Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Bakalářská práce

Zhodnocení připravenosti infrastruktury pro přechod k elektromobilitě v individuální automobilové dopravě v podmínkách ČR

Jonáš Srb

© 2024 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jonáš Srb

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Zhodnocení připravenosti infrastruktury pro přechod k elektromobilitě v individuální automobilové dopravě v podmínkách ČR

Název anglicky

Evaluation of infrastructure readiness for the transition to electromobility in individual automotive transport in the conditions of the Czech Republic

---

Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude popsat současné trendy v oblasti energetiky s ohledem na výrazné rozšíření elektromobility v individuální automobilové dopravě.

Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků hodnocení budou formulovány závěry bakalářské práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

1. Úvod
2. Cíl a metodika práce
3. Přehled řešené problematiky
4. Závěr
5. Seznam použitých zdrojů
6. Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 – 50 stran

Klíčová slova

CO2, baterie, eletrická síť, nabíjení, účinnost

Doporučené zdroje informací

BUEKERS, Jurgen, Mirja VAN HOLDERBEKE, Johan BIERKENS a Luc INT PANIS. Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. Transportation Research Part D: Transport and Environment [online]. 2014, 33, 26-38 [cit. 2023-03-30]. ISSN 13619209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2014.09.002

KADULA, Lukáš; KOUŘIL, Petr. Rozvoj elektromobility v ČR. Silniční obzor. Praha: Česká silniční společnost, 2021, roč 82 č. 3, s78-81. ISSN 0322-7154

ZIRGANOS, Athanasios, Foteini ORFANOU, Eleni I. VLAHOGIANNI a George YANNIS. Evaluating good practices for the promotion of electromobility using multi criteria analysis methods. Case Studies on Transport Policy [online]. 2022, 10(3), 1602-1610 [cit. 2023-03-30]. ISSN 2213624X. Dostupné z: doi:10.1016/j.cstp.2022.05.018

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Štěpán Pícha

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2024

doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2024

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Zhodnocení připravenosti infrastruktury pro přechod k elektromobilitě v individuální automobilové dopravě v podmínkách ČR" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Štěpánu Píchovi za jeho odborné vedení, cenné rady, připomínky a podporu během psaní mé bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří mé rodině, která byla během celého mého studia a psaní bakalářské práce zdrojem motivace a udělala maximum pro to, abych měl dostatek času i energie věnovat se studijním povinnostem.

Zhodnocení připravenosti infrastruktury pro přechod k elektromobilitě v individuální automobilové dopravě v podmínkách ČR

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením aktuálního stavu a možností rozvoje infrastruktury pro elektromobilitu v České republice, s ohledem na rostoucí počet elektrických vozidel na silnicích. Cílem práce je analyzovat současné nedostatky nabíjení elektrických vozidel, predikovat budoucí potřeby infrastruktury a definovat možnosti opatření pro její optimalizaci. Studie se opírá o rozbor dostupných statistických dat, aktuálních trendů v oblasti elektromobility a srovnání v evropském měřítku. V začátku teoretické části se autor zabývá vysvětlením konceptu elektromobility, přehledem typů elektrických vozidel a jejich baterií, dále jsou popsány existující a potenciální technologie nabíjení. Následuje rešeršní analýza nabíjecí a energetické infrastruktury v ČR, včetně identifikace hlavních problémů, jako je nedostatečná kapacita nabíjecích stanic a vliv rostoucího počtu elektromobilů na energetický systém. Na základě zjištěných informací práce předkládá návrhy na zlepšení situace, které zahrnují rozvoj veřejné nabíjecí infrastruktury, podporu instalace domácích nabíjecích stanic a adaptaci energetického systému na zvýšenou spotřebu elektrické energie. Závěr práce říká, že Česká republika stojí před významnými výzvami v přechodu na elektromobilitu, ale s adekvátními investicemi a strategií lze tyto výzvy úspěšně překonat a podpořit tak udržitelnou dopravu.

Klíčová slova: baterie, BEV, CO2, elektrická síť, emise, energetický mix, nabíjení, udržitelnost

Evaluation of infrastructure readiness for the transition to electromobility in individual automotive transport in the conditions of the Czech Republic

Abstract

This bachelor's thesis addresses the evaluation of the current state and development possibilities of the infrastructure for electromobility in the Czech Republic, regarding the increasing number of electric vehicles on the roads. The aim of the thesis is to analyse the current shortcomings in the charging of electric vehicles, predict future infrastructure needs, and define options for measures to optimize it. The study relies on the analysis of available statistical data, current trends in the field of electromobility, and comparison on a European scale. In the beginning of the theoretical part, the author deals with explaining the concept of electromobility, an overview of types of electric vehicles and their batteries, and further describes existing and potential charging technologies. This is followed by a research analysis of the charging and energy infrastructure in the Czech Republic, including the identification of major issues, such as the insufficient capacity of charging stations and the impact of the increasing number of electric vehicles on the energy system. Based on the information found, the thesis presents proposals for improving the situation, which include the development of public charging infrastructure, support for the installation of home charging stations, and the adaptation of the energy system to increased electric energy consumption. The conclusion of the thesis states that the Czech Republic faces significant challenges in the transition to electromobility, but with adequate investments and strategy, these challenges can be successfully overcome to support sustainable transportation.

