vývoje jsou vodíková auta. [21]

2.2.1 STRATEGICKÉ CÍLE NAP CM

Nastavení strategických cílů rozvoje elektromobility spočívá na plánu provozování 250 tisíc vozů s elektrickým pohonem k roku 2030. [21]

ROZŠÍŘENÍ NABÍJECÍ INFRASTRUKTURY

Bateriová elektrická vozidla jsou omezena svým dojezdem. Nutností bude navýšit počet nabíjecích stanic tak, aby v budoucnu tvořily hustou síť a rovnaly se tak počtu čerpacích stanic. Pro naplnění toho cíle jsou navrženy investice podpory pro výstavbu veřejné i neveřejné dobíjecí infrastruktury, jednotný postup schvalování staveb dobíjecích stanic a zavedení kvót pro developery.

PODNĚCOVÁNÍ POPTÁVEK ELEKTROMOBILŮ

Vysoká pořizovací cena elektromobilů je jednou z příčin pomalého rozvoje. Návratnost vozu může urychlit například snížení pořizovací ceny, ale to v současnosti není možné. Z tohoto důvodu byla vydána opatření, která alespoň snižují jejich provozní náklady. Jedná se o podporu nákupu elektro vozů pro podnikatele, instituce státní správy a samosprávy a pro

dopravní podniky zajišťující veřejnou dopravu. Výhodou je také zrušení úhrady dálničních poplatků a mýt a úpravy sazeb silničních daní pro vozidla nad 12 tun.

ZLEPŠENÍ VNÍMÁNÍ ELEKTROMOBILITY POTENCIÁLNÍCH ZÁKAZNÍKŮ

Řada možných zákazníků má předsudky vůči elektromobilům, zejména kvůli diskutované výdrži baterie. Kupní nezájem ze strany uživatelů způsobuje omezenou nabídku vozidel. V mnoha evropských státech mají řidiči různá přednostní práva, díky kterým se lepší pohled na elektormobilitu. Pro zlepšení vnímání elektromobility nových potenciálních zákazníků je navrženo využívání pruhů určených pro autobusy a taxi, zdarma využívaní veřejných parkovišť a vyhrazených míst, jako jsou modré zóny.

KOORDINACE ROZVOJE NABÍJECÍ INFRASTRUKTURY A DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

Rozvoj elektromobility bude spojen s rozšiřováním nabíjecí infrastruktury a ta je spojena s distribucí elektrické energie. Vlivem souběžného dobíjení velkého množství vozidel může docházet k výpadkům dodávek elektřiny, především ve špičkových hodinách spotřeby. Plánem je zavedení chytrých sítí (angl. Smart Grids), které pokryjí výkyvy mezi minimálním a maximálním odběrem elektřiny v průběhu dne, a tím zajistí stabilní dodávky energie.

2.2.2 AKTUALIZACE NAP CM

Pravidelná aktualizace NAP CM vychází každé 3 roky. Obsahuje rekapitulaci uplynulých let a zobrazuje aktuální vývoj čisté mobility. K největší změně rozvoje čisté mobility přispěla Pařížská dohoda a Zelená dohoda pro Evropu, která upravuje snížení emisí skleníkových plynů a směřuje EU ke klimatické neutralitě. Aktualizace NAP CM, vydána v roce 2019, je svázána spolu s plány v oblasti energetiky a klimatu. Jedním z akčních kroků je navýšení podílu obnovitelných zdrojů energií v sektoru dopravy z důvodu zvýšení spotřeby energií. [22]

OČEKÁVANÝ VÝVOJ

Součásti plánu čisté mobility je nastíněno několik scénářů počtů elektromobilů na českých silnicích, kterých by mělo být naplněno k roku 2030. Nízký scénář počítá se 220 000 a vysoký s 500 000 registrovanými BEV a PHEV dohromady. Uvedený vývoj se vztahuje pouze na osobní automobily. Počet elektro busů k roku 2030 se odhaduje v rozmezí 800 až 1200. Veškerý vývoj bude záviset mnoha aspektech, jako jsou například finanční podpory pro bezemisní dopravu, dostatečný tržní potenciál a budování nabíjecí infrastruktury. [22]

2.3 AKTUÁLNÍ STAV ELEKTROMOBILŮ

Aktuální přehled týkající se vývoje elektromobility v České republice a počtu nově registrovaných vozidel se zabývá Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (zkr. CDV), sekce Čisté dopravy. Ta pravidelně zpracovává a publikuje aktuální informace ohledně stavu vozového parku a počtu dobíjecích stanic jak u nás, tak i v EU.

V uplynulém roce bylo v ČR registrováno celkem 6381 nových osobních elektromobilů, z nichž 2646 tvořily BEV a 3735 PHEV. [23] Celkový počet registrovaných vozidel na

elektrický pohon k 31. 12 2021 činil 22 533. Ovšem do tohoto počtu jsou zahrnuty veškeré kategorie vozidel, včetně lehkých užitkových vozidel, elektro skútry, čtyřkolky, autobusy a nákladní vozidla. Počet registrovaných osobních elektromobilů ke konci roku 2021 bylo v centrálním registru vozidel 15 128. V tabulce 1 je zobrazen vývoj registrace elektromobilů uplynulých let.

Tab. 1 Počet registrovaných elektromobilů k 31. 12 daného roku [24]

Rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
BEV	618	879	1 407	2 372	3 523	6 635	9 969
PHEV	97	188	321	498	901	2 400	5 159
Celkem	715	1 067	1 728	2 870	4 424	9 035	15 128

Ke konci roku 2021 bylo registrováno také 107 autobusů, 744 malých nákladních vozidel do provozní hmotnosti 3,5 tun a také 6 nákladních vozidel převyšující hmotnost 12 tun. [24]

2.4 PREDIKCE POČTU ELEKTROMOBILŮ

V rámci aktualizace NAP CM se hovoří o nízkém a vysokém scénáři vývoje počtu vozidel v ČR. Avšak tyto data částečně vychází z předpovědí vývoje elektromobility zpracovanou společností EuroEnergy v roce 2018. Ta zahrnuje do odhadu počtu elektromobilů různé vlivy, jako jsou předpovědi počtu obyvatel, předpovědi registrovaných vozidel, koeficienty počtů automobilů na osobu a počty přivezených automobilů ze zahraničí. Na základě uvedených faktorů byly vyhodnoceny tři verze scénářů, které jsou podrobně uvedeny v tabulce 2, podle kterých by se potenciálně mohla elektromobilita do budoucna vyvíjet. [25]

Tab. 2 Předpověď vývoje dle EuroEnergy [25]

Předpověď počtu EV		2020	2025	2030	2035	2040
Nízký scénář	BEV	2 856	5 159	25 811	93 716	231 245
	PHEV	1 251	5 832	48 521	124 151	237 818
	Celkem EV	4 107	10 991	74 332	217 867	469 063
Střední scénář	BEV	3 660	24 519	74 022	268 338	630 902
	PHEV	4 890	46 078	126 626	281 081	459 589
	Celkem EV	8 550	70 597	200 648	549 419	1 090 491
Vysoký scénář	BEV	16 828	158 903	523 308	1 074 609	2 118 960
	PHEV	7 368	74 075	262 480	516 789	972 929
	Celkem EV	24 196	232 978	785 788	1 591 398	3 091 889

Nízký scénář vycházel v té době dle aktuálního a meziročního růstu prodeje EV v Česku a byl modelován do roku 2023. Po tomto období byl předpoklad vyššího nárůstu prodeje. Střední scénář byl navrhnut podle vývoje počtu EV v NAP CM do roku 2030, kdy je očekáváno nasycení trhu, a tím zpomalení růstu počtu provozovaných elektro vozidel na našich silnicích. A zároveň, v důsledku zpřísňování emisních požadavků po roce 2030, bude snižováno množství vozidel se spalovacími motory, které nebudou splňovat dané emisní normy. Také se očekává pokles cen elektro vozidel, čímž se stanou dostupnějšími. Vysoký scénář zahrnuje cíl, kterým by mohla ČR dosáhnout 30% tržního poddílu prodeje elektromobilů z celkového počtu prodeje aut roce 2030. [25]

Predikcí předpovědi počtu elektromobilů, která je zobrazena v tabulce 3, se zabýval i Svaz dovozců automobilů (zkr. SDA), který došel k závěru, že v roce 2030 bude přibližně 220 tisíc EV, a tato hodnota je také použita pro nižší scénář počtu elektromobilů dle NAP CM.

Tab. 3 Předpověď počtu EV podle SDA [26]

Rok	2020	2025	2030
Předpověď počtu EV	5200	68 200	217 200

Součástí přechodu od spalovacích motorů k elektromobilitě směřují také autobusy a nákladní vozidla. Procento zastoupení elektro autobusů v městské a meziměstské dopravě bude ovlivněno povinností využívat určitý poddíl čistých vozidel. Hovoří se o 20 % bezemisních autobusů, tedy elektro busů, do roku 2025 a 30 % do roku 2030. U nákladních vozidel se počítá s alternativním pohonem na vodík. Využívání elektrické energie z baterií v kamionové dopravě není prozatím efektivní. Důvodem je nutnost použití velkokapacitních baterií, které umožní překonání velkých dojezdových vzdáleností. Podle dat zpracovaných EuroEnergy je v tabulce 4 srovnání scénářů u obou vozidel. [25]

Tab. 4 Předpověď počtu elektro autobusů a nákladních vozidel [25]

Předpověď počtu EV		2020	2025	2030	2035	2040
Elektro autobusy	Nízký scénář	47	147	286	516	784
	Střední scénář	102	386	583	890	1 539
	Vysoký scénář	127	495	978	1 452	2 459
Nákladní elektrovozidla	Nízký scénář	0	0	0	1 635	5 778
	Střední scénář	0	0	1 606	5 693	10 376
	Vysoký scénář	0	1 568	5 581	10 220	16 204

2.5 NABÍJENÍ ELEKTROMOBILŮ

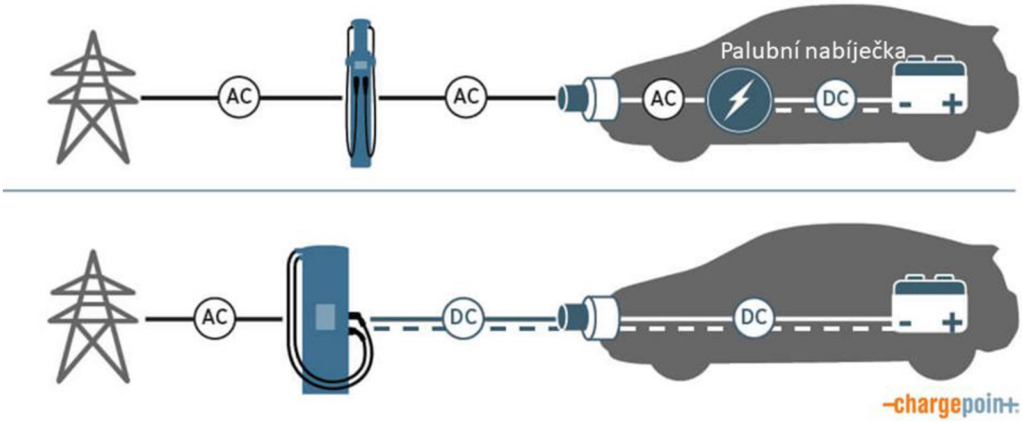
Stejně jako v dnešní době slouží čerpací stanice pro doplnění pohonných hmot, u elektromobilů se jedná o nabíjecí stanice, kde se pomocí elektrického kabelu doplňuje elektrická energie do akumulátoru vozidla. Na první pohled se jedná o jednoduchou

záležitost, přesto přináší řadu komplikací. Doposud bylo zvykem trávit čas na čerpacích stanicích v řádech minut, u dobíjecích stanic se prodlouží tato doba až na desítky minut, mnohdy i hodin. Doba strávená nabíjením je dána výkonem nabíjecí stanice a maximálním výkonem, který je schopna přijímat baterie. Jelikož se jedná o významné omezení, nabíječky nebývají pouze součástí čerpacích stanic, ale využívají míst, kde tráví lidé čas v řádech hodin, jako jsou například parkoviště obchodních středisek, přilehlé části městských center, poblíž městských institucí a sportovních areálů. Řada firem již nabízí využívání vlastních nabíjecích míst jako zaměstnanecký benefit. Nabíjet vozidla lze samozřejmě i z pohodlí domova, pouze čas strávený připojením do sítě bude výrazně vyšší.

2.5.1 DRUHY NABÍJECÍCH STANIC

Nabíjení elektromobilů se rozlišuje podle rychlosti nabíjení na pomalé, rychlé a superrychlé. Každý typ nabíjení se liší druhem proudu, typem nabíjecího konektoru a také dodávaným výkonem, který právě ovlivňuje zmíněnou rychlost.

Elektrický proud může být buď střídavý, který je označován AC (angl. Alternating Current), nebo stejnosměrný, označován DC (angl. Direct Current). Se střídavým proudem se setkáváme v elektrizační síti, protože je výhodnější pro přenos elektřiny na dlouhé vzdálenosti s malými ztrátami. Naproti tomu stejnosměrný proud, který je vhodnější pro uchování elektrické energie v bateriích. Při AC nabíjení vstupuje do vozidla proud, který prochází přes palubní nabíječku, jak je patrné z obrázku 2. V ní dochází k usměrnění proudu na stejnosměrný, který je baterie schopna ukládat. Výkon palubní nabíječky hraje důležitou roli v rychlosti dobíjení, protože právě tato hodnota určuje maximální výkon, kterým lze dobíjet baterii. Na druhou stranu při stejnosměrném (DC) nabíjení vstupuje do vozidla proud, který neprochází přes palubní nabíječku a je rovnou ukládán do baterie. Z tohoto důvodu se výkony stejnosměrných nabíjecích stanic pohybují mezi 50 až 150 kW (i vyšší) a čas strávený nabíjením je výrazně nižší. Doporučuje se však používat v prvé řadě AC nabíječky, které jsou šetrnější k baterii. [27] Oba způsoby dobíjení a jejich srovnání je možné vidět na obrázku 2.