Keywords: battery, BEV, charging, CO2, electric grid, emissions, energy mix, sustainability

Obsah

1 Úvod **1**

2 Cíl práce a metodika **2**

2.1 Cíl práce 2

2.2 Metodika 2

3 Přehled řešené problematiky **3**

3.1 Elektromobilita 3

3.1.1 Historie elektromobility 3

3.2 Důvody přechodu k elektromobilitě 4

3.2.1 Zelená dohoda pro Evropu (*European Grean Deal*) 4

3.3 Co je to elektromobil a jaké existují typy? 5

3.3.1.1 Typy elektromobilů 5

3.3.1.2 Bateriové elektrické vozidlo (BEV) 5

3.3.1.3 Plně hybridní elektrické vozidlo (HEV) 6

3.3.1.4 Plug-in Hybridní Elektrické vozidlo (PHEV) 6

3.3.1.5 Polo-hybridní elektrické vozidlo (MHEV) 6

3.3.1.6 Mikro-Hybridní Elektrické vozidlo (microHEV) 6

3.3.1.7 Elekrické vozidlo s prodlouženým dojezdem (E-REV) 7

3.3.1.8 Vůz s vodíkovými palivovými články (FCEV) 7

3.3.2 Počet BEV registrovaných v ČR 8

3.3.3 Porovnání s EU 8

3.3.4 Predikce vývoje počtu BEV v ČR 9

3.4 Výhody a nevýhody elektromobility 10

3.4.1 Výhody elektromobility 10

3.4.2 Nevýhody elektromobility 11

3.5 Baterie pro elektromobily 12

3.5.1 Nejčastěji používané druhy akumulátorů 12
3.6 Nabíjení elektromobilů 14
3.6.1 Veřejné nabíjecí stanice 15
3.6.2 Soukromé nabíječky 16
3.6.3 Nabíjecí konektory 17
3.7 Nabíjecí infrastruktura ČR 24
3.7.1 Současný vývoj veřejné nabíjecí infrastruktury v ČR. 24
3.7.2 Budoucí vývoj a optimalizace nabíjecí infrastruktury 26
3.7.3 Inovativní trendy v budování infrastruktury 27
3.7.3.1 Příklady inovativních technologií pro nabíjecí infrastrukturu: . 27
3.8 Energetická infrastruktura ČR 28
3.8.1 Energetický mix 28
3.8.2 Předpokládaný vývoj energetického mixu v ČR 31
3.8.3 Spotřeba elektrické energie v ČR 31
3.8.4 Zatížení distribuční soustavy 32
3.8.5 Vliv rostoucí spotřeby elektrické energie na zatížení sítí 33
3.8.6 Nástroje a technologie pro dosažení stability sítí 35
3.8.6.1 Decentralizace energetiky: 35
3.8.6.2 Skladování energie: 35
3.8.6.3 Virtuální elektrárny 36
3.8.6.4 Smart Grid (SG) 36
4 Praktická část práce 37
4.1 Návrh na pořízení elektrického vozidla 37
4.2 Výběr vozidla 37
4.2.1 Představení vozidel 37
4.3 Posouzení vhodnosti investice 38
4.3.1 Spotřeba a ceny paliva / elektřiny 38
4.3.2 Roční průměrné náklady na servis a údržbu vozidel 39

4.3.3 Celkové roční provozní náklady 40
4.3.4 Roční úspora nákladů 41
4.3.5 Doba návratnosti investice: 42
4.4 Shrnutí praktické části práce 43
5 Závěr 44
6 Seznam použitých zdrojů 46

Seznam obrázků

Obr. 1 - První elektromobil Gustava Trouvé z roku 1881 | zdroj: [6] 3

Obr. 2 - Rozdělení druhů vozidel podle míry elektrifikace pohonu | zdroj: [11]..... 5

Obr. 3 – Vývoj počtu registrovaných vozidel v ČR | zdroj: [16]..... 8

Obr. 4 - Škoda Eltra | zdroj: [36]..... 14

Obr. 5 - Rozdíl v možnostech nabíjení EV | zdroj: [39] 15

Obr. 6 - Přehled konektorů používaných ve světě | zdroj: [46] 18

Obr. 7 - Konektor Typ 1 - SAE J1772 | zdroj: [48] 19

Obr. 8 - Konektor Typ 2 - Mennekes | zdroj: [48] 19

Obr. 9 - konektor CCS Combo 2 | zdroj: [51]..... 20

Obr. 10 -Konektor CHAdeMO | zdroj: [53]..... 21

Obr. 11 - Konektor NACS (dříve Tesla) | zdroj [55] 22

Obr. 12 - Konektor pro AC nabíjení GB/T-20234.2 | zdroj: [57] 23

Obr. 13 - Konektor pro DC nabíjení GB/T-20234.3 | zdroj: [59] 23

Obr. 14 – Vývoj počtu veřejných dobíjecích stanic a bodů v ČR v letech 2011-2023 | zdroj [60]..... 24

Obr. 15 – Rozdělení veřejných dobíjecích bodů v ČR | zdroj: [61]..... 25

Obr. 16 – Mapa nabíjecích stanic ČR | zdroj: [63] 25

Obr. 17 – Mapa optimalizace VDI v ČR – bílá místa| zdroj [65] 26

Obr. 18 – Potřebný počet dobíjecích bodů v závislosti na počtu EV – střední scénář | zdroj: [18]..... 27

Obr. 19 – Předpokládaný růst spotřeby elektrické energie | zdroj: [79] 32

Obr. 20 – Měsíční minima a maxima zatížení ES ČR | zdroj [81] 34

Seznam tabulek

Tab. 1 – Kumulovaný počet BEV v ČR do roku 2045 | zdroj: [18] 9

Tab. 2 – Škoda Octavia II 37

Tab. 3 – VW ID.3 58 kWh | zdroj: [86] 38

Tab. 4 – Kalkulace pořizovací ceny BEV VW ID.3 Pro People 150 kW, 58 kWh | zdroj: [86] 38

Seznam grafů

Graf 1 – Srovnání vývoje elektromobility v ČR a EU v letech 2017-2023 | zdroj: [17] 8

Graf 2 – Predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045 | zdroj: [18] 9

Graf 3 - Vývoj energetického mixu ČR v letech 2014-2022 | zdroj: [75] 30

Graf 4 - Podíl jednotlivých zdrojů na elektrické energii vyrobené výhradně z OZE | zdroj: [75] 30

Graf 5 – Vývoj celkového instalovaného výkon ES ČR 2013-2022 | zdroj [81] 33

Seznam použitých zkratek

AC	střídavý proud (z angl *Alternating Current)*
BEV	Bateriové elektrické vozidlo (z angl. *Battery Electric Vehicle*)
CAN	vozidlová komunikační sběrnice (z angl. *Controller Area Network*)
CCS	Kombinovaný nabíjecí systém (z angl. *Combine Charging System*)
CO_2	oxid uhličitý
ČU, HU	černé uhlí
DC	stejnosměrný proud (za angl. *Direct Current*)
EK	Evrospká komise
EM	elektromotor
EP	Evrospký parlament
E-REV	vozidlo s prodlouženým dojezdem (z angl. *Extended Range Electric Vehicle*)
ES	elektrizační sousatava
EU	Evropská Unie
EV	elektrické vozidlo
FCEV	elektrické vozidlo s vodíkovými palivovými články (z angl. *Fuel Cell Electric Vehicle*)
FVE	fotovolatická (sluneční) elektrárna
GB/T	dodporučený národní standard (Čína)
HEV	Hybridní elektrické vozidlo (z angl. *Hybrid Electric Vehicle*)
CHAdeMO	japonský nabíjecí standard
ICE	motor s vnitřním spalováním (z angl. *Internal Combustion Engine*)
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise (z angl. *International Electrotechnical Commission*)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (z angl. *International Organization for Standardization*)
LiFePO4	Lithium-železo-fosfátová baterie
Li-Ion	Lithium-iontová baterie
Li-Pol	Lithium-polymerová baterie
MHEV	polo-hybridní elektrické vozidlo (z angl. *Mild Hybrid Electric Vehicle*)
microHEV	mikro-hybridní elektrické vozidlo (z angl. *Mild Hybrid Elelctric Vehicle*)
NACS	Severoamerický nabíjecí standard (z angl. *North American Charging Standard*)
NAP ČM	Národní akční plán čistá mobility
NimH	Nikl-metal hydridová baterie
NO_x	oxidy dusíku
OZE	obnovitelné zdroje energie
PHEV	Plug-in hybridní elektrické vozidlo (z angl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*)
PHM	pohonné hmoty
SAE	Společnost automobilových inženýrů (z angl. *Society of Automotive Engineers*)
SEK	Statní energetická koncepce
SG	inteligentní (chytrá) síť (z angl. *Smart Grid*)
TEN-T	transevropská dopravní sít (z angl. *Trans-European Transport Network*)

V2G	koncept připojení vozidla do chytré sítě (z angl. *Vehicle-to-Grid*)
ŽP	životní prostředí