Obr. 2 Nabíjení elektromobilů AC / DC nabíječkou, upraveno z [28]

POMALÉ NABÍJENÍ

Pomalé nabíjení (Slow chargers) je nejjednodušší způsob nabíjení elektromobilů kdekoli a kdykoli. Jmenovitý výkon nabíjení se pohybuje mezi 2,3 kW až 6 kW. Nejpoužívanější typ pomalých nabíječek je navržen na 3,6 kW při střídavém proudu (AC) 16 A, kdy se jedná o nabíječku do klasické zásuvky. Délka do plného nabití vozidla trvá v rozmezí 8 až 12 hodin. [29]

RYCHLÉ NABÍJENÍ

Rychlé nabíjení (Fast chargers) je nejběžnější způsob veřejného dobíjení elektromobilů. Jmenovitý výkon je mezi 7 kW až 22 kW. Při běžném výkonu rychlé nabíječky 22 kW a střídavém proudu (AC) 32 A, se elektromobil nabije v řádech jednotek hodin 2-5. [29]

SUPERRYCHLÉ NABÍJENÍ

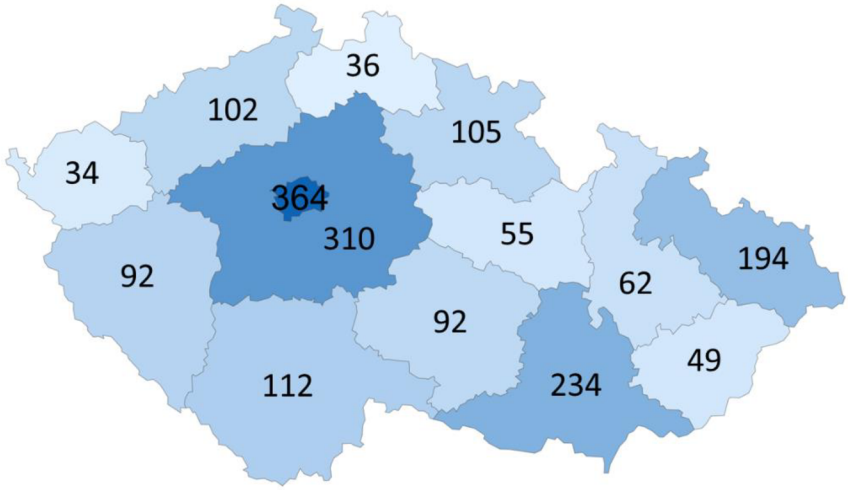
Superrychlé nabíjení (Rapid chargers) je nejrychlejším způsobem dobití elektromobilů. Obvykle se tento typ vyskytuje v blízkosti dálnic, kdy je prioritou maximální nabití baterie za co nejkratší čas. Tyto superrychlé nabíječky dobíjejí vozidlo především stejnosměrným proudem (DC). Jmenovitý výkon superrychlých nabíječek dosahuje nad 50 kW. Při jmenovitém výkonu 50 kW a proudu 125 A se elektromobil nabije na 80 % kapacity baterie v řádech desítek minut (20-60 minut). Existují i výkonnější ultra rychlé nabíječky (Ultra-Rapid Chargers). Ty disponují výkonem při stejnosměrném proudu 100 kW až 150 kW, nebo dokonce i 350 kW. Za zmínku stojí i Supercharger společnosti Tesla, který může nabíjet výkonem až 150 kW. [29]

WALLBOXY

Tento typ nabíjení, pomocí tzv. wallboxů, je rozšířen pro domácí či malé firemní užití. Jedná se o nabíječky, které lze upevnit např. na stěny nebo na stojan. Jejich výhodou je, že při vyšším napětí, např. 400 V, dokáží nabíjet až 22 kW, nicméně však záleží na velikosti vstupního napětí. Obvykle mívají výkon 3,7 kW, 11 nebo až zmiňovaných 22 kW. Mimo jiné tyto nabíječky komunikují se vzdálenými servery a s uživateli, kteří mohou sledovat diagnostiku nebo řídit výkon nabíjení. Některé chytré wallboxy komunikují i s distribuční soustavou a efektivně využívají výkyvů zatížení sítě. [30]

2.5.2 NABÍJECÍ SÍŤ

Jak již bylo zmíněno v kapitole NAP CM, spolu s rostoucím počtem elektromobilů se bude muset rozvíjet i síť nabíjecích stanic. Stanice se dělí na veřejné a neveřejné. Jedná se o zařízení, které, které obsahuje jeden nebo více dobíjecích bodů a dobíjecí bod místo pro dobíjení jednoho vozidla v daný okamžik. [31] První registrované stanice pro elektromobily se začaly budovat v roce 2011 a k datu 31. 12. 2021 bylo evidováno 944 veřejných stanic a 1841 dobíjecích bodů. Na obrázku 3 jsou zobrazeny kraje a aktuální počet nabíjecích stanic v každém z nich. Je patrné, že největšího počtu stanic dosahují nejhustěji obydlené oblasti, jako hlavní město Praha, Středočeský, Jihomoravský a Moravskoslezský kraj. [32]



Obr. 3 Počet dobíjecích stanic v krajích k 31. 12. 2021

Dle aktualizace NAP CM se také odvíjí různé scénáře počtu stanic. Při nižším scénáři, tj. 220 000 vozidel, v roce 2025 je plánováno provozovat 6 200 dobíjecích bodů, respektive 19 000 bodů v roce 2030. Při horní hranici scénáře, tj. 500 000 vozidel, v roce 2025 je plánován počet dobíjecích bodů na 11 000, respektive 35 000 bodů k roku 2030. Ukazatelem rozvoje počtu dobíjecích stanic je podíl aktuálního počtu elektromobilů a počtu dobíjecích bodů. Tato hodnota so pohybuje v Česku mezi 7-9 automobily na jeden dobíjecí bod. [22]

2.6 STÁTNÍ PODPORA ELEKTROMOBILŮ

Důležitým aspektem růstu počtu vozidel na elektrický pohon je finanční podpora státu a EU. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR vydalo Národní plán obnovy, který popisuje způsob čerpání unijních finančních prostředků. Součástí této široce zaměřené dotační oblasti, fyzická infrastruktura a zelená tranzice, je i bod Čistá mobilita, na kterou bylo vyčleněno 4 884 miliónu korun. Mezi plánované investice do elektromobility patří urychlené vybudování dobíjecí infrastruktury, veřejné i neveřejné, finanční podpora nákupu elektromobilů pro obce, kraje, státní správu a podnikatelské účely. Finanční podpora je vypočtena z rozdílu cen vozidel s elektromotorem a spalovacím motorem. Velké firmy mohou získat až 40 % rozdílu, v maximální výši 225 000 korun, malé podniky až 60 %, v maximální výši 337 000 korun a státní podniky až 50 % rozdílu a částku 281 000 korun. [33]

3 DOPAD NÁRŮSTU ELEKTROMOBILITY

V předchozí kapitole je popsán aktuální stav elektromobility. Na základě dostupných informací a předpovědí očekávaného vývoje, je možné odhadnout masivní dopad této oblasti v ČR. Tento rychlý rozvoj elektromobility bude mít vliv na změny v oblasti energetiky, zejména na výrobu a distribuci elektrické energie, na oblast životního prostředí, kde by mělo dojít ke snížení ekologické zátěže planety a oblast ekonomickou.

3.1 ENERGETICKÝ DOPAD

Na počátku je potřeba objasnit, jaká je účinnost od přivedené elektrické energie ze sítě do nabíjecí stanice a následná cesta přes palubní nabíječku do baterie, jaké ztráty vzniknou přeměnou elektrické energie na mechanickou a jaká bude reálná hodnota ujetých kilometrů.

ENERGETICKÁ BILANCE ČR

Spotřebu elektrické energie v ČR zveřejňuje Energetický regulační úřad (zkr. ERÚ). V podrobném přehledu výroby a spotřeby elektřiny se vyskytují pojmy brutto a netto. Výroba elektřiny brutto udává, kolik se celkově vyrobí elektrické energie na svorkách generátoru elektráren. Výroba netto elektřiny udává rozdíl mezi celkovou výrobou elektrické energie a vlastní spotřebou elektrárny pro její provoz a ztrátami v elektrizační soustavě. Jinými slovy, netto výroba elektřiny je vyrobená elektřina nezahrnující výrobní náklady a přenosové ztráty.

Spotřeba elektřiny v průběhu posledních deseti letech plynule stoupala, avšak v roce 2020 došlo k mírnému propadu, což bylo zapříčiněno celosvětovou pandemií. V tabulce 5 jsou uvedeny průměrné tuzemské brutto a netto spotřeby, dále vlastní spotřební náklady na výrobu elektřiny a celkové ztráty v přenosové a distribuční soustavě za uplynulých 10 let.

Tab. 5 Průměrné hodnoty roční spotřeby elektřiny mezi lety 2011 – 2020 (v GWh) [34]

Tuzemská brutto spotřeba	71 725
Tuzemská netto spotřeba	60 113
Spotřeba na výrobu elektřiny	6 053
Ztráty elektrizační soustavy	4 175
Spotřeba přečerpávací vodních elektráren	1 384

Tuzemská průměrná brutto spotřeba je tedy 71 725 GWh a netto spotřeba 60 113 GWh. Právě tolik energie průměrně spotřebuje celá Česká republika za jeden rok včetně průmyslu. Účinnost od výroby elektřiny ze svorek na generátoru až po distribuci do jednotlivých odběrových míst se vypočte ze vztahu:

$$\eta_{el} = \frac{E_{netto}}{E_{brutto}} = \frac{60113}{71725} = 0{,}84 \quad (1)$$

kde η_{el} je účinnost elektrizační sítě od generátoru po odběrová místa [-], E_{netto} je celková průměrná netto spotřeba v ČR [GWh], E_{brutto} je celková průměrná brutto spotřeba v ČR [GWh]. Jinými slovy, na 1 kWh odebíranou odběratelem se vyrobí 1,19 kWh v elektrárně. Tyto ztráty způsobeny elektrizační síti se nedají výrazně snížit.

3.1.1 SPOTŘEBA ELEKTROMOBILU

Pro určení spotřeby elektromobilů je nutné zahrnout řadu vlivů. Spotřeba udávaná výrobci je prováděna při daných legislativních podmínkách a při reálném provozu se může lišit. Závisí na terénu, rychlosti a způsobu jízdy. Do této spotřeby elektrické energie je však potřeba zahrnout i samotné nabíjení, při kterém dochází ke ztrátám a proces přeměny střídavého proudu na stejnosměrný. Účinnost dobíjení BEV se tak liší výrobce od výrobce. Některé vozy využívají až 90 % přivedeného výkonu pro dobití akumulátoru, jiné jsou méně účinné a dosahují hodnot kolem 80 %. Německý autoklub ADAC provádí pravidelně tzv. Ecotesty. V roce 2021 vykonal a vyhodnotil účinnosti dobíjení testovaných elektromobilů. Tabulka 6 obsahuje přehled nejvíce rozšířených elektro aut v Česku a porovnání jejich nabíjecích účinností vycházející z tohoto testu. [35]

Tab. 6 Účinnosti nabíjení nejběžnějších elektromobilů v ČR [35]

Značka a model vozidla	Potřeba na plné dobití [kWh]	Použitelná kapacita baterie [kWh]	Výsledná účinnost nabíjení
Škoda Enyaq	86,9	77	89 %
BMW i3	48,8	37,9	78 %
Tesla model 3	89,5	75	84 %
Nissan Leaf	44,5	40	90 %
Hyundai Kona	73,9	64	87 %

Průměrná hodnota účinnosti dobíjení výše uvedených elektromobilů je 85,6 %, ale nutno podotknout, že nejde o všechny druhy automobilů na elektrický pohon a není zohledněna jejich četnost zastoupení na silnicích. Všechna testována vozidla dosáhla v průměru účinnosti 84 %, což je konzervativnější hodnota pro následující výpočet energetické bilance. Výkon odebíraný ze sítě pro dobití 1 kWh kapacity baterie bude tedy vyšší, a ten se určí ze vztahu:

$$P_S = \frac{P_D}{\eta_D} = \frac{1}{0{,}84} = 1{,}19\ kWh, \quad (2)$$

kde P_S je výkon odebíraný ze sítě [kWh], P_D je jednotkový výkon přiváděný do baterie elektromobilu [kWh] a η_D je průměrná účinnost dobíjení testovaných vozidel [-].

Z rovnice 2 je tedy zřejmé, že na uložení 1 kWh výkonu do baterie je potřeba 1,19 kWh výkonu odebraného ze sítě. Toto vyjádření lze také zapsat jako poddíl odebíraného výkonu ze sítě a dodávaného výkonu baterii, kde dostaneme koeficient, který nám vyjadřuje efektivitu převodu výkonu. Koeficient dobíjení k_D se bude rovnat 1,19. (pozn. Účinnost dobíjení a účinnost elektrizační sítě jsou rozdílné pojmy, pouze hodnota, shodou okolností, je stejná.)

Spotřeba elektromobilů se udává hodnotou průměrné spotřebované energie na 100 km. Hodnoty udávané výrobci jsou v rozsahu od 14 kWh až do 23 kWh na 100 km. Reálné hodnoty spotřeb jsou však odlišné. Německý autoklub ADAC provedl test vybraných elektromobilů, během kterého byly zjištěny odlišné hodnoty oproti hodnotám udávaných výrobci, které jsou zobrazeny pro nejčastěji provozované elektro vozy v ČR v tabulce 7. [35]

Tab. 7 Porovnání spotřeby nejběžnějších elektromobilů v ČR [35]

Značka a model vozidla	Výrobcem udávaná spotřeba [kWh / 100 km]	Reálná spotřeba [kWh / 100 km]
Škoda Enyaq	16,7	21,9
BMW i3	15,3	17,9
Tesla model 3	16	20,9
Nissan Leaf	20,6	22,1
Hyundai Kona	14,7	16,7

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že udávaná průměrná spotřeba těchto nejběžnějších aut v ČR je 16,7 kWh na 100 km a reálná spotřeba je 19,6 kWh na 100 km. Průměrná spotřeba vycházející z testu autoklubu je vyšší, a to 21,2 kWh na 100 km. To je dáno rozsahem měření počtů vozidel, kde bylo testováno 43 modelů. Reálná hodnota spotřeby vypočtená z tabulky bude tedy odlišná, protože do výpočtu nebyl zahrnut aktuální počet jednotlivých modelů vozidel. Proto i v tomto případě bude využito konzervativního přístupu a dále bude brána průměrná reálná hodnota 21,2 kWh na 100 km. [35]

Průměrný roční nájezd automobilů není nikde udáván přesně. Nicméně existuje spousta zdrojů, které uvádějí přibližné hodnoty. Průměrný roční nájezd automobilů se pohybuje mezi 10 a 20 tisíci kilometry. Podle Centra dopravního výzkumu, v. v. i. je průměrný roční nájezd 11 500 km. Tato vzdálenost vyplývá ze stáří vozidel a počtu najetých kilometrů elektromobilů na webovém autobazaru SAUTO.cz. [36] Evropský průměr roční ujeté vzdálenosti k roku 2019 je 11 300 km, což se od hodnoty určenou CDV moc neliší. [37] U aut se spalovacím motorem byla provedena podrobnější analýza, kde se zjistil počet benzínových a naftových osobních vozidel a jejich průměrná spotřeba. Z celkového množství spotřebovaného benzínu a nafty v ČR se vypočítala průměrná hodnota roční ujeté vzdálenosti, která činila přibližně 11 800 km. [38] Jak je vidět, zjištěné průměrné hodnoty se pohybují do 12 000 km za rok. Proto bude pro další výpočty použita právě tato hodnota.

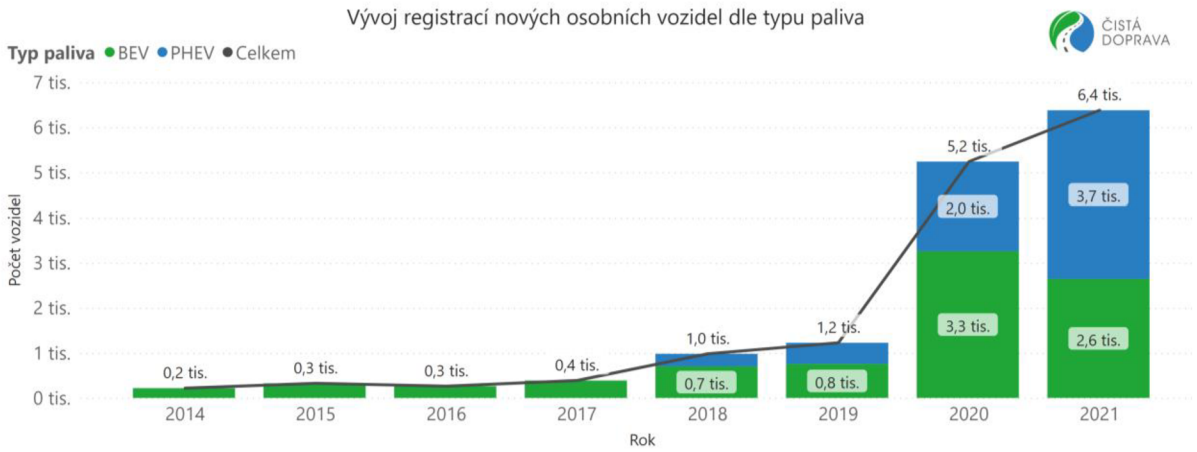
Při stanoveném ročním průměrném nájezdu a při průměrné reálné spotřebě elektromobilu se vypočítá energie, kterou za rok spotřebuje jedno vozidlo vztahem:

$$E_{BEV} = k_D \, P_{B,100} \, s = 1{,}19 \cdot \frac{21{,}2}{100} \cdot 12000 = 3027{,}4 \, kWh, \tag{3}$$

kde E_{BEV} je průměrná roční spotřeba energie ze sítě jednoho vozidla [kWh], k_D je efektivita přenosu elektrické energie ze sítě do baterie [-], $P_{B,100}$ je reálná průměrná spotřeba energie [kWh / 100 km] a s je průměrný roční nájezd automobilů [km].

SPOTŘEBA PLUG-IN HYBRIDU

Zahrnutím celé skupiny vozidel na elektrický pohon je třeba určit také průměrnou roční spotřebu plug-in hybridního elektrického vozidla. Do Česka se tato auta dostala ve větší míře v roce 2018 a již roce 2021 bylo registrováno více nových osobních vozidel právě PHEV než čistě na elektřinu BEV, jak je patrné z obrázku 4. Ovšem podle aktuálních statistik je stále poddíl všech registrovaných hybridů o necelou polovinu menší než BEV.