1 Úvod

V současné době lidstvo čelí rozmanitým výzvám, které předurčují budoucnost mobility a udržitelnosti současné společnosti. Přechod k elektromobilitě v České republice není pouze trendem, ale nezbytností v reakci na narůstající ekologické povědomí a snahu o redukci emisí skleníkových plynů. Tato transformace však klade značné nároky na infrastrukturu – jak na nabíjecí, tak na energetickou. Elektromobilita, jejíž rozvoj je výrazně podporován jak na evropské, tak na národní úrovni, představuje klíčový prvek ve snaze o dosažení klimatické neutrality. S růstem počtu elektromobilů na silnicích se ukazuje, že bez odpovídajícího rozvoje nabíjecí a energetické infrastruktury schopné vyhovět zvýšené poptávce po elektrické energii, nebude možné tento cíl efektivně splnit. [1]

Aktuální stav a rozvoj nabíjecí infrastruktury v České republice reflektují globální trendy v oblasti elektromobility, přičemž se lidé stále více zaměřují na inovace a technologický pokrok. Tento rozvoj je zásadní nejen pro uspokojení stávající a budoucí poptávky, ale i pro podporu dalšího přijetí elektromobilů širokou veřejností, jako hlavního proudu v oblasti osobní automobilové dopravy. Současně je zřejmé, že přechod k elektromobilitě nese s sebou i výzvy, jako jsou otázky dostatečného dojezdu, doby nabíjení a nezbytné adaptace energetického systému, který musí zvládat rostoucí zatížení bez ohrožení stability dodávek. [1] [2]

Tato bakalářská práce si klade za cíl podrobně prozkoumat připravenost České republiky na přechod k elektromobilitě s důrazem na analýzu stávající a budoucí infrastruktury pro nabíjení elektromobilů a jejího dopadu na energetický systém země. Práce se zaměřuje na současný vývoj, potenciální výzvy a příležitosti, které elektromobilita přináší a hledá odpovědi na otázky, jak Česká republika může efektivně reagovat na rychlé změny v oblasti dopravy a energetiky v souladu s cíli udržitelného rozvoje.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bude popsat současné trendy v oblasti energetiky s ohledem na výrazné rozšíření elektromobility v individuální automobilové dopravě.

2.2 Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků hodnocení budou formulovány závěry bakalářské práce.

3 Přehled řešené problematiky

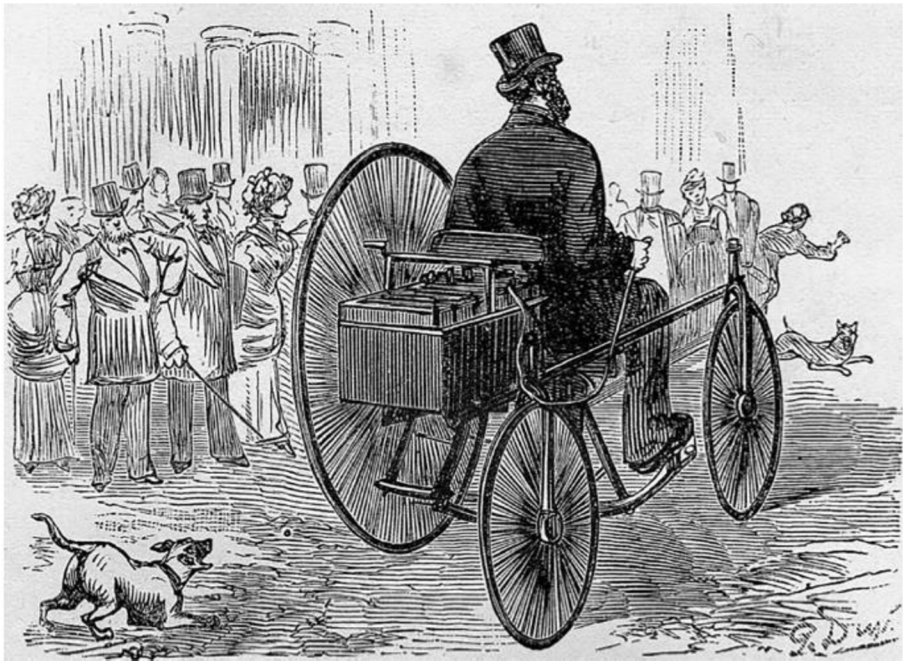
3.1 Elektromobilita

Termínem elektromobilita se všeobecně označuje využití elektrické energie k pohonu dopravních prostředků. Nejen s její pomocí se lidstvo v současnosti snaží minimalizovat dopady své činnosti na životní prostředí (ŽP) a posunout se od znečišťující druhů dopravy k čisté a udržitelné mobilitě.[3]

3.1.1 Historie elektromobility

V dobách průmyslové revoluce lidé hledali způsoby, jakými by mohli nahradit své, nebo jiné fyzické síly pro pohon všelijakých strojů tak, aby vykonávali práci s minimálním využitím lidské námahy. Nejinak tomu bylo i v oblasti dopravy a princip parního stroje byl brzy implementován i v tomto odvětví. Od chvíle, kdy byla objevena elektřina už chybělo jen málo k tomu, aby ji lidstvo začalo využívat i pro pohon svých nejrůznějších dopravních prostředků a první elektromobil spatřil světlo světa již v 19. století. [3]

První elektromobil, Trouvé Tricycle (viz Obr. 1), byl představen v roce 1881, několik let před prvním automobilem poháněným spalovacím motorem Carla Benze. Přibližně o 20 let později, kolem roku 1900 bylo v provozu mnohem více elektromobilů než vozidel se spalovacím motorem. Odhaduje se, že například v New Yorku tou dobou bylo poháněno elektřinou více než 90 % taxíků. [4] [5]



Obr. 1 - První elektromobil Gustava Trouvé z roku 1881 | zdroj: [6]

Pro elektromobily došlo k nepříznivému zlomu v první polovině 20. století, zejména po první světové válce. Díky výhodám, jimiž byly dlouhý dojezd na jedno načerpání nádrže a

podstatně snadnější manipulace s tehdejšími automobily se spalovacími motory se počet stále rostl, zatímco počet elektromobilů, zejména kvůli vysokým technologickým požadavkům, klesal. V 80. a 90. letech 20. století měla vozidla se spalovacími motory v osobní dopravě výhradní postavení a elektrická vozidla byla spíše raritou. Existovaly totiž pouze ojedinělé koncepty, jako například "BMW 1602" z roku 1969 nebo "VW Citystromer" z roku 1982. [4] [5]

3.2 Důvody přechodu k elektromobilitě

Situace se změnila na přelomu 20. a 21. století. Technologický pokrok zejména v oblasti vývoje vysokokapacitních akumulátorů výrazně pomohl elektromobilitu znovu oživit a umožnit rozvoj plně elektrifikované osobní automobilové dopravy. [4] [5]

Hlavní důvodem masivního zavádění elektromobility v posledních letech je však pokračující nárůst emisí znečišťujících látek, jako například CO_2 a NO_x, lidmi vypouštěných do ovzduší a neustálý tlak na jeho redukci, v lepším případě otočení trendu k jejich postupnému snižování. Čistá doprava s minimálním dopadem na životní prostředí je totiž jedním z cílů tzv. Zelené dohody pro Evropu. [7]

3.2.1 Zelená dohoda pro Evropu (*European Grean Deal*)

Zelená dohoda pro Evropu je iniciativa Evropské Unie (EU) zaměřená na dosažení udržitelné a klimaticky neutrální Evropy do roku 2050. Obsahuje strategický plán, podle něhož mají být postupně aplikována opatření v oblasti ochrany životního prostředí, snižování emisí skleníkových plynů, podpory obnovitelných zdrojů energie a dalších oblastí, jež dovedou EU k cíli minimalizovat negativní dopady lidské činnosti na životní prostředí. [8]

Součástí zelené dohody je i transformace dopravy, tak aby byla environmentálně udržitelná. Přibližně 25 % z celkových emisí skleníkových plynů V EU v současnosti představují právě emise z dopravy. Tento vysoký podíl emisí je převážně způsoben provozem vozidel s motory s vnitřním spalováním (ICE), která využívají fosilní paliva. Elektromobilita je proto považována za klíčové téma v souvislosti s udržitelnou dopravou v budoucnosti. [8]

Aby bylo možné do roku 2050 snížit emise z dopravy o 90 %, je nutné znát přesný postup pro dosažení tohoto cíle. Evropská komise (EK) proto přijala soubor návrhů s názvem „FIT for 55“ (v překladu připraveni na 55), které uzpůsobí politiky EU v oblasti klimatu, energetiky, dopravy aj., tak, aby se mohly podílet na snižování emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % oproti roku 1990.[8]