Obr. 4 Počet registrací nových osobních vozidel BEV a PHEV [23]

Plug-in hybridní vozidla využívají k pohonu spalovací motor, elektromotor nebo kombinaci obou. Německý autoklub ADAC, který experimentálně srovnává elektromobily, zveřejnil také Ecotest plug-in hybridů, při kterém testoval spotřebu pouze při použití spalovacího motoru, poté při použití elektromotoru a následně kombinaci obou. Průměrná hodnota spotřeby elektrické energie, při kombinovaném užití motorů 41 testovaných PHEV vozidel, je 11,7 kWh na 100 km. [39]

Při nabíjení elektrovozidel dochází ke ztrátám, které jsou již výše uvedeny. Jelikož se jedná o stejný typ dobíjení, tak hodnota účinnosti bude brána za ekvivalentní a totéž výkon odebíraný ze sítě. Průměrná roční hodnota elektrické energie odebírající ze sítě jednoho PHEV bude:

$$E_{PHEV} = k_D \, P_{P,100} \, s = 1{,}19 \cdot \frac{11{,}7}{100} \cdot 12000 = 1670{,}8 \, kWh, \tag{4}$$

kde E_{PHEV} je průměrná roční spotřeba energie ze sítě jednoho hybridního vozidla [kWh] a $P_{P,100}$ je průměrná reálná spotřeba energie plug-in hybridu [kWh / 100 km].

Nutno podotknout, že se jedná o průměrnou roční kombinovanou spotřebu, tudíž je předpoklad, že jakmile se vybije baterie, je ihned dobita a znovu využívaná ke kombinování pohonu elektromotoru a spalovacího motoru. Reálně bude hodnota roční spotřeby energie PHEV nižší z důvodu vybití baterie a následnému užívání konvenčního pohonu do doby nabití akumulátoru.

AKTUÁLNÍ SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE ELEKTROMOBILŮ

Pro porovnání spotřeby elektřiny s výhledem do budoucna bude v první řadě podstatná přibližná aktuální spotřeba všech elektromobilů za rok 2021. Na konci tohoto roku bylo v provozu 9 969 BEV a 5159 PHEV. Celkové množství energie spotřebované těmito vozy po dobu jednoho roku se určí podle vzorců, kde je rozlišena spotřeba bateriových a hybridních vozidel:

$$E_{B,21} = E_{BEV}\, n_{B,21} = 3027{,}4 \cdot 9969 = 30{,}2\ GWh, \tag{5}$$

$$E_{P,21} = E_{PHEV}\, n_{P,21} = 1670{,}8 \cdot 5159 = 8{,}6\ GWh, \tag{6}$$

kde $E_{B,21}$ je odhadovaná spotřeba energie BEV po dobu 1 roku při počtu vozidel k 31. 12 2021 [GWh] a $n_{B,21}$ je počet registrovaných BEV vozidel k 31. 12. 2021 [-], index P označuje totéž co u BEV, přičemž se jedná o data plug-in hybridu.

CELKOVÁ SPOTŘEBA EV 2021

Odhad celkové spotřeby elektrické energie v roce 2021 provozováním všech elektromobilů byl 38,8 GWh. V procentuálním vyjádření předpokládané roční spotřeby všech vozidel registrovaných ke konci roku 2021 vztažené k celkové spotřebě elektřiny v ČR se jedná o:

$$p_{21} = \frac{E_{C,21}}{E_{netto}} 100 = \frac{38{,}8}{60\ 113} 100\ \% = 0{,}065\ \%, \tag{7}$$

kde $E_{C,21}$ je celková roční spotřeba elektrické energie pro provoz všech elektro vozidel registrovaných k 31. 12. 2021 [GWh] a p_{21} je procentuální poddílu spotřeby EV k celkové spotřebě elektřiny za rok [%].

Elektromobily se v roce 2021 podílely na celkové spotřebě elektrické energie v ČR přibližně 0,065 %, přičemž do této hodnoty nejsou započteny elektromobily pouze projíždějící přes naše území. V současné době je to téměř zanedbatelná hodnota, nicméně dá se očekávat, že se spotřeba vlivem elektromobility v budoucnu výrazně zvýší.

3.1.2 PREDIKCE SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Podle různých predikcí vývoje elektromobility byl stanoven interval počtu EV, kterého má být dosaženo v roce 2030. V aktualizaci NAP CM je stanovena spodní hranice hodnotou 220 000 vozidel, která odpovídá přibližnému počtu elektromobilů předpovídaného SDA. Horní hranice intervalu dle NAP CM je stanovena 500 000 vozidly. Za předpoklad pro výpočet bude brána varianta, kdy by se jednalo pouze o BEV, u kterých je spotřeba elektřiny vyšší než u PHEV. [22] Zjištěné hodnoty celkové spotřeby se tak budou pohybovat s mírnými rezervami oproti reálnému stavu, protože není možné přesně určit množství plug-in hybridů a čistě elektrických vozidel. V roce 2030 bude dle scénářů NAP CM roční spotřeba činit:

$$E_{n,2030} = E_{BEV} \cdot n_{n,EV} = 3027{,}4 \cdot 220000 = 666\ GWh \tag{8}$$

$$E_{v,2030} = E_{BEV} \cdot n_{v,EV} = 3027{,}4 \cdot 500000 = 1513{,}7\ GWh, \tag{9}$$

kde $E_{n,2030}$ je spotřeba elektrické energie dle spodní hranice a $E_{v,2030}$ je spotřeba dle horní hranice intervalu NAP CM [GWh] a $n_{n,EV}$ je počet EV dle dolní hranice a $n_{v,EV}$ je počet EV dle vyšší hranice intervalu. U nižšího scénáře $E_{n,2030}$ by nárůst spotřeby vzrostl téměř 17 krát oproti roku 2021. Vyšší scénář $E_{v,2030}$ vykazuje spotřebu 1,5 TWh, což je v porovnání s celkovou netto spotřebou v ČR již velice významná a nezanedbatelná hodnota.

Předpovědi počtu elektromobilů, podle společnosti EuroEnergy, pracují se třemi scénáři. Pro následující predikci spotřeby bude brán celkový počet EV dle tabulky č. 2 daného roku. V tabulce 8 jsou uvedeny předpokládané spotřeby elektrické energie pro jednotlivé scénáře a procentuální nárůsty průměrných spotřeb, které jsou vztaženy k tuzemské celkové netto spotřebě elektřiny dle rovnice (7). Předpokládané spotřeby se určí vztahem:

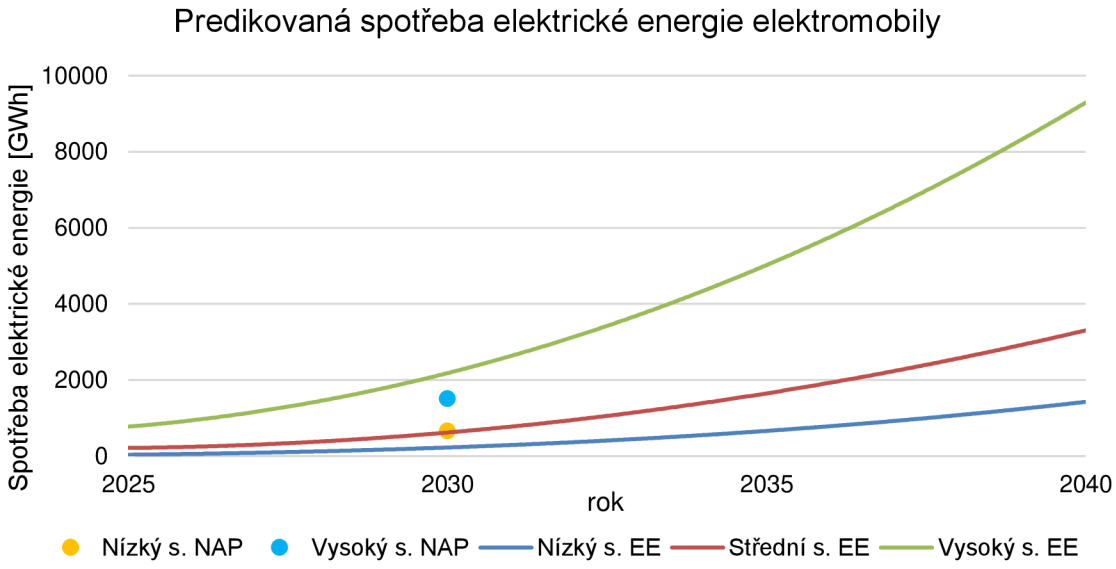
$$E_{i,j} = E_{BEV} \cdot n_{i,j}, \tag{10}$$

kde $E_{i,j}$ je spotřeba elektrické energie [GWh], $n_{i,j}$ je počet EV, index *i* označuje scénář (nízký, střední, vysoký) a index *j* značí rok. Nárůst spotřeby je uvažován k netto spotřebě elektřiny.

Tab. 8 Spotřeba elektrické energie podle scénářů EuroEnergy

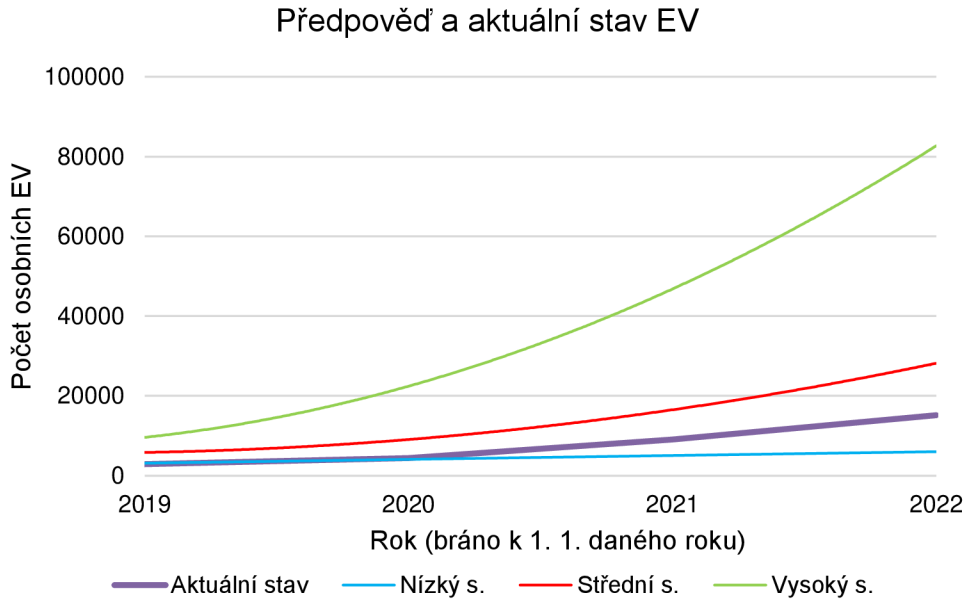
Předpokládaná spotřeba		**2025**	**2030**	**2035**	**2040**
Nízký scénář	Celkem EV	11 000	74 000	218 000	470 000
	Spotřeba [GWh]	33,3	224	660	1422,9
	Nárůst spotřeby	0,06 %	0,37 %	1,1 %	2,37 %
Střední scénář	Celkem EV	71 000	201 000	550 000	1 090 000
	Spotřeba [GWh]	214,9	608,5	1 665,1	3 300
	Nárůst spotřeby	0,36 %	1,01 %	2,77 %	5,49 %
Vysoký scénář	Celkem EV	233 000	786 000	1 592 000	3 092 000
	Spotřeba [GWh]	705,4	2 380	4 820	9 360,7
	Nárůst spotřeby	1,17 %	3,96 %	8,02 %	15,57 %

Pro přehlednost jsou hodnoty z tabulky 8 vneseny do grafické závislosti, která je na obrázku 5. Z grafu lze vyčíst, že spotřeba při nízkém scénáři NAP CM bude přibližné stejná jako spotřeba při středním scénáři dle předpovědi EuroEnergy.



Obr. 5 Predikovaná spotřeba elektrické energie elektromobily

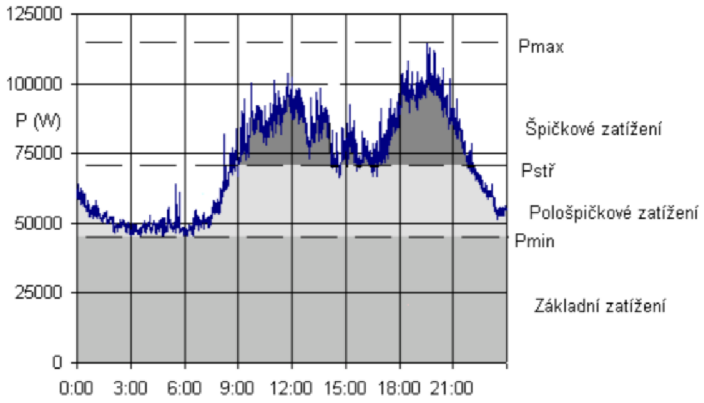
Data ohledně předpovědí počtu elektromobilů ovlivňují řady faktorů. Nicméně aktualizace NAP CM i vydaný dokument společnosti EuroEnergy jsou již starší studie a od jejich vzniku došlo k určitému pokroku. Je možné porovnat predikovaný a aktuální stav na obrázku 6, ze kterého plyne, že se Česká republika momentálně nachází mezi nízkým a středním předpovídaným scénářem.



Obr. 6 Porovnání předpovědí EuroEnergy a aktuálního stavu

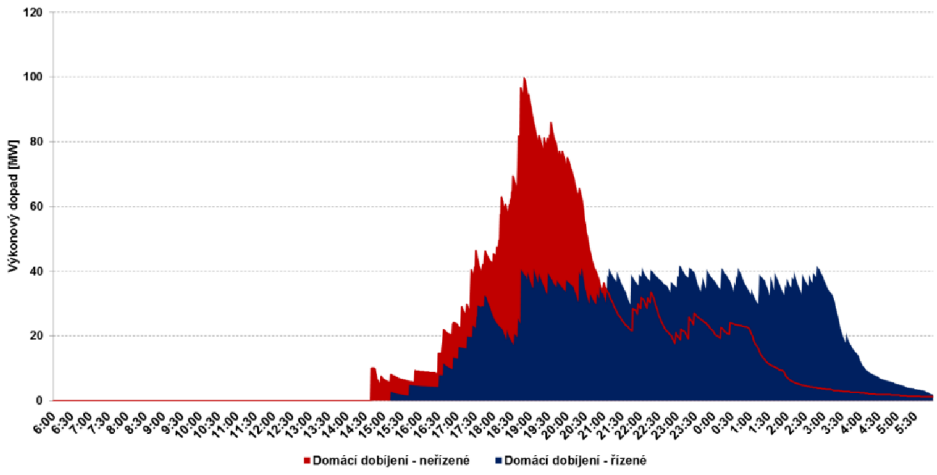
3.1.3 VLIV NÁRŮSTU SPOTŘEBY NA ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVU

Při aktuálním počtu elektromobilů, kdy je k počátku roku 2022 registrováno 15 128 EV, se průměrná roční spotřeba energie pro dobíjení EV pohybuje kolem 40 GWh. V porovnání s tuzemskou spotřebou jde o 0,065 %, což je zanedbatelný poddíl. Při tomto nízkém počtu vozidel nedochází k výkyvům okamžité spotřeby elektřiny od normálních hodnot. Uživatelé elektromobilů si mohou svá auta nabíjet doma přes noc, kdy lze čerpat noční tarify. Ty bývají zpravidla levnější, přičemž dochází k motivaci lidí, aby jej využívali. V nočních hodinách dochází k poklesu spotřeby elektrické energie a tím se síť dostává do malého zatížení jak je vidět na obrázku 7. Oproti tomu v hodinách, kdy dochází k maximálnímu zatížení soustavy, by při nabíjení tisíců elektromobilů v jeden okamžik mohlo dojít k přetížení sítě.