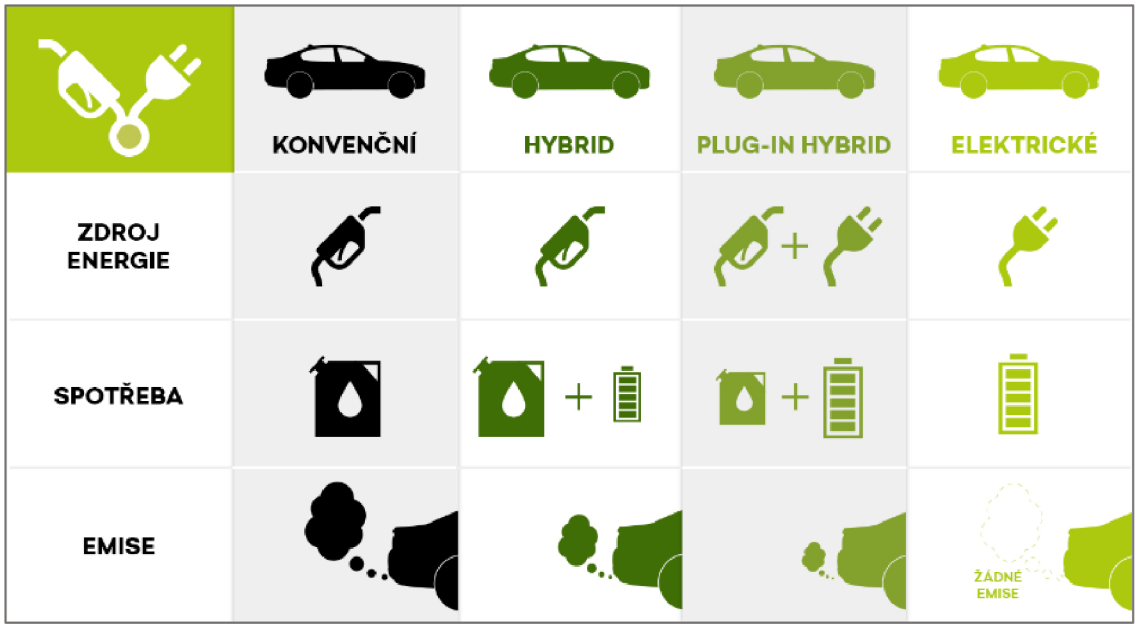
Přechod k elektromobilitě je tedy klíčovým prvkem ve snaze o snížení dopadu dopravy na změny klimatu, ale kvůli současným geopolitickým situacím a hrozbám, také o omezení nebo odstranění závislosti států a jejich společenství na dodávkách ropy, jejíž celosvětové zásoby beztak stále ubývají. [9]

3.3 Co je to elektromobil a jaké existují typy?

Pojem elektromobil je širokou veřejností nejčastěji chápán jako osobní automobil, jehož zdrojem energie umožňujícím pohyb je elektřina. To je ve své podstatě správné tvrzení. Pojem elektromobil však označuje veškeré dopravní prostředky, jež pro svůj pohyb využívají elektromotor (EM) namísto motoru s vnitřním spalováním (ICE – z angl. *Internal Combustion Engine*). Jsou jimi nejen osobní, ale také nákladní automobily. Dále vozidla ve veřejné dopravě, tedy autobusy, tramvaje, vlaky, a dokonce lodě i letadla. [10] [11]

3.3.1.1 Typy elektromobilů

Existuje několik druhů elektromobilů, výhradně bateriově poháněná (BEV), hybridní (HEV), nebo vozidla s palivovými články (FCEV), v současné době pouze na vodík. Přestože mají hlavní společnou vlastnost – všechny jsou poháněné elektromotorem – najdeme mezi nimi mnohé rozdíly v principu jejich fungování, které jsou znázorněny na Obr. 2. Pro účely této bakalářské práce jsou jednotlivé druhy EV popsány níže: [10] [11]



Obr. 2 - Rozdělení druhů vozidel podle míry elektrifikace pohonu | zdroj: [11]

3.3.1.2 Bateriové elektrické vozidlo (BEV)

Bateriové elektrické vozidlo, zkráceně BEV (z angl. *Battery Electric Vehicle*), je plně elektricky poháněný vůz disponující pouze elektromotorem, pro který jsou hlavním zdrojem elektrické energie dobíjecí velkokapacitní baterie. Ty se dobíjí na veřejných, popř. domácích nabíjecích stanicích.

Jelikož plně elektrické vozy nemají žádný spalovací motor, neprodukují tak při provozu žádné emise škodlivých látek. Příkladem může být plně elektricky poháněný vůz značky ŠKODA, model Enyaq IV (viz).[12] [10] [11]

3.3.1.3 **Plně hybridní elektrické vozidlo (HEV)**

Plně hybridní elektrické vozidlo, zkráceně HEV, nebo také FHEV (z angl. *Hybrid Electric Vehilce*, resp. *Full Hybrid Electric Vehicle*) na rozdíl od BEV disponuje kromě elektromotoru také konvenčním motorem s vnitřním spalováním. Vůz při jízdě může k pohonu kol využívat pouze elektromotor, spalovací motor, nebo kombinaci obou. Pohon je vždy volen automaticky v závislosti na rychlosti, zatížení motoru a stavu nabití akumulátoru. Akumulátory HEV není možné nabíjet externě připojením kabelu k síti. Baterie je dobíjena při provozu pomocí rekuperace brzdné energie, nebo pomocí dodatečného výkonu spalovacího motoru. [11] [6]

3.3.1.4 **Plug-in Hybridní Elektrické vozidlo (PHEV)**

Plug-in hybridní elektrické vozidlo, zkráceně PHEV (z angl. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) také využívá k pohonu spalovací motor (ICE) i elektromotor, jejichž provoz je založen na stejném principu jako u HEV, tzn. vůz může jet v režimech pouze s EM, s ICE, případně využít kombinaci obou režimů, často například při vysoké akceleraci. PHEV však oproti HEV disponuje nabíjecím konektorem a jeho trakční baterie může být dobíjena nejen rekuperací energie z brždění, ale také připojením k elektrické síti. Díky tomu je takové vozidlo schopno ujet až 50 km čistě na elektrický pohon bez nutnosti nastartovat spalovací motor (ICE). S těmito vlastnostmi je tento typ EV ideální do městského provozu. Příkladem PHEV je další vůz značky ŠKODA, model Superb IV. [11] [6]

3.3.1.5 **Polo-hybridní elektrické vozidlo (MHEV)**

Polo-hybridní elektrické vozidlo, zkráceně MHEV (z angl. *Mild-Hybrid Electric Vehicle*), je sice vybaveno elektromotorem, ale pro pohon kol stále se spoléhá na spalovací motor (ICE) během celé jízdy. Elektromotor však pomáhá spalovacímu motoru například při rozjezdu nebo akceleraci. U některých vozů může být využit i ke krátkému popojíždění. Často je doplněn o pomocný akumulátor s větší kapacitou elektrické energie. To mu umožňuje lepší schopnost rekuperace, což přispívá ke snížení spotřeby paliva a emisí CO2. Tento koncept byl mimo jiné využit i v odvětví automobilových závodů, konkrétně ve Formuli 1. [11] [12]

3.3.1.6 **Mikro-Hybridní Elektrické vozidlo (microHEV)**

Mikro-Hybridní Elektrické vozidlo, zkráceně, microHEV (z angl. *Micro-Hybrid Electric Vehicle*), je vlastně nazýváno hybridním elektrickým vozidlem nesprávně. Tento typ vozidel je poháněn výhradně spalovacím motorem (ICE) a elektrickou energii využije pouze pro systémem Start/Stop s technologií rekuperace brzdné energie. Získaná energie je použita k nabíjení 12 V akumulátoru, což přispívá ke snížení spotřeby paliva spalovacího motoru a tím k redukci emisí škodlivých látek do ovzduší. [11] [12]

Alternativní možností rozdělení hybridních vozidel je podle uspořádání hybridního systému:

Sériový systém HEV – Tato vozidla využívají k pohonu vždy pouze elektromotor. Spalovací motor slouží pouze k dobíjení baterií. Velmi se hodí do městského provozu v kongescích, kde jsou spalovací motory velmi neefektivní. Zástupcem sériových hybridů jsou elektromobily s prodlouženým dojezdem. [11]

Paralelní systém HEV – Vůz je poháněn jedním z motorů, nebo kombinací obou. Na rozdíl od sériového je efektivnější při vyšších rychlostech a v případě potřeby umí využít výkonový potenciál poskytovaní kombinací současného provozu spalovacího motoru i elektromotoru. [11]

Sérově-paralelní systém HEV – Tento typ přepíná mezi sériovým i paralelním režimem, případně je kombinuje a dokáže tedy využít výhody obou. Příkladem jsou Plug-in hybridní vozidla.[11]

3.3.1.7 **Elekrické vozidlo s prodlouženým dojezdem (E-REV)**

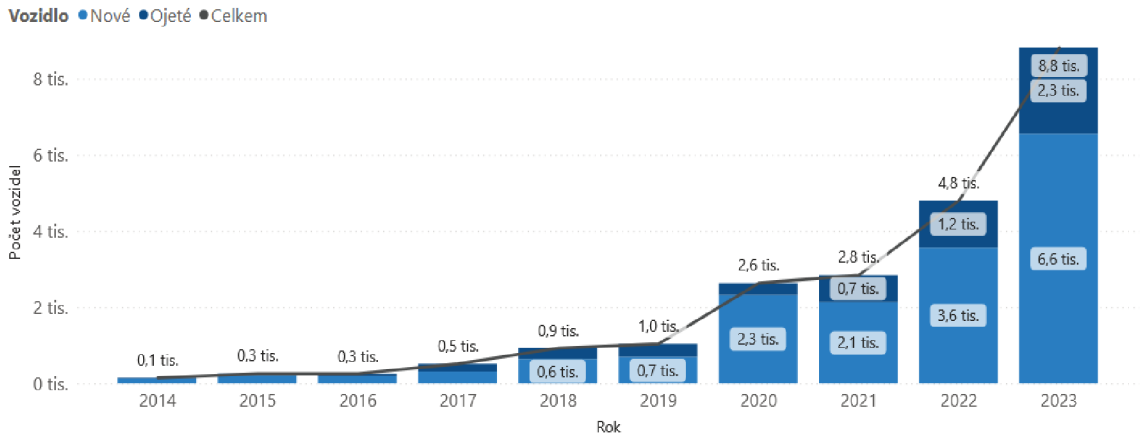
Elektrické vozidlo s prodlouženým dojezdem, zkráceně E-REV (z angl. *Extended-Range Electric Vehicle*), je plně elektricky poháněné vozidlo, které disponuje i malým spalovacím motorem. Ten však není určen k přenosu mechanické energie na kola, nýbrž generuje dodatečnou elektrickou energii. Když je trakční baterie vybitá na limitní úroveň, motor se nastartuje a uvede do provozu, aby poháněl generátor, který znovu dodává energii elektromotoru. Uživatel takového vozidla má potom schopnost zdolat větší vzdálenost při vybití baterie bez nutnosti zastavení. Přirozeně může být akumulátor dobíjen i z elektrické sítě. [12] [13] [14]