Obr. 7 Rozložení zatížení v průběhu dne [40]

Jedením ze způsobů motivace spotřebitelů využívat síť mimo špičkové hodiny, je cenové zvýhodnění. Další cesta, jak vyrovnat špičkové hodnoty zatížení, je využití technologií chytrého dobíjení. Ta zahrnuje komunikaci mezi elektromobilem, dobíjecí stanici a danou distribuční soustavou. Toto propojení umožňuje optimalizovat průběh dobíjení, kde je možné nastavení například nabití vozu sta procenty do dané hodiny a rozložení do méně vytížených hodin. [25] Porovnání řízeného a neřízeného dobíjení je možno sledovat na obrázku 8, kde je zobrazeno domácího nabíjení EV v rámci časového horizontu jednoho dne.



Obr. 8 Řízené a neřízené domácí dobíjení [25]

Při neustálém zvyšování počtu vozidel na elektrický pohon bude nutná úprava přenosové soustavy (zkr. PS) a distribuční sítě (zkr. DS). Studie zpracovaná Energetickým ústavem Brno (zkr. EGÚ), pracující také se třemi scénáři vývoje elektromobility, hovoří o tom, že se při všech scénářích struktura distribuční sítě do roku 2025 téměř nezmění. K výrazné změně v DS by mělo dojít v dalších pěti letech do roku 2030. Změny se týkají navýšení počtu transformačních stanic na celém území ČR a v hlavní metropoli bude potřeba navýšit nabíjecí výkon z důvodu enormního zatěžování napájecí sítě. Nedostatky kapacit se také dotknou venkovské struktury a sídlišť. U nízkého a středního scénáře se počítá s problémy ve výjimečných případech. Mezi lety 2030 a 2040 je plánovaná obnova a rozvoj velké části elektrizační sítě, aby vyhovovala aktuálním požadavkům. [41]

VÝKONOVÉ DOPADY

Faktor předpovídající změny v distribučních sítích je výkon odebíraný ze sítě. Jeho rozložení v průběhu dne se mění v závislosti na poptávce a spotřebě, bylo vidět na obrázku 7. Se zvyšujícím počtem elektromobilů dojde i ke změnám v rozložení denního diagramu zatížení sítě. Vše bude záviset na daném počtu elektromobilů připojených do sítě v určitý okamžik a na výkonu nabíjení.

Hraniční varianta, která může nastat, je, že během denního špičkového zatížení bude připojeno k nabíjení velké množství elektromobilů. Při stanoveném ročním nájezdu automobilu 12 000 km odpovídá průměrně ujetá vzdálenost v jeden den 33 km. Podle německého Ecotestu autoklubu ADAC, který již ve zmiňovaném testu srovnával účinnosti dobíjení EV, je skutečná průměrná hodnota dojezdu vozidla při plném dobití 307 km. [35] Podle této skutečnosti je předpoklad, že se EV průměrně nabíjí jednou za 9 dní. Další předpoklad bude, že se všechna vozidla dobíjí buďto nabíječkou o výkonu 22 kW, 3,7 kW, nebo tři čtvrtiny všech vozidel méně výkonným nabíjením 3,7 kW a čtvrtina 22 kW. Odebíraný výkon při smíšeném režimu dobíjení bude 8,275 kW. Při celkovém počtu elektromobilů dle popsaných scénářů se hodnoty okamžitého odebíraného výkonu budou rovnat:

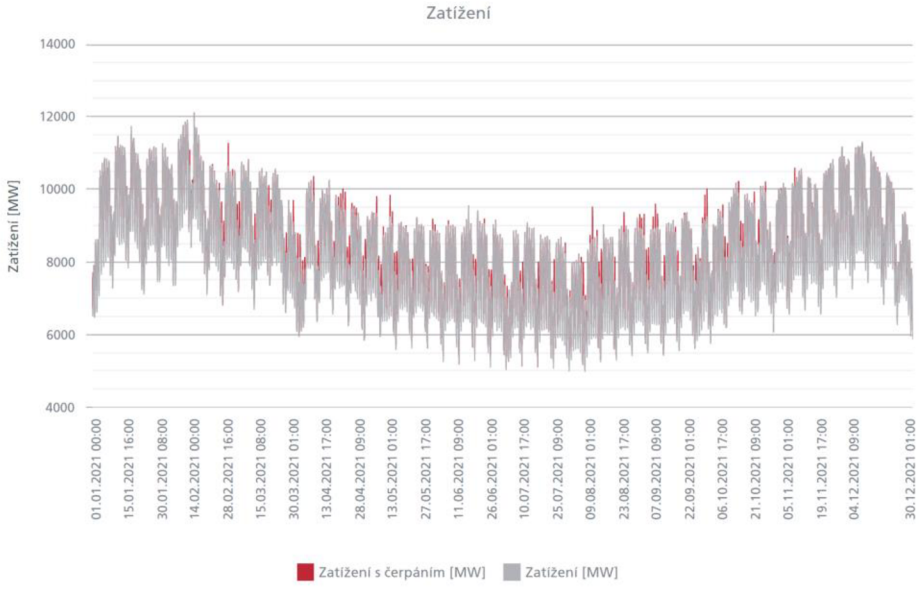
$$P_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{9} \cdot P_{22} \tag{11}$$

kde okamžitý odebíraný výkon ze sítě $P_{i,j}$ [kW] je určen i-tým scénářem a j-tým rokem při daném výkonu nabíjení P_{22}, $P_{3,7}$ a $P_{8,275}$ [kW]. Výpočty jsou provedeny pro všechny scénáře a výkony nabíjení a jsou vneseny do tabulky 9.

Tab. 9 Předpokládaná špičková zatížení sítě

Předpokládaná spotřeba		**2025**	**2030**	**2035**	**2040**
i - scénář	**Nabíjení**		**$P_{i,j}$ [MW]**		
Nízký	3,7 kW	5	30	90	195
	8,275 kW	10	70	200	430
	22 kW	27	180	530	1 150
Střední	3,7 kW	30	80	230	450
	8,275 kW	65	185	505	1 000
	22 kW	175	490	1 350	2 660
Vysoký	3,7 kW	95	320	650	1 270
	8,275 kW	215	720	1 460	2 850
	22 kW	570	1 920	3 900	7 560

Z časově proměnných dat výkonu přenášeného přenosovou soustavou, které poskytuje její provozovatel ČEPS, lze vidět na obrázku 9, že se maximální hodnoty v průběhu roku pohybují okolo 11 500 MW.

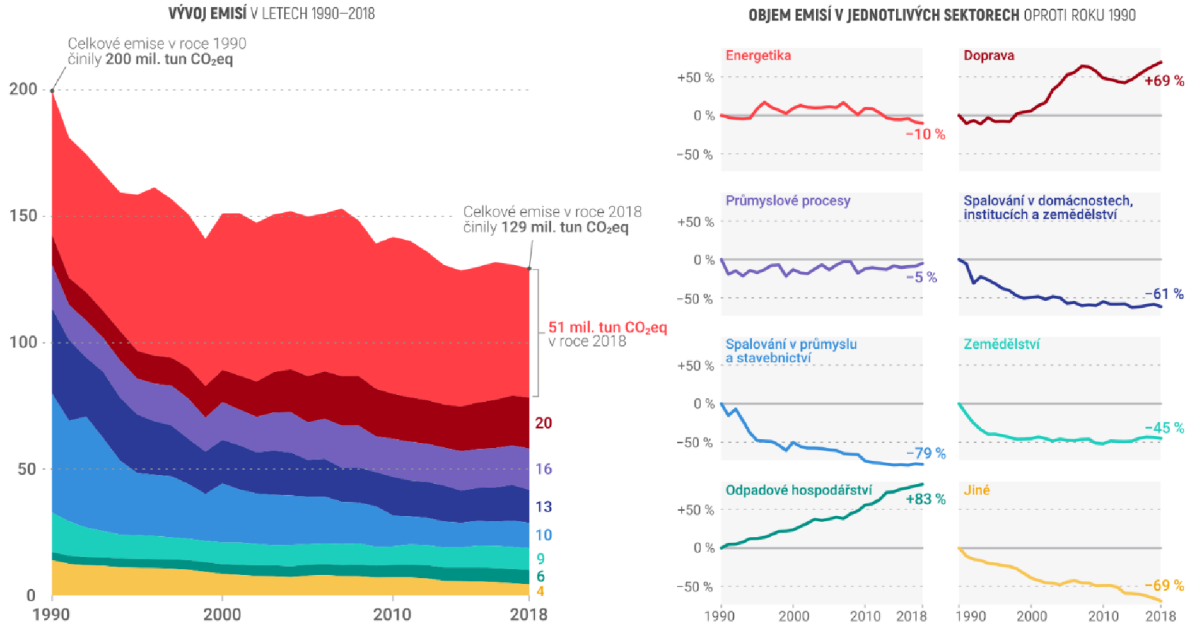


Obr. 9 Zatížení přenosové soustavy v roce 2021 [42]

Při nárůstu spotřeby elektrické energie je vidět, že se předpokládaný okamžitý výkon odebíraný ze sítě, zobrazen v tabulce 9, k roku 2025 vlivem elektromobility zvýší maximálně o 500 MW, konzervativnějším přístupem o 200 MW, což nepřinese žádné změny v navýšení kapacit elektrizační sítě. K roku 2030 by se mělo jednat o zvýšení v maximech okolo 2000 MW, což způsobí mírnou potřebu transformace a obměnu PS. Po roce 2030 bude nezbytně nutné počítat i s reálným přírůstkem 2000 MW, kdy bude potřeba zaručit vyšší maxima zatížení sítě.

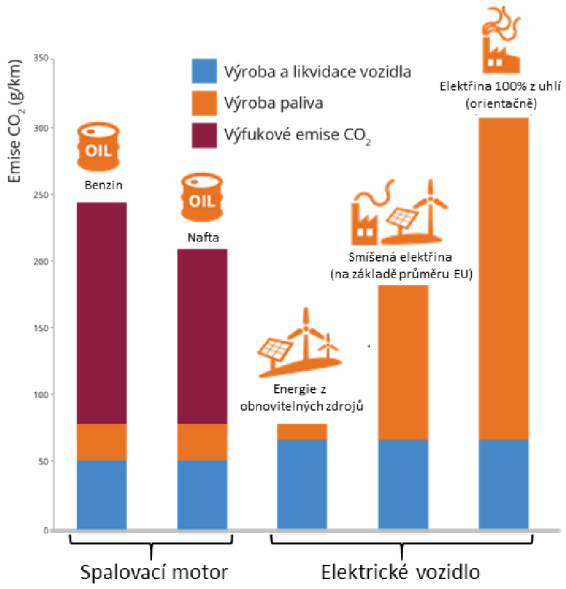
3.2 VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Cílem elektromobility je přechod od automobilů se spalovacím motorem k vozidlům na elektrický pohon, a to z několika důvodů. Elektromobily během svého provozu neprodukují žádné škodlivé emise, a to je jednou z alternativ, jak se dá přejít k nízkoemisní nebo bezemisní dopravě. Právě doprava je odpovědná za 16% poddíl na emisích všech skleníkových plynů vyprodukovaných v ČR a je druhým největším sektorem znečistění ovzduší, po sektoru energetiky. Samotná silniční (automobilová, nákladní a autobusová) doprava vyprodukuje 90 % emisí z celého sektoru dopravy. [43] Zelená dohoda pro Evropu si klade za cíl stát se do roku 2050 uhlíkově neutrálním kontinentem a balíček „Fit for 55“ má nastavený cíl snížit počet emisí oxidu uhličitého do roku 2030 nejméně o 55 % v porovnání s rokem 1990, aby bylo snazší dosáhnout uhlíkové neutrality. Z obrázku 10 je patrné, že se Česko blíží plánovanému snižování emisí CO_2.



Obr. 10 Vývoj emisí v ČR a v jednotlivých sektorech [44]

Provozování elektromobilů, jak již bylo zmiňováno, je téměř bezemisní způsob dopravy. Ovšem výroba elektromobilů, zejména některých jeho součástí, nelze brát jako ekologicky přívětivou a výrobu elektrické energie z neobnovitelných zdrojů už vůbec. Emise ušetřeny provozem elektromobilů se promítnou do množství emisí vznikajících při výrobě elektrické energie, zejména v tepelných elektrárnách spalující fosilní paliva. Bateriový elektromobil neprodukuje při svém provozu žádné škodlivé látky, a tudíž přímé emise jsou rovny nule. Naproti tomu nepřímé emise elektromobilu vznikají výrobou elektrické energie a jejich množství je ovlivněno aktuálním složením národního energetického mixu ČR. Jak je patrné z obrázku 11, výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energií (OZE) neprodukuje téměř žádné emise, které jsou vztaženy k provozu vozidla, na druhou stranu nejvyšší množství emisí pochází z tepelných elektráren spalující uhlí.



Obr. 11 Hodnoty emisí vyprodukovaných dle různých paliv, upraveno z [45]

ENERGETICKÝ MIX ČR

Na míře produkce emisí závisí zdroj, z jakého byla elektřina vyrobena. Za tímto účelem je vytvořen přehled národního energetického mixu ČR, ve kterém jsou zastoupeny podíly jednotlivých zdrojů energií. Podstatnou částí pro budoucnost tvoří OZE. Jejich zastoupení se v současné době pohybuje pod hranicí 10 % celkového podílu výroby, nicméně v letech 2014 až 2016 byla produkce nad 10 %. Dle nového balíčku „Fit for 55“ se plánuje zvýšení podílu výroby elektřiny z OZE do roku 2030 z nynějších 20 % na 32 %. V tabulce 10 je prozatím poslední zveřejněný národní energetický mix ČR z roku 2020.

Tab. 10 Národní energetický mix 2020 [46]

Zdroj energie	Zastoupení [%]
Obnovitelné zdroje	6,75
Sluneční	2,27
Větrné	0,43
Vodní	0,65
Biomasa	3,4
Fosilní zdroje	52,5
Hnědé uhlí	40
Černé uhlí	2,66
Zemní plyn	9,61
Ostatní (ropa)	0,23
Jaderné zdroje	40,75

3.2.1 EMISE OXIDU UHLIČITÉHO

Ke každému druhu zdroje energie se váží také emise, které daná elektrárna vyprodukuje. Je jasné, že u tepelných elektráren tvoří většinu emisí spalování paliv, zatímco u obnovitelných zdrojů jsou přímé emise nulové. Do celkové hodnoty emisí, vztažené na gram CO_2 na vyrobenou kWh, je také zahrnuta zátěž na klima během celé životnosti elektrárny, a to od výroby po její likvidaci. Této hodnotě se říká emisní faktor. U tepelných elektráren je výpočet emisního faktoru ovlivněn řadou aspektů, jako jsou například výhřevnost uhlí, množství elektrické energie vyrobené právě uhelnou elektrárnou a účinnost výroby elektrické energie. Z těchto vnějších ovlivnitelných vlastností se poté dá zjistit množství potřebného uhlí pro vyrobení 1 kWh. Z molární hmotnosti složení uhlí se dá určit množství CO_2 vyprodukované spalováním v závislosti na vyrobeném množství elektřiny. [47] Obdobně se dá postupovat i u ostatních tepelných elektráren. Dostupné hodnoty emisních faktorů jsou uvedeny v tabulce 11 (pozn. Uvedené emisní faktory pro zemní plyn, hnědé a černé uhlí jsou uvedeny ze zdroje [48], ostatní hodnoty jsou uvedeny z [49].).

Tab. 11 Emisní faktory CO_2 elektráren

Zdroj energie	Emise CO_2 [g/kWh]
Hnědé uhlí	1062
Černé uhlí	950
Ropa	720
Zemní plyn	498
Biomasa	230
Sluneční	48
Vodní	24
Jaderná	12
Větrné	11

Pro výpočet odhadu množství emisí vyprodukovaných energetickým mixem ČR je možné získat hodnotu emisního faktoru výroby elektřiny následovně:

$$m_{CO2,j} = \sum m_{CO2,i} \cdot p_{i,j} = m_{CO2,20} = 1062 \cdot 0{,}4 + 950 \cdot 0{,}0266 + 720 \cdot 0{,}0023 + 498 \cdot 0{,}034 + 48 \cdot 0{,}0227 + 24 \cdot 0{,}0065 + 12 \cdot 0{,}4075 + 11 \cdot 0{,}0043 = 474{,}8 \frac{g}{kWh} \quad (12)$$

kde $m_{CO2,j}$ je přibližný emisní faktor CO_2 výroby elektřiny [g / kWh], $m_{CO2,i}$ je emisní faktor oxidu uhličitého [g / kWh] a $p_{i,j}$ je procentuální zastoupení zdroje elektrické energie v rámci energetického mixu, index *i* označuje daný zdroj elektřiny a *j* představuje rok [-] (kde *i* jsou: hnědé uhlí, černé uhlí, ropa, zemní plyn, biomasa, fotovoltaická elektrárna, vodní elektrárna, jaderná elektrárna a větrná elektrárna).

Množství oxidu uhličitého vyprodukovaného automobily se spalovacím motorem je udáváno výrobci v gramech CO_2 na jeden kilometr. V případě elektromobility se bude jednat o přepočet průměrné spotřeby elektromobilu na jeden kilometr a množství emisí vyprodukovaných v gramech na kilowatthodinu:

$$m_{CO2_1km,j} = \frac{P_{B,100}}{100} \cdot m_{CO2,j} = m_{CO2_1km,20} = \frac{21{,}2}{100} \cdot 474{,}8 = 100{,}66\ \frac{g}{km} \tag{13}$$

kde $m_{CO2_1km,j}$ je množství emisí vyprodukovaných elektrárnami dle národního energetického mixu na 1 km jízdy elektromobilu v *j*-tém roce [g / km].

3.2.2 EMISE OSTATNÍCH PLYNŮ

Mezi částice znečišťující životní prostředí patří, kromě skleníkových plynů, také oxid uhelnatý, oxidy dusíku a pevné částice vznikající při spalování paliv. Při provozu auta se spalovacím motorem tyto emise vznikají spalováním benzínu či nafty, kdežto u elektromobilu vznikají při výrobě elektrické energie v elektrárnách. Maximální množství těchto škodlivých látek vyprodukovaných do ovzduší udávají emisní normy EURO, které se v pravidelných intervalech zpřísňují. Tyto normy se vztahují na nově vyráběná vozidla a jejich hodnoty se rozlišují i podle typu spalovacích motorů. Poslední vydanou emisní normou je EURO 6, která vyšla v roce 2014 a v tabulce 12 jsou uvedeny limity jednotlivých škodlivin.

Tab. 12 Maximální emisní hodnoty normy Euro 6 [50]

EURO 6	**Oxid uhelnatý**	**Oxidy dusíku**	**Pevné částice**	**Uhlovodíky**
Motor	**CO [g/km]**	**NOx [g/km]**	**PČ [g/km]**	**HC [g/km]**
Benzínový	1,00	0,06	-	0,10
Naftový	0,50	0,08	0,005	0,17

V nově připravované normě EURO 7, která by měla vyjít v platnost v roce 2025, by mohlo dojít ke snížení limitů oxidu dusíku až na hodnotu 0,03 g/km a je možné, že se již nebudou rozlišovat benzínové a naftové motory. To bude znamenat přítěž pro výrobce vozidel, pro které tyto limity znamenají přechod k výrobě téměř bezemisních vozidel. [51]

Jak již bylo uvedeno, emise se v kontextu elektromobility budou vázat na množství škodlivých plynů vypuštěných do ovzduší při výrobě elektrické energie spalováním paliv. Pro určení emisí jednotlivých plynů jsou zapotřebí emisní faktory jednotlivých elektráren ostatních plynů, které jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 Emisní faktory ostatních plynů spalovacích elektráren [48]

Ostatní plyny	Oxid uhelnatý	Oxidy dusíku	Pevné částice	Uhlovodíky
Elektrárna	**CO [g/kWh]**	**NOx [g/kWh]**	**PČ [g/kWh]**	**HC [g/kWh]**
Hnědouhelná	0,1648	1,333	0,0746	0,1215
Černouhelná	0,0627	1,724	0,0549	0,0627
Zemní plyn	0,9562	2,841	0,00004	0,0623

Pro výpočet množství bude také, jako u oxidu uhličitého, rozhodovat procentuální poddíl v rámci energetického mixu jednotlivých paliv. Množství oxidu uhelnatého vyprodukovaného na jednu vyrobenou kilowatthodinu bude:

$$m_{CO,j} = \sum m_{CO,i} \cdot p_{i,j} = m_{CO,20} = 0{,}1648 \cdot 0{,}4 + 0{,}0627 \cdot 0{,}0266 + 0{,}9562 \cdot 0{,}034 = 0{,}1001 \frac{g}{kWh} \quad (14)$$

kde $m_{CO,j}$ je přibližný emisní faktor CO výroby elektřiny pro *j*-tý rok [g / kWh], $m_{CO,i}$ je emisní faktor oxidu uhelnatého daného *i* zdroje elektrické energie [g / kWh] (kde *i* je: hnědé uhlí, černé uhlí, zemní plyn). Přepočtem na množství gramů na kilometr se bude jednat o:

$$m_{CO_1km,j} = \frac{P_{B,100}}{100} \cdot m_{CO,j} = m_{CO_1km,20} = \frac{21{,}2}{100} \cdot 0{,}1001 = 0{,}0212 \frac{g}{km} \quad (15)$$

kde $m_{CO_1km,j}$ je množství emisí CO vyprodukovaných elektrárnami dle národního energetického mixu na 1 km jízdy v *j*-tém roce [g / km]. Obdobný postup bude aplikován i při výpočtech ostatních plynů. Získané hodnoty jsou uvedeny pro srovnání s nejnižšími emisemi spalovacích motorů dle daného plynu v tabulce 14.

Tab. 14 Srovnání emisí ostatních plynů a emisí při výrobě elektrické energie

EURO 6	Oxid uhelnatý	Oxidy dusíku	Pevné částice	Uhlovodíky
Emise	**CO [g/km]**	**NOx [g/km]**	**PČ [g/km]**	**HC [g/km]**
Dovolené (max.)	0,50	0,06	0,005	0,10
Elektromobil	0,0212	0,1432	0,00664	0,011

Při srovnání je patrné, že emise oxidů dusíku jsou překročeny více než dvojnásobně, což je zapříčiněno stále velkým poddílem elektráren na fosilní paliva v rámci energetického mixu ČR. Totéž platí i u pevných částic, kde je limit překročen přibližně o 15 % hodnoty dané normou. Plnění emisních limitů u elektromobility se dá dosáhnout navýšením podílů energie z obnovitelných zdrojů, což je také doprovázeno balíčkem „Fit for 55“. V roce 2035 se počítá

s nulovými emisními limity oxidu dusíku, které budou mít za následek potlačení výroby automobilů se spalovacími motory vedoucí až k jejích úplnému zrušení.

3.2.3 SNIŽOVÁNÍ EMISÍ

Se vzrůstajícím zájmem o obnovitelné zdroje a zpřísňováním produkce skleníkových plynů je patrné, že v budoucnu se bude hodnota emisního faktoru stále snižovat. Česká republika vydala v roce 2019 vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu, ve kterém jsou nastaveny cíle pro rok 2030 ohledně zvyšování poddílů výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. [52] Avšak tyto hodnoty budou navýšeny s ohledem na balíček „Fit for 55“, který navyšuje poddíl OZE z 20 % na 32 % ve snaze dosažení Zelené dohody pro Evropu.

Nicméně studie dopadů tohoto balíčku ještě není známá, z tohoto důvodů budou pro výpočet použitá data z roku 2019. Tato data budou v poměru navýšena na 32% poddíl celkové výroby elektřiny. Jestliže v roce 2020 byl poddíl z výroby OZE 13 % [34], předpoklad pro rok 2025 bude 20 % a pro rok 2030 32 %. (Pozn. Hodnoty OZE z vnitrostátního plánu energetiky byly vynásobeny koeficientem 1,45 a 2,17, které převádí podíl OZE uváděné ve vnitrostátním plánu v oblasti energetiky k předpokladu 20%, respektive 32% zastoupení v rámci energetického mixu). Předpokládané snižování počtu uhelných elektráren vedoucí k jejich úplnému omezení je plánováno na rok 2038. Do té doby by se mělo jejich zastoupení snižovat. Jak uvádí skupina ČEZ, v rámci čisté energie zítřka by mělo dojít do roku 2025 ke snížení výroby elektřiny uhelnými zdroji na 25% podíl z celkové výroby a do roku 2030 k poklesu na 12,5 %. [53] U jaderných elektráren se nepředpokládají změny, protože výstavba nového bloku je plánována až v příštím desetiletí. S přírůstkem výkonu vodních elektráren se také nepočítá, protože slouží především pro vyrovnávání zátěže v ES. U elektráren na zemní plyn je předpokládán obdobný růst jako u OZE, nicméně v menší míře. V tabulce 15 je uvedena očekávaná výroba elektřiny zaměřena na rozšiřování výroby obnovitelnými zdroji.

Tab. 15 Předpokládaná výroba elektřiny podle druhu elektrárny

Rok	**2020**	**2025**		**2030**	
Scénáře	**Skutečná výroba** [34]	**Vnitrost. plán** [52]	**Předpoklad**	**Vnitrost. plán** [52]	**Předpoklad**
Elektrárny	**[GWh]**	**[GWh]**	**[GWh]**	**[GWh]**	**[GWh]**
Uhelné	32 000		20 300		10 200
Jaderné	30 000		30 000		30 000
Zemní plyn	6 600		8 800		10 000
Vodní	2 140	1960	1 960	1990	1 990
Větrné	700	1150	1 670	1800	3 900
Fotovoltaické	2 240	2800	4 060	4200	9 100
Biomasa	2 500	2390	3 460	2500	5 400
Bioplynové	2 600	2500	3 630	1620	3 500
Celkem	78 780		73 900		74 800

Z následujících hodnot předpokladu výroby je možné sestavit přibližný energetický mix, který bude v České republice v roce 2025 a 2030. Tyto hodnoty procentuálního zastoupení, zobrazeny v tabulce 16, dále poslouží k určení emisí oxidu uhličitého a dalších plynů. (pozn. Nejsou zahrnuty všechny druhy paliv, tudíž tyto hodnoty se budou mírně lišit.)

Tab. 16 Předpokládaný energetický mix v roce 2025 a 2030

Typ elektrárny	2025	2030
Uhelné	27 %	13,7 %
Jaderné	41 %	40 %
Zemní plyn	12 %	13,5 %
Vodní	2,7 %	2,7 %
Větrné	2,3 %	5,3 %
Fotovoltaické	5,5 %	12,3 %
Biomasa	4,7 %	7,3 %
Bioplynové	5 %	4,7 %

Při výpočtu emisního faktoru nebude rozlišováno černé a hnědé uhlí, ale bude bráno pouze hnědé uhlí. Emisní faktor bioplynu je 177 g na vyrobenou kWh [54]. Rovnicí (12) se vypočte předpokládaný emisní faktor CO_2 pro rok 2025:

$$m_{CO2,j} = m_{CO2,25} = \sum m_{CO2,i} \cdot p_{i,j} \tag{16}$$
$$= 1062 \cdot 0{,}27 + 12 \cdot 0{,}41 + 490 \cdot 0{,}12 + 24 \cdot 0{,}027 + 11$$
$$\cdot 0{,}023 + 48 \cdot 0{,}055 + 230 \cdot 0{,}047 + 177 \cdot 0{,}05 = 373{,}7 \frac{g}{kWh}$$

Přepočet hodnoty emisního faktoru na na ujetý kilometr se provede rovnicí (13) obdobně:

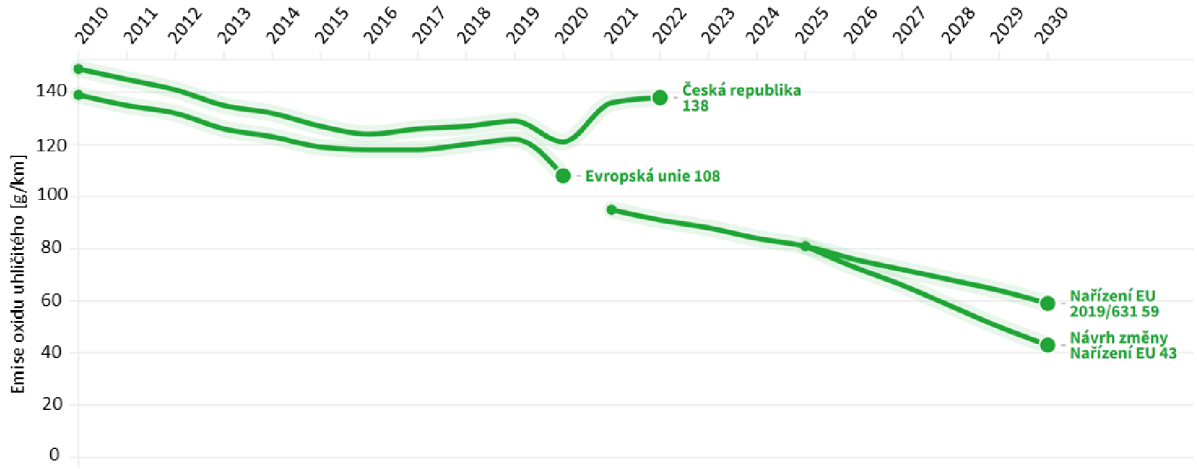
$$m_{CO2_1km,j} = m_{CO_1km,25} = \frac{P_{B,100}}{100} \cdot m_{CO_2,25} = \frac{21{,}2}{100} \cdot 373{,}7 = 79{,}2 \frac{g}{km} \tag{17}$$

Stejným způsobem se provede výpočet pro rok 2030 a také pro emise NO_x, CO a pevné částice. Rozdíl počtu emisí je viditelný v tab. 17.

Tab. 17 Předpokládané emise v důsledku změny energetického mixu

Rok	2020	2025	2030
Emise	[g/km]	[g/km]	[g/km]
CO_2	100,66	79,2	52,7
CO	0,0212	0,034	0,032
NO_X	0,143	0,149	0,12
PČ	0,0066	0,0043	0,0021

Předpokládané hodnoty množství oxidu uhelnatého a oxidů dusíku jsou v roce 2025 vyšší než v roce 2020. Tento skok je dán odhadem procentuálního zastoupení výroby elektřiny elektráren spalující zemní plyn. Emisní faktory CO a NO_X jsou výrazně vyšší než u elektrárny spalující hnědé uhlí. V rámci platných nařízení a již schválených limitů EU je patrné z obrázku 12, že odhad energetického mixu byl poměrně přesně zvolen, kde se v daných letech 2025 a 2030 emise CO_2 přibližně rovnají vypočteným hodnotám.



Obr. 12 – Vývoj průměrných emisí CO_2 nových osobních automobilů [55]

POTENCIÁLNÍ MNOŽSTVÍ EMISÍ

Projevem růstu počtu vozidel na elektrický pohon je snižování množství emisí vyprodukovaných v dopravě, aktuálně zastoupených necelými 16-ti % všech emisí České republiky. Osobní automobilová doprava vyprodukuje přibližně 10,9 milionu tun oxidu uhličitého, což z celkového množství emisí odpovídá 9 %. [43] Rychlost snižování emisí bude záležet na počtu elektromobilů a na vývoji a aktuálním stavu energetického mixu. Předpokladem je, že se na silnicích pohybuje počet automobilů shodný s počtem registrovaných osobních vozidel ke konci roku 2021, což odpovídá přibližně 6 290 000 vozidlům. [56] Hodnota emisí CO_2 vozidla se spalovacím motorem bude brána 133 g na jeden kilometr, což odpovídá průměru hodnot z obrázku 12 mezi lety 2010 a 2022. (pozn. Nárůst v letech 2021 a 2022, který je z obrázku patrný, byl způsoben celosvětovým nedostatkem čipů. Automobilky tudíž preferovaly výrobu vozidel s vyšší marží, zejména SUV.) S provedenými odhady složení energetického mixu v daných letech je možné provést výpočet snížení emisí. K roku 2025 při různých scénářích elektromobility dojde k poklesu emisí dle vztahu:

$$\Delta m_{i,j} = n_{i,j} \cdot \left(m_{CO2,OA} - m_{CO2_1km,25}\right) \cdot s \qquad (18)$$
$$= 11000 \cdot (133 - 79{,}2) \cdot 10^{-6} \cdot 12000 = 7100\ t$$

kde $\Delta m_{i,j}$ je pokles emisí CO_2 vyprodukovaných při i-tém scénáři a j-tém roce [t] a $m_{CO2,OA}$ je průměrné množství emisí nového elektromobilu [g / km]. Obdobně se provede výpočet pro všechny scénáře pro roky 2025 a 2030. Vypočítané rozdíly ve snížení emisí jsou uvedeny v tabulce 18.

Tab. 18 Úbytek emisí dle scénářů počtu EV

Rok	2025		2030	
Scénář	Úbytek emisí [t]	Emise z OAD [t]	Úbytek emisí [t]	Emise z OAD [t]
Nízký	7 000	10 883 000	71 000	10 829 000
Střední	46 000	10 854 000	194 000	10 706 000
Vysoký	150 000	10 750 000	760 000	10 140 000

Jestliže přímé emise vztahující se k provozu elektromobilu jsou nulové, při nahrazování aut se spalováním elektromobily bude docházet k úbytku v plné míře a to následovně vztahem:

$$\Delta m_{OA,i,j} = n_{i,j} \cdot m_{CO2,OA} \cdot s = 11000 \cdot 133 \cdot 10^{-6} \cdot 12000 = 17560\ t \tag{19}$$

kde $\Delta m_{OA,i,j}$ je pokles emisí CO_2 vyprodukovaných spalovacím vozem při *i*-tém scénáři a *j*-tém roce [t]. Porovnání rozdílů snížení emisí díky nahrazení aut elektromobily je v tab. 19.

Tab. 19 Úbytek emisí vlivem zanedbání nepřímých emisí

Rok	2025		2030	
Scénář	Úbytek emisí [t]	Emise z OAD [t]	Úbytek emisí [t]	Emise z OAD [t]
Nízký	17 600	10 882 400	118 000	10 782 000
Střední	113 000	10 787 000	321 000	10 579 000
Vysoký	372 000	10 528 000	1 255 000	9 645 000

Z porovnání hodnot je patrné, že do roku 2030 dle predikcí počtu elektromobilů je možné dosáhnout snížení emisí CO_2 o statisíce tun. Avšak pohledem na problematiku, kdy je brán provoz vozidla se spalovacím motorem jako zdroj emisí, je možné nahlížet na elektromobilitu jako bezemisní způsob dopravy, takže nevznikají žádné emise zapříčiněny jejich užíváním.

3.2.4 RECYKLACE BATERIÍ

Recyklace baterií z elektromobilů je velice kontroverzní téma. Současný stav míry recyklace udává vyhláška Evropské komise, která stanovuje povinnost znovu využít minimálně 50 % hmotnosti baterie. Recyklování baterií elektromobilů v malém počtu se nevyplácí. Důvodem je velká rozlišnost užitých materiálů, které mají různé fyzikální vlastnosti a složení, a s tím související vysoké náklady na třídění. Problémem u nejčastěji používaných baterií je recyklace lithia. Jedná se prvek, který musí splňovat určitá bezpečnostní opatření, protože je náchylný ke vznícení a špatně se hasí. V dnešní době je recyklace lithia z baterií nákladnější než samotná těžba, proto se také finančně nevyplácí. [57]

3.3 EKONOMICKÝ DOPAD

Nastupující vývoj elektromobility sebou přináší také významné investice, které se týkají zejména nutnosti úpravy a rozvoje elektrizační sítě nízkého napětí (NN) a vysokého napětí (VN). Těmito změnami by se mělo docílit připravenosti sítě na navýšení výkonu odběru elektřiny, zejména v hustě obydlených oblastech. V rámci finančního srovnání klade elektromobilita negativní vliv na nové potenciální uživatele z důvodu vyšších pořizovacích cen EV. Ceny nových vozidel bývají řádově o stovky tisíc korun vyšší než u aut se se spalovacím motorem. Motivace koupě elektromobilu je v řadě zemí podporováno různými benefity. Například v Norsku je novým majitelům EV prominuta daň z nákupu vozidla a jsou osvobozeni od DPH, přičemž celkové snížení ceny může být až 300 tisíc korun. Jiné země, například Velká Británie, poskytuje kupujícímu dotaci ve výši okolo 100 tisíc korun. [58]

3.3.1 ÚPRAVA ELEKTRIZAČNÍ SÍTĚ

Navýšení výkonnostních kapacit elektrizační sítě s narůstajícím významem elektromobilů a zachování kvality výkonu bude nezbytné. Současná ES na našem území se řadí mezi jednu z nejlepších v Evropě. Pro zachování stálé kvality, s navýšením odběru výkonu sítě bude nutné provézt úpravy. Tyto změny, jak již bylo uvedeno, se budou týkat jak vedení VN, NN, tak transformačních stanic, kterých bude přibývat. Jednotliví distributoři elektrické energie plánují přirozenou obnovu sítě, která je nezbytná pro zachování její kvality. Náklady na úpravy distribuční sítě VN vlivem elektromobility nad rámec přirozené obnovy a zahrnují tři scénáře podle počtu vozidel v daných letech. Plánují jak výstavbu vedení VN, tak úpravy a navyšování transformačních stanic pro větší nabíjecí centra a zajištění stabilního výkonu. V rámci úpravy je zohledněna síť NN, která se zaobírá lokálními nárůsty odebíraného výkonu. K těmto největším nárůstům výkonu bude docházet ve velkých městských aglomeracích, jako jsou Praha, Ostrava, Olomouc nebo Brno, kde dojde k výměnám a posílení trafostanic, aby se předcházelo přetížení. [41] Náklady se budou pohybovat různě dle scénářů uvedených v tabulce 20.

Tab. 20 Investice na rozvoj distribuční sítě vyvolané elektromobilitou (v mil. Kč) [41]

Síť	**Síť nízkého napětí**			**Síť vysokého napětí**		
Scénáře	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Nízký	24	24	95	0	0	120
Střední	540	729	2 113	0	0	3 780
Vysoký	2 635	4 075	11 274	0	590	80 690

3.3.2 NIŽŠÍ PŘÍJEM DANÍ STÁTU

Elektromobilita je brána jako nový nástupce klasické dopravy využívající spalovací motory. Výhledově do budoucna, automobily využívající ke svému pohonu benzín či naftu, budou ubývat. Důsledkem toho dojde k výraznému snížení výběru spotřební daně a daně z přidané hodnoty z uvedených paliv.

Pro modelový příklad snížení výběru daní bude brána cena nafty i benzínu stejná, a to odpovídající ceně ze dne 1. 1. 2022, která činila přibližně 36 korunám za litr. [59] Při této ceně pohonných hmot tvoří spotřební daň z benzínu 12,84 Kč na litr a z nafty 9,95 Kč na litr. Daň z přidané hodnoty je v obou případech stejná, a to 6,24 Kč na litr. [60] Průměrem spotřebních daní a přičtením DPH se dojde k hodnotě 17,635 korun na litr pohonné hmoty. Poslední otázkou zbývá průměrná spotřeba. Ta je určena z přibližných průměrných spotřeb benzínových a dieselových automobilů a činí 6,7 litrů na 100 kilometrů. [38] Celková průměrná částka tvořící daně je 118,15 Kč na 100 km.

U automobilů s elektrickým pohonem je výpočet výše daní obdobný. Průměrná cena elektřiny činila na počátku roku přibližně 6 korun za kWh. [61] Daň z přidané hodnoty tak tvoří 1,26 Kč na kWh a ekologická daň, která je součástí ceny elektřiny činí 28,3 Kč na spotřebovanou MWh. [62] Celková daň z elektřiny je tedy 1,29 korun na kWh, a při průměrné spotřebě elektormobilu 21,2 kWh na 100 km bude daň tvořit 27,35 Kč na 100 km.

Výpočet snížení příjmu státu přechodem k elektrického pohonu automobilů bude tvořit rozdíl hodnot daní pohonných hmot a elektřiny a ten se určí:

$$\Delta K_{OA} = (K_S - K_E) \cdot s = \left(\frac{118{,}15}{100} - \frac{27{,}35}{100}\right) \cdot 12000 = 10\,890\ K\check{c} \tag{20}$$

kde ΔK_{OA} je snížení roční hodnoty daní odváděno státu z prodeje paliva vztaženo na jedno vozidlo [Kč], K_S je průměrná hodnota daní pohonných hmot spalovacího automobilu na 100 km jízdy [Kč] a K_E je průměrná hodnota daní pohonu elektromobilu na 100 km jízdy [Kč].

V rámci předpovědi počtu elektromobilů v daných letech a při předpokladu, že vozidlo se spalovací motorem bude vyměněno za nový elektromobil, je možné zjistit přibližné ztráty na daních při daných scénářích vztahem:

$$K_{i,j} = \Delta K_{OA} \cdot n_{i,j} = 10\,890 \cdot 11\,000 = 120\,000\,000\ K\check{c}, \tag{21}$$

kde $K_{i,j}$ je snížení roční hodnoty daní odváděno státu [Kč], index *i* označuje scénář (nízký, střední, vysoký) a index *j* označuje rok. Vypočtené hodnoty poklesu daní jsou zobrazeny v tabulce 21.

Tab. 21 Předpokládaný pokles daní z pohonných hmot

Předpokládaný pokles daní		**2025**	**2030**	**2035**	**2040**
Nízký scénář	Celkem EV	11 000	74 000	218 000	470 000
	Pokles daní [mil. Kč]	120	807	2 380	5 123
Střední scénář	Celkem EV	71 000	201 000	550 000	1 090 000
	Pokles daní [mil. Kč]	770	2 190	6 000	11 900
Vysoký scénář	Celkem EV	233 000	786 000	1 592 000	3 092 000
	Pokles daní [mil. Kč]	2 540	8 570	17 350	33 700

Při vyšším počtu elektromobilů jezdících na silnicích bude docházet ke stále větším propadům příjmu státu ve formě daní. Už při středním scénáři se nebude jednat o zanedbatelné částky a pro vyrovnání těchto ztrát bude nezbytný zásah státu, a to například zvýšením ceny elektřiny pro dobíjení.

3.3.3 NÁVRATNOST ELEKTROMOBILŮ

Důvod, proč lidé stále preferují automobily se spalovacím motorem, je prostý. Hlavní faktor je pořizovací cena elektromobilů, která se pohybuje řádově o stovky tisíc výš oproti vozidlům se spalováním. V Česku není zatím nijak finančně podporován nákup pro soukromé osoby. Nicméně existuje řada malých benefitů v podobě prominutí poplatku dálniční známky, nižší sazby povinného ručení a úspory na silniční dani, které mohou ročně ušetřit až 5000 korun. Dále se jedná o pravidelnou údržbu vozidla, kde vyšší pořizovací cenu kompenzují nižší provozní náklady a náklady na údržbu. U aut se spalovacím motorem je nutné měnit olej a další mechanické součásti, a pro tuto údržbu vozidla stanovena hodnota 5000 Kč. [63] V provozních nákladech se také projeví cena paliva a jeho spotřeba. Hodnoty, se kterými se pracuje, byly stanoveny v předchozí kapitole. Úspora na pohonných hmotách při stanovených cenách a spotřebách bude tedy okolo 110 korun na 100 km. Tudíž za rok se bude jednat přibližně o 14 000 korun. Shrnutím ekonomických výhod elektromobilu je možné za rok ušetřit na provozních nákladech částku 25 tisíc korun, při vyšším počtu najetých kilometrů i 30 tisíc.

Při cenách nových vozidel se spalovacím motorem, jejichž odhadovaná průměrná hodnota v roce 2021 činila okolo 600 tisíc korun, a cenách nových elektromobilů, u kterých se průměrný odhad ceny pohyboval okolo 950 tisíc korun, se návratnost bude pohybovat za hranicí více než 10-ti let. [64] Aby bylo možné určit skutečnou návratnost, bylo by nutné porovnávat přesně určené vozy, jejich ceny a spotřeby. Nicméně je patrné, že příspěvky na pořízení elektromobilů v různých státech Evropy kompenzují rozdíl mezi cenou EV a auta se spalovacím motorem a pro jejich uživatele se návratnost projeví dříve.

3.3.4 NABÍJECÍ INFRASTRUKTURA

Základním krokem rozvoje elektromobility je výstavba silné a četné sítě veřejných nabíjecích stanic. Dle NAP CM je plánováno při nižším scénáři rozvoje elektromobility v roce 2025 6 200 dobíjecích bodů, respektive 19 000 bodů v roce 2030. Při vyšším scénáři by se jednalo v roce 2025 o 11 000 dobíjecích bodů a 35 000 bodů k roku 2030. Z dosavadního vývoje počtu nabíjecích stanic, kdy jich konci roku 2021 bylo evidováno 944 s 1841 nabíjecími body, lze říci, že na jednu stanici připadají 2 nabíjecí body. Počet stanic je poloviční oproti počtu dobíjecích bodů. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.5 nabíjení elektromobilů, stanice se dělí podle dobíjecího výkonu. Cena nabíjecí AC stanice o výkonu 22 kW činí přibližně 300 000 korun. Stanice DC o dobíjecím výkonu 50 kW se pohybuje okolo 1 milionu korun, Důvodem takto vysoké ceny je využití usměrnění proudu velkého výkonu a vlastní zásobárna elektrické energie. Ultrarychlé dobíjecí stanice DC o výkonu 175 kW dosahují ceny až 3 milionu. [65]

Zastoupení aktuálních provozovaných nabíjecích stanic tvoří ze 40 % AC stanice, z 50 % DC stanice nebo jejich kombinace a 10 % všech dobíjecích stanic tvoří ultra rychlé dobíječky.[32] Tento procentuální podíl je zohledněn v následující predikci. Při předpokladu necelého tisíce již provozovaných nabíjecích stanic se plán výstavby bude pohybovat následovně vztahem:

$$K_{DI} = \sum K_{DS} \cdot n_{DS,i,j} \cdot p_{DS}\,, \tag{22}$$

kde K_{DI} je celková předpokládaná investice do dobíjecí infrastruktury [Kč], K_{DS} je cena dané dobíjecí stanice [Kč], $n_{DS,i,j}$ je rozdíl předpokládaného počtu dobíjecích stanic dle NAP CM a již postavených dobíjecích stanic [-] a p_{DS} je procentuální zastoupení každé z dobíjecích stanic. Celkově se se bude jednat o předpokládané výše investic zaznamenané v tabulce 22. Lze říci, že k roku 2025 se cena výstavby nových stanic může pohybovat kolem 10 miliard korun a k roku 2030 až 30 miliard korun. [65]

Tab. 22 Investice do dobíjecí infrastruktury

Rok	**2025**	**2030**
Scénáře	**[mil. Kč]**	**[mil. Kč]**
Nízký	4 800	17 500
Vysoký	9 200	31 300

3.4 DALŠÍ MOŽNÉ DOPADY

Oblastí, které zasáhne masivní rozvoj elektromobility, je spousta. Energetika, životní prostředí a ekonomie jsou významné pilíře celé této problematiky. Další dopady více či méně souvisí s výše zmiňovanými sektory. Důležitou otázkou je nabíjení vozů, kde pro velký počet aut na elektrický pohon bude potřeba eliminovat dopady spojené s délkou nabíjení. Týká se to zejména úpravy parkovacích míst.

NABÍJENÍ VE VELKÝCH MĚSTECH

Při pořizování nového automobilu hraje důležitou roli skutečnost, že obyvatelé bytových jednotek nemají takové možnosti dobíjení elektromobilů jako obyvatelé rodinných domů. Tento rozdílný fakt nahrává tomu, že je třeba vybudovat dobíjecí infrastrukturu na velkých sídlištích tak, aby se možnosti domácího nabíjení přibližně rovnaly možnostem na venkově. V Česku se již tato místa na nabíjení na sídlištích ojediněle vyskytují. Příkladem může jít Praha, která se snaží využívat potenciálu vlastních rozvodných stanic a trafostanic. Tyto stanice disponují velkým přiváděným napětím, které je následně rozváděno do jednotlivých panelových domů. Tento zdroj lze využívat pro nabíjení elektromobilů, kde na stranách stanic jsou rozmístěny wallboxy, jako to je možné vidět na obrázku 13. Jedna trafostanice může nabíjet až 30 aut o výkonu 11 kW. Okolí se však musí upravit tak, aby vozy mohly být zaparkovány přímo vedle ní. Avšak takových stanic se nenachází na sídlištích příliš. Co do

četnosti nabíjení je rozšířenější a dostupnější možnost vybudování stojanových sloupků, které by se nacházely mezi parkovacími místy. Další možností je využití pouličních lamp, přesněji chytrých lamp, kde je ve spodní části sloupu lampy umístěn wallbox. Nevýhodou je, že k lampám zpravidla není veden velký výkon, tudíž by se musel upravit přívod energie. [66]

Obr. 13 Trafostanice s možnosti dobíjení EV [66]

V centrech měst bude potřeba pokrýt řadu míst, kde lidé nechávají zaparkovaná svá auta na kratší dobu. Jedná se například o městské úřady, divadla, kina, sportovní zařízení, obchody nebo nákupní centra.

ČISTÁ ENERGIE PRO ELEKTROMOBILITU

Mezi pojmy elektromobilita a čistá dopravy je stále mírná propast. Elektromobil se sice prezentuje jako bezemisní vozidlo, ale elektřina, kterou využívá, se stále vyrábí ve velkém zastoupení tepelnými elektrárnami produkující velké množství emisí. Proto do budoucna bude důležitou součástí elektromobility hodnota poddílu OZE v dopravě. Názorným příkladem je nabíjecí stanice pro elektromobily v Lovosicích, jejímž zdrojem energie je vodní elektrárna. Elektřina je využita z malé vodní elektrárny na Labi, která má výkon 3 MW a běží nepřetržitě. Energie vyráběná vodním tokem řeky celkem poskytuje napájení pro 16 dobíjecích stanic a při otevření v roce 2021 se jednalo o největší dobíjecí hub v ČR. [67]

Na druhé straně republiky, v Břeclavi, byla uvedena do provozu dobíjecí stanice, která čerpá pro nabíjení vozidel energii ze slunce. Jedná se o stanici, která je svou zeměpisnou polohou vhodně zvolena na jihu země, kde je největší intenzita slunečního záření. O výrobu elektrické energie se stará 54 solárních panelů umístěných nad zastřešeným stáním pro auto o celkovém výkonu 18 kWp a bateriové úložiště o kapacitě 75 kWh. V případě nepříznivého počasí se elektrické energie moc nevyrobí, avšak auta mohou čerpat energii z úložiště i ze sítě. [68] Nicméně toto řešení je také vhodným kompromisem i pro rodinné domy.

4 ÚPLNÁ ELEKTROMOBILITA

V rámci předchozí kapitoly byly představeny dopady masivního rozvoje elektromobility dle předpokládaného vývoje a různých scénářů po stránce energetické, ekologické a ekonomické. Nicméně je více než jasné, že dříve nebo později dojde k vyčerpání veškerých zásob paliv a bez benzínu či nafty se spalovací motory neobejdou. V tu chvíli nastává otázka, jak by vypadala situace v České republice, při které by se všechna auta nahradila elektromobily. Jaký by byl celkový dopad, kdyby se na silnicích pohybovalo 6 290 000 elektrických aut, což odpovídá množství všech evidovaných vozidel na konci roku 2021 v ČR, jak se změní množství vyrobené resp. spotřebované elektrické energie, o kolik se sníží množství emisí v sektoru dopravy a jaký bude ekonomický přínos státu.

ENERGETICKÝ DOPAD

Přírůstek spotřeby elektrické energie výrazně vzroste. Jako předpoklad bude uvažována stále stejná roční spotřeba elektrické energie BEV ze sítě, a to 3027,4 kWh. Při počtu všech vozidel na silnicích dojde k ročnímu nárůstu spotřeby elektřiny ze vztahu:

$$E_{TE,netto} = E_{BEV} \cdot n_{TE} = 3027{,}4 \cdot 6290000 = 19\,042\ GWh, \tag{23}$$

kde $E_{TE,netto}$ je předpokládaná netto spotřeba všech osobních vozidel v ČR, když by se jednalo pouze o elektromobily [GWh] a n_{TE} je počet všech vozidel v ČR k 31. 12. 2021 [-]. Při srovnání s průměrnou spotřebou elektřiny uplynulých 10 let v ČR, která činila 60 113 GWh, se jedná o jednu třetinu průměrné roční spotřeby. Jelikož se jedná o netto spotřebu, pro celkové množství vyrobené elektrické energie pro pokrytí daného počtu elektromobilů bude podstatná brutto spotřeba, která se je 1,19 krát větší, protože účinnost přenosu elektrické energie od generátoru po spotřebitele je 84 %. Brutto spotřeba tedy bude

$$E_{TE,brutto} = \frac{E_{TE,netto}}{\eta_{el}} = \frac{19042}{0{,}84} = 22\,670\ GWh, \tag{24}$$

kde $E_{TE,brutto}$ je brutto spotřeba všech automobilů nahrazených elektromobily [GWh]. Pro srovnání, výkonnější z českých jaderných elektráren, jaderná elektrárna Temelín, vyrobí ročně okolo 15 700 GWh elektrické energie.[34] Pro pokrytí uvažovaného počtu vozidel by bylo potřeba ještě téměř o polovinu zvýšit instalovaný výkon této elektrárny.

EKOLOGICKÝ DOPAD

Při tomto scénáři, kdy všechna auta využívají jako pohon elektřinu, nevznikají žádné přímé emise z dopravy. Nečistoty vyprodukované automobily na silnicích tak téměř zmizí. Jediné emise, které budou zatěžovat sektor dopravy, budou pocházet z výroby elektromobilů a z výroby elektřiny pro jejich pohon. Míra znečištění ovzduší emisemi z dopravy bude ovlivněna aktuálním složením národního energetického mixu. Úbytek emisí po nahrazení všech automobilů elektromobily a při zjištěných energetických mixech bude dán vztahem:

$$\Delta m_{TE} = n_{TE} \cdot \left(m_{CO_2,OA} - m_{CO2_1km,j}\right) \cdot s \qquad (25)$$
$$= 6290000 \cdot (133 - 100{,}67) \cdot 10^{-6} \cdot 12000 = 2\,440\,000\ t$$

kde Δm_{TE} je pokles emisí CO_2 při nahrazení všech vozidel elektromobily [t]. Dosazením předpokládaných emisí v roce 2025 a 2030 na jeden kilometr jízdy se získají hodnoty snížení o 4 060 000, respektive 6 060 000 tun oxidu uhličitého. Ty se dále upraví rozdílem od celkového množství emisí a hodnoty jsou vneseny do tabulky 23.

Tab. 23 Úbytek emisí při úplné elektromobilitě

Rok	Úbytek emisí [tis. t]	Emise z OAD [tis. t]
2020	2 440	8 460
2025	4 060	6 840
2030	6 060	4 840

Při daném energetickém mixu bude poddíl z nepřímých emisí v roce 2025 oproti dnešním hodnotám téměř poloviční a při energetickém mixu v roce 2030 se bude blížit třetinové hodnotě. Nicméně přímé emise vyprodukované elektromobily jsou nulové.

EKONOMICKÝ DOPAD

Při změně paliva automobilů, kdy jsou benzín a nafta nahrazeny elektřinou, dochází také k poklesu příjmů z výběru daní uvalených právě na pohonné hmoty. Jelikož se jedná o neobnovitelné zdroje, je patrné, že jednou budou muset být plně nahrazeny. Právě elektřina z obnovitelných zdrojů může být vyrobena nezávisle na fosilních palivech. Také ceny benzínu a nafty jsou vyšší než cena elektřiny. Protože jsou navíc zatíženy spotřební daní, přináší více peněz do státní kasy. Při plném nahrazení automobilu se spalovacím motorem elektromobilem dojde ročně ke snížení odvodu daní na jedno vozidlo o 10 890 korun. Při úplném přechodu od spalovacích aut k elektromobilům se bude jednat o:

$$K_{D,TE} = \Delta K_{D,OA} \cdot n_{TE} = 10\,890 \cdot 11\,000 = 68\,500\ mil.Kč, \qquad (26)$$

kde $K_{D,TE}$ je snížení roční hodnoty daní odváděno státu při úplném nahrazení vozidel elektromobily [Kč].

O tuto průměrnou částku by stát každoročně přicházel. Úbytek příjmů téměř 70 miliard korun ročně by znamenal obrovský deficit pro státní rozpočet. V takovém případě by už byl nezbytný zásah státu nejspíše do zvýšení cen elektřiny, případně zavedení dalších daní.

ZÁVĚR

Při dnešním počtu 15 000 registrovaných EV z celkového počtu 6,3 milionu aut je elektromobilita u nás na svém počátku. Ačkoli rychlost rozvoje nekopíruje data jako v jiných státech Evropy, Češi si přesto pomalými kroky nacházejí cestu k dopravě na alternativní pohon. Nicméně za pár let může být všechno jinak. Dle výzkumu zpracovaného společností EuroEnergy je kalkulováno se třemi scénáři vývoje elektromobility v daných letech a celá práce je stavěna na třech základních oblastech dopadů.

Energetický dopad vlivem elektromobility je velmi významným z hlediska plánování výstavby nových elektráren. Do roku 2030 se předpokládá nárůst spotřeby elektrické energie vlivem elektromobility přibližně o 2 400 GWh, což odpovídá 4% nárůstu celkové spotřeby, v roce 2040 pak kolem 9 500 GWh, což odpovídá 16% celkové spotřebě elektřiny. Okamžité výkonové přírůstky by mohly dosahovat maxim v roce 2030 kolem 2 000 MW a v roce 2040 přes 7 000 MW. Při stávající kvalitě sítě a počtu elektráren by Česká republika neměla mít problém do konce desetiletí s pokrytím výše uvedené kapacity. Otázkou je, co nastane po roce 2030, bude docházet k postupnému odstavování uhelných elektráren.

Životní prostředí by si mohlo vlivem elektromobility, především ve velkých městech, ulevit. Každým nahrazením auta se spalovacím motorem vozidlem elektrickým se sníží množství vyprodukovaných emisí. Nesmí se však zapomenout na emise z procesu výroby elektřiny i samotného auta, které nejsou nulové. Snižování těchto emisí je závislé na navyšování podílu výroby elektřiny z OZE. Do roku 2025 by mohlo dojít k úbytku emisí v osobní automobilové dopravě okolo 4 %, v roce 2030 přibližně 12 %, což odpovídá přibližně 1,3 milionu tun CO_2.

Po stránce ekonomické bude nezbytné investovat do elektromobility řádově stovky miliard korun. Tyto investice budou především směřovat do obnovy elektrizační sítě, která se musí připravit na vyšší odběr elektřiny téměř o pětinu oproti nynějšímu stavu a v hustě obydlených oblastech na vyšší špičková zatížení. Bude potřeba stálá podpora výstavby dobíjecí infrastruktury, jejíž předpokládaný cenový odhad do roku 2030 je přibližně 30 miliard korun. Důležitým ekonomickým hlediskem jsou daně. Pohonné hmoty automobilů jsou zatíženy vyšší sazbou daně oproti elektřině. Při přechodu k elektromobilitě dojde k úbytku příjmů státu z prodeje benzínu a nafty, a předpokládaná ztráta by mohla činit až 33 miliard korun ročně. Celkově do roku 2040 se odhaduje propad příjmů státu o stovky miliard korun.

V porovnání s úplnou elektromobilitou, kde by všechna vozidla byla nahrazena elektromobily, by spotřeba elektřiny narostla téměř o třetinu oproti nynější spotřebě. Po stránce ekologické by došlo téměř k úplnému útlumu emisí vyprodukovaných na silnicích, protože provozem elektromobilu žádné nevznikají. Z finančního hlediska by stát na daních z pohonných hmot ročně přišel až o 70 miliard korun. To by mohlo být impulzem pro zavedení nové daně z elektřiny pro nabíjení EV, aby se snížily propady v příjmech státu.

Na závěr tedy lze konstatovat, že s elektromobilitou se musí do budoucna počítat. Právě doprava otevírá možnosti maximálního využití OZE a minimalizování negativního vlivu na životní prostředí. Proto se vyplatí investovat do solárních panelů nebo do využití potenciálu ukrytého v malých vodních elektrárnách jako stálý zdroj energie nabíjecích stanic.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] BERGMANN, Petr. Historie elektromobilů od prvního elektromotoru po současnost. In: *Elektrické vozy* [online]. Praha: Elektrické vozy, 20. 9. 2021, © 2011-2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/historie-elektromobilu-od-prvniho-elektromotoru-po-soucasnost

[2] A Short History of Electric Vehicles. In: *Zeppelin Foundation* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.zf.com/mobile/en/stories_9473.html

[3] FOUSEK, Daniel. Vědecké okénko: Na cestě do historie elektromobility, díl 1. aneb jak to všechno začalo *Elektrickevozy.cz* [online]. Praha: Elektrické vozy, 25. 10. 2019, © 2011-2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/vedecke-okenko-na-ceste-do-historie-elektromobility-dil-1-aneb-jak-to-vsechno-zacalo

[4] SIMPSON, Joseph D. a Wesley van BARLINGEN. The history of electrics cars. In: *EVBox* [online]. 2. 11. 2021 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://blog.evbox.com/electric-cars-history

[5] HARTOVÁ, Veronika a Martin KOTEK. Elektromobilita. *Česká zemědělská univerzita v Praze: Technická fakulta* [online]. Praha: ČZU, 2020 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://katedry.czu.cz/storage/258/7579_elektro-skripta.pdf

[6] SCOTT, Jill. How an elecric motor works in a car. In: *Electric motor engineering* [online]. [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.electricmotorengineering.com/an-electric-motor-works-car/

[7] DRUHY ELEKTROMOBILŮ – ZNÁTE JE VŠECHNY?. In: *Škoda Storyboard* [online]. Mladá Boleslav, 21. 3. 2019, © 2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/

[8] Baterie elektromobilu: Základní parametry. In: *Devinn* [online]. Jablonec nad Nisou: Devinn, 31. 3. 2020, © 2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu/

[9] Elektromobily a jejich baterie. In: *Evexpert* [online]. Olomouc: Evexpert , © 2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie

[10] How do electric car batteries work?. In: *Energysage* [online]. Boston: Energysage, 25. 8. 2021, © 2009-2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/how-do-electric-car-batteries-work/

[11] FRIVALDSKÝ, Michal, Michal PRAŽENICA, Roman KOŇARIK, Pavol ŠPÁNIK, Peter ČUBOŇ, Roman RADVAN a Vladimír RÁČEK. *Elektromobilita*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2019. ISBN 978-80-554-1598-7.

[12] BITTNER, Phillip. Druhý život pro baterie z elektromobilů. In: *Volkswagen* [online]. Praha: Porsche Česká republika, © 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:

https://www.volkswagen.cz/elektricke-a-hybridni-vozy/vse-o-elektromobilite/druhy-zivot-pro-baterie-z-elektromobilu

[13] Recyklace lithia z baterií se teď nevyplatí, je náročná, bude třeba i růst kapacit, tvrdí organizace Ecobat. In: *Ekonomický deník* [online]. Praha, 3. 8. 2021 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://ekonomickydenik.cz/recyklace-lithia-z-baterii-se-ted-nevyplati-je-narocna-bude-treba-i-rust-kapacit-tvrdi-organizace-ecobat/

[14] VACOVSKÝ, Marek. Míra recyklace starých baterií z elektromobilů se díky EU výrazně zvýší. In: *FZone.cz* [online]. Praha, 9. 3. 2021, © 2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://fzone.cz/clanky/mira-recyklace-starych-baterii-z-elektromobilu-se-diky-eu-vyrazne-zvysi-1876

[15] Mezinárodní smlouvy v oblasti životního prostředí. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, © 2008–2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/mezinarodni_smlouvy

[16] United Nations Conference on the Human Environment. In: *United Nations* [online]. Stockholm: United Nations, 16 June 1972, [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972

[17] Rámcová úmluva OSN o změně klimatu. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, © 2008–2022 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu

[18] Pařížská dohoda. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, © 2008–2022 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda

[19] Zelená dohoda pro Evropu. In: *Evropská rada a Rada Evropské unie* [online]. Brusel: Evropská unie, © 2022 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/green-deal/

[20] TAYLOR, Kira a Sean G. CARROLL. Balíček Fit for 55: Co můžeme očekávat?. In: *Euractiv* [online]. Praha: EU-Media, © 1999 - 2022, 13. 7. 2021 [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/balicek-fit-for-55-co-muzeme-ocekavat/

[21] Národní akční plán čisté mobility. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, © 2005 - 2021, 16. 12. 2015 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/narodni-akcni-plan-ciste-mobility--167456/

[22] Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility 2019. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 6. 5. 2020, © 2005-2021 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/

[23] Registrace nových osobních vozidel v ČR. In: *Čistá doprava* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. i. i., © 2021 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/registrace-novych-osobnich-vozidel-v-cr/

[24] Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM. In: *Čistá doprava* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. i. i., © 2021, 31. 12. 2021 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/

[25] Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR. In: *EuroEnergy* [online]. Praha: EuroEnergy, 3. 4. 2018 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/konference-seminare/2018/11/Studie-NAPS-SG-A25_Elektromobilita.pdf

[26] Příloha aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility 2019. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 6. 5. 2020, © 2005-2021 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/

[27] AC / DC nabíjení u elektromobilů a jejich rozdíl. In: *EVEXPERT.CZ* [online]. Olomouc: EV EXPERT, © 2021 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/ac-dc-nabijeni

[28] When and how to use DC rapid charging. In: *ChargePoint* [online]. Theale: ChargePoint, © 2022, 18. 5. 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.chargepoint.com/en-gb/blog/when-and-how-use-dc-rapid-charging

[29] LILLY, Chris. EV connector types. In: *Zap-Map* [online]. Bristol: NEXT GREEN CAR, © 2022, January 12, 2022 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/

[30] PULTZNER, Martin a Ladislav ČERMÁK. Jak vybrat wallbox pro domácí nabíjení elektromobilu?. In: *FDrive.cz* [online]. Praha: 24net, © 2022, 25. 4. 2022 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/jak-vybrat-wallbox-pro-domaci-nabijeni-elektromobilu-muzete-dostat-i-dotaci-8813

[31] MACH, Tomáš. Dobíjecí stanice na elektromobily: právní aspekty. In: *MACH LEGAL* [online]. Praha: MACH LEGAL, © 2021, 24. 8. 2021 [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: https://www.machlegal.eu/dobijeci-stanice-na-elektromobily-pravni-aspekty/

[32] Veřejné dobíjecí stanice v ČR. In: *Čistá doprava* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. i. i., © 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/stanice-ceska-republika/

[33] FYZICKÁ INFRASTRUKTURA A ZELENÁ TRANZICE. In: *Národní plán obnovy* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, © 2021 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.planobnovycr.cz/fyzicka-infrastruktura-a-zelena-tranzice

[34] Roční zpráva provozu ES ČR pro rok 2020. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava: ERÚ, 2021 [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.eru.cz/sites/default/files/import_files/Rocni_zprava_provoz_ES_2020.pdf

[35] Elektroautos im Test: So hoch ist der Stromverbrauch. In: *ADAC* [online]. München: ADAC, © 2022, 20. 01. 2022 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/?fbclid=IwAR25sixDQcRRPK4eCJCiuj1IW0YtG-2eokcgq6s32Bto_MfTWccE2WZ15Cw

[36] KALUDA, Lukáš. Aktuální data o elektromobilitě v České republice. In: *Čistá doprava* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. i. i., © 2022, 17. 02. 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/aktualni-data-o-elektromobilite-v-ceske-republice/

[37] Change in distance travelled by car. In: *Odyssee-mure* [online]. Grenoble: Enterdata, © 2001-2022, 19. 5. 2020 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/transport/distance-travelled-by-car.html

[38] MORKUS, Josef a Jan MACEK. Některé důsledky hromadného rozšíření elektromobilů pro ČR. In: *Časopis stavebnictví* [online]. Praha: Informační centrum ČKAIT, © 2007-2022, 19. 11. 2019 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-nektere-dusledky-hromadneho-rozsireni-elektromobilu-pro-cr.html

[39] Plug-in-Hybrid: Modelle, Verbrauch, Technik, Kosten, Ökobilanz. In: *ADAC* [online]. München: ADAC, © 2022, 24. 02. 2022 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/auto/plug-in-hybrid/

[40] HAVEL, Bohumil. Energetická bilance zatížení. In: *DocPlayer* [online]. © 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://docplayer.cz/36796081-1-4-energeticka-bilance-zatizeni.html

[41] Dopad elektromobility do DS ČR. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Brno: Energetický ústav, © 2022, 7. 2. 2020 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/3/Integrace_emobility_loadflow_studie_EGU.pdf

[42] Data: Zatížení 2021. In: *ČEPS* [online]. Praha: ČEPS Invest, © 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.ceps.cz/cs/data#Load

[43] Emise skleníkových plynů v ČR podle sektorů detailně. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Otevřená data o klimatu, © 2021, 18. 1. 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-vyvoj

[44] Vývoj emisí v ČR v letech 1990–2018. In: *Fakta o klimatu* [online]. Brno: Otevřená data o klimatu, © 2021, 18. 1. 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail

[45] Úroveň emisí CO2 produkovaných během životního cyklu různých druhů vozidel a paliv. In: *Evropská agentura pro životní prostředí* [online]. Copenhagen: EEA, © 2021, 26. 10. 2017 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2017/infografika/uroven-emisi-co2-produkovanych-behem/view

[46] Národní energetický mix. In: *Operátor trhu s elektřinou* [online]. Praha: OTE, © 2018 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix

[47] ŽIVČÁK, Jozef, KADÁROVÁ, Jaroslava, PUŠKÁR, Michal, KOČIŠOVÁ, Michaela, LACHVAJDEROVÁ. Laura.Expected Impacts of the Massive Increase in Electric Vehicles in Slovakia. Basel: Applied Sciences 10(24), 2020. DOI:10.3390/app10248945

[48] Emisní faktory při výrobě elektrické energie v ČR. In: *Emise.cz* [online]. Praha: KONEKO marketing, 2020 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: http://emise.cz/wp-content/uploads/2020/11/Emisni-faktory-elektrina.pdf

[49] LEDVINA, Petr. Jaké emise CO2 připadají na vyrobenou jednotku elektřiny dle typu elektrárny?. In: *Ekologický institut Veronica* [online]. Brno: ZO ČSOP Veronica, © 2022, 21. 5. 2021 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: http://emise.cz/wp-content/uploads/2020/11/Emisni-faktory-elektrina.pdf

[50] Přehled emisních norem. In: *Srovnátor* [online]. Praha: PFP, © 2022, 27. 9. 2018 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.srovnator.cz/clanky/prehled-emisnich-norem/

[51] Norma Euro 7 – jak může ovlivnit další vývoj automobilového průmyslu?. In: *Srovnátor* [online]. Praha: PFP, © 2022, 27. 09. 2021 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.srovnator.cz/clanky/norma-euro-7/

[52] Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 14. 1. 2020, © 2005-2021 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/

[53] ČISTÁ ENERGIE ZÍTŘKA. In: *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, © 2022 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/o-cez/udrzitelnost-a-etika/cista-energie-zitrka

[54] Carbon Dioxide Emissions Coefficients. In: *U. S. Energy Information Administration* [online]. Washington: EIA, © 2022, 18. 11. 2021 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php

[55] Emise CO_2. In: *Čistá doprava* [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. i. i., © 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/emise-co2/

[56] Přehled stavu vozového parku. In: *Svaz Dovozců Automobilů* [online]. Praha: SDA, © 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://portal.sda-cia.cz/stat.php?v#str=vpp

[57] Zpackaná recyklace lithiových baterií?. In: *Tříděníodpadu.cz* [online]. © 2007-2022 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.trideniodpadu.cz/post/zpackan%C3%A1-recyklace-lithiov%C3%BDch-bateri%C3%AD

[58] BURSÍK, Martin. Dotace na elektromobily u nás i ve světě. In: *E.ON Energy globe* [online]. Brno: E.ON, © 2022 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/jak-to-je-s-dotacemi-na-elektromobily-u-nas-a-ve-svete

[59] Cestovní náhrady - průměrné ceny pohonných hmot 2022. In: *Finance.cz* [online]. Praha: Internet Info, © 1997 – 2022 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.finance.cz/dane-a-mzda/mzda/cestovni-nahrady/prumerne-ceny-phm/

[60] Benzín a nafta - spotřební daň a DPH - kalkulačka daně 2022. In: *Kurzy.cz* [online]. Praha: Kurzy.cz, © 2000 - 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.kurzy.cz/kalkulacka/spotrebni-dan-benzin-nafta/

[61] MACHÁČ, Roman. ČEZ zveřejnil nový ceník nabíjení elektromobilů. Kolik zaplatíte v roce 2022?. In: *Elektrickevozy.cz* [online]. Praha: Elektrické vozy, © 2011-2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/cez-zverejnil-novy-cenik-nabijeni-elektromobilu-kolik-zaplatite-v-roce-2022

[62] Daň z elektřiny. In: *Innogy* [online]. Praha: innogy, © 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.innogy.cz/pece/dan-z-elektriny/

[63] Náklady na provoz a údržbu elektromobilu. In: *EVEXPERT.CZ* [online]. Olomouc: EV EXPERT, © 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/naklady-na-provoz-a-udrzbu-elektromobilu

[64] *Sauto.cz* [online]. Praha: seznam.cz, 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.sauto.cz/

[65] Dobíjecí stanice v Česku: Ultrarychlá stanice vyjde i na desetinásobek. In: *Elektřina.cz* [online]. © 2014 – 2022, 20. 11. 2019 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.elektrina.cz/dobijeci-stanice-v-cesku

[66] PULTZNER, Martin. Jak nabít elektromobil na sídlišti? Ukážeme vám, jak snadno to jde už dnes. In: *FDrive.cz* [online]. Praha: 24net, © 2022, 29. 3. 2022 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/jak-nabit-elektromobil-na-sidlisti-ukazeme-vam-jak-snadno-to-jde-uz-dnes-rozhovor-8720

[67] TOMÍŠEK, Marek. V Lovosicích jsou první nabíjecí stanice poháněné jen obnovitelnou elektřinou. In: *FDrive.cz* [online]. Praha: 24net, © 2022, 21. 10. 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/v-lovosicich-jsou-prvni-nabijeci-stanice-pohanene-jen-obnovitelnou-elektrinou-7916

[68] V síti E.ON Drive máme první veřejnou dobíječku, která čerpá energii ze slunce. In: *E.ON Drive* [online]. České Budějovice: E.ON, © 2022, 4. 2. 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.eon-drive.cz/blog/2021/02/v-siti-e-on-drive-mame-prvni-verejnou-dobijecku-ktera-cerpa-energii-ze-slunce/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$E_{B,21}$	[GWh]	Odhadovaná spotřeba elektrické energie BEV v roce 2021
E_{BEV}	[kWh]	Průměrná roční spotřeba BEV ze sítě
E_{brutto}	[GWh]	Brutto spotřeba elektřiny v ČR
$E_{C,21}$	[GWh]	Celková spotřeba elektrické energie EV v roce 2021
$E_{i,j}$	[GWh]	Spotřeba elektrické energie
$E_{n,30}$	[GWh]	Spotřeba elektřiny dle spodní hranice NAP CM v roce 2030
E_{netto}	[GWh]	Netto spotřeba elektřiny v ČR
$E_{P,21}$	[GWh]	Odhadovaná spotřeba elektrické energie PHEV v roce 2021
E_{PHEV}	[kWh]	Průměrná roční spotřeba PHEV ze sítě
$E_{TE,brutto}$	[GWh]	Spotřeba elektřiny brutto při scénáři úplné elektromobility
$E_{TE,netto}$	[GWh]	Spotřeba elektřiny netto při scénáři úplné elektromobility
$E_{v,30}$	[GWh]	Spotřeba elektřiny dle horní hranice NAP CM v roce 2030
k_D	[–]	Efektivita přenosu energie ze sítě do baterie
K_{DI}	[Kč]	Předpokládané investice do dobíjecí infrastruktury
K_{DS}	[Kč]	Cena dané dobíjecí stanice
K_E	[Kč]	Průměrná hodnota daní pohonu elektromobilu (elektřiny)
$K_{i,j}$	[Kč]	Snížení roční hodnoty daní pohonných hmot odváděných státu
K_S	[Kč]	Průměrná hodnota daní pohonných hmot (benzínu a nafty)
K_{TE}	[Kč]	Snížení ročních daní z pohonných hmot při úplné elektromobilitě
$m_{CO,i}$	[g / kWh]	Emisní faktor CO daného zdroje energie (elektrárny)
$m_{CO,j}$	[g / kWh]	Emisní faktor CO z výroby elektřiny
$m_{CO_1km,j}$	[g / km]	Množství nepřímých emisí CO elektromobilu
$m_{CO2,i}$	[g / kWh]	Emisní faktor CO_2 daného zdroje energie (elektrárny)
$m_{CO2,j}$	[g / kWh]	Emisní faktor CO_2 výroby elektřiny
$m_{CO2,OA}$	[g / km]	Množství emisí CO_2 vyprodukovaných OA
$m_{CO2_1km,j}$	[g / km]	Množství nepřímých emisí CO_2 elektromobilu
$n_{B,21}$	[–]	Počet BEV v roce 2021
$n_{DS,i,j}$	[–]	Rozdíl plánovaných a již provozovaných dobíjecích stanic
$n_{i,j}$	[–]	Počet elektromobilů
$n_{n,EV}$	[–]	Počet EV dle spodní hranice NAP CM v roce 2030
$n_{P,21}$	[–]	Počet PHEV v roce 2021
n_{TE}	[–]	Počet všech vozidel provozovaných v ČR ke dni 31. 12. 2021

$n_{v,EV}$	[–]	Počet EV dle horní hranice NAP CM v roce 2030
p_{21}	[%]	Procentuální poddíl spotřeby EV na spotřebě v roce 2021
P_{22}	[kW]	Nabíjecí výkon nabíječky elektromobilu o výkonu 22 kW
$P_{3,7}$	[kW]	Nabíjecí výkon nabíječky elektromobilu o výkonu 3,7 kW
$P_{8,275}$	[kW]	Kombinace nabíjení o výkonech 22 kW a 3,7 kW
$P_{B,100}$	[kWh]	Průměrná spotřeba BEV na 100 km
P_D	[kWh]	Jednotkový výkon přiváděný do baterie
p_{DS}	[%]	Procentuální zastoupení dané dobíjecí stanice
$P_{i,j}$	[MW]	Okamžitý odebíraný výkon ze sítě
$p_{i,j}$	[%]	Procentuální zastoupení zdrojů energií v rámci energ. mixu
$P_{P,100}$	[kWh]	Průměrná spotřeba PHEV na 100 km
P_S	[kWh]	Výkon odebíraný ze sítě
s	[km]	Průměrný roční nájezd automobilu
ΔK_{OA}	[Kč]	Snížení hodnoty ročních daní pohonných hmot jednoho OA
$\Delta m_{i,j}$	[t]	Pokles množství CO_2 nahrazením elektromobilů
$\Delta m_{OA,i,j}$	[t]	Pokles množství CO_2 vyprodukovaných OA
η_D	[–]	Účinnost dobíjení elektromobilů
η_{el}	[–]	Účinnost přenosu elektřiny od výroby po spotřebu

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AC	Střídavý proud	Alternating Current
ADAC	Německý automobilový klub	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
BEV	Bateriové elektrické vozidlo	Battery Electric Vehicle
CDV	Centrum dopravního výzkumu	
CO	Oxid uhelnatý	
CO_2	Oxid uhličitý	
DC	Stejnosměrný proud	Direct Current
DPH	Daň z přidané hodnoty	
DS	Distribuční soustava	
DS	Distribuční síť	
EK	Evropská komise	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
ES	Elektrizační síť	
EU	Evropská unie	
EV	Elektrické vozidlo	Electric Vehicle
HC	Uhlovodíky	
HEV	Hybridní elektrické vozidlo	Hybrid Electric Vehicle
Li-ION	Lithium-iontové baterie	
NAP CM	Národní akční plán čisté mobility	
Ni-MH	Nikl-metal hydridové materie	
NN	Nízké napětí	
NO_X	Oxidy dusíku	
OA	Osobní automobil	
OZE	Obnovitelné zdroje energie	
PČ	Pevné částice	
PHEV	Plug-in hybridní elektrické vozidlo	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PS	Přenosová soustava	
SDA	Svaz dovozců automobilů	
VN	Vysoké napětí	