3.3.1.8 **Vůz s vodíkovými palivovými články (FCEV)**

Vůz s vodíkovými palivovými články, zkráceně FCEV (z angl. *Fuel Cell Electric Vehicle*) – tento typ je pouze jinou variantou čistě elektricky poháněného vozidla. FCEV však není vybaven velkokapacitní baterií, nýbrž vodíkovou nádrží a palivovými články. Zdrojem energie je vodík, který je čerpán do nádrži FCEV získává elektřinu pro svůj pohon pomocí chemické reakce vodíku a kyslíku v palivovém článku. Vedlejšími produkty reakce jsou teplo a voda, což z FECEV činí ekologicky šetrné dopravní prostředky. Výhodou těchto vozů oproti klasickým BEV je krátká doba doplnění vodíkové nádrže, jež je srovnatelná s dobou čerpání benzinu nebo nafty. Velkou nevýhodou je prozatím velmi omezená síť čerpacích stanic pro FCEV. [11] [13] [15]

3.3.2 Počet BEV registrovaných v ČR

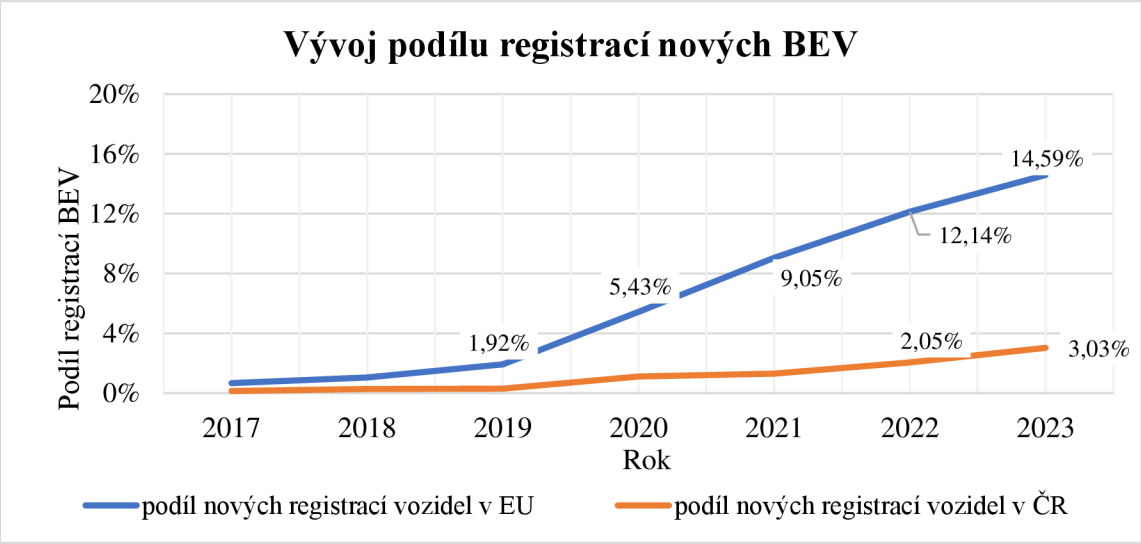
Počet BEV v ČR každým rokem roste. Ke dni 31.12. 2023 bylo v ČR zaregistrováno již 22 451 BEV v kategorii M1 osobních vozidel. Jak je vidět na Obr. 3, podle brněnské instituce „Centrum Dopravního Výzkumu“ přibylo v roce 2023 na českých silničních komunikacích 6655 nových BEV, to znamená nárůst nových BEV o 46,4 % oproti roku 2022. [16]



Obr. 3 – Vývoj počtu registrovaných vozidel v ČR | zdroj: [16]

3.3.3 Porovnání s EU

I přesto z hlediska podílu BEV na registracích nových vozidel patří ČR v rámci EU k zemím s pomalejším rozvojem elektromobility. Pro porovnání vývoje elektromobility s EU je možné použít statistiku podílu nových registrací vozidel (viz Graf 1). V roce 2023 podíl BEV na registracích nových vozidel dosahoval v EU průměrně 14,59 %, v ČR byl tento podíl pouze 3,03 %. O evropský vysoký průměrný podíl BEV na celkovém počtu nových registrací vozidel se nejvíce zasloužily skandinávské státy a státy středozápadní a severozápadní části EU. [17]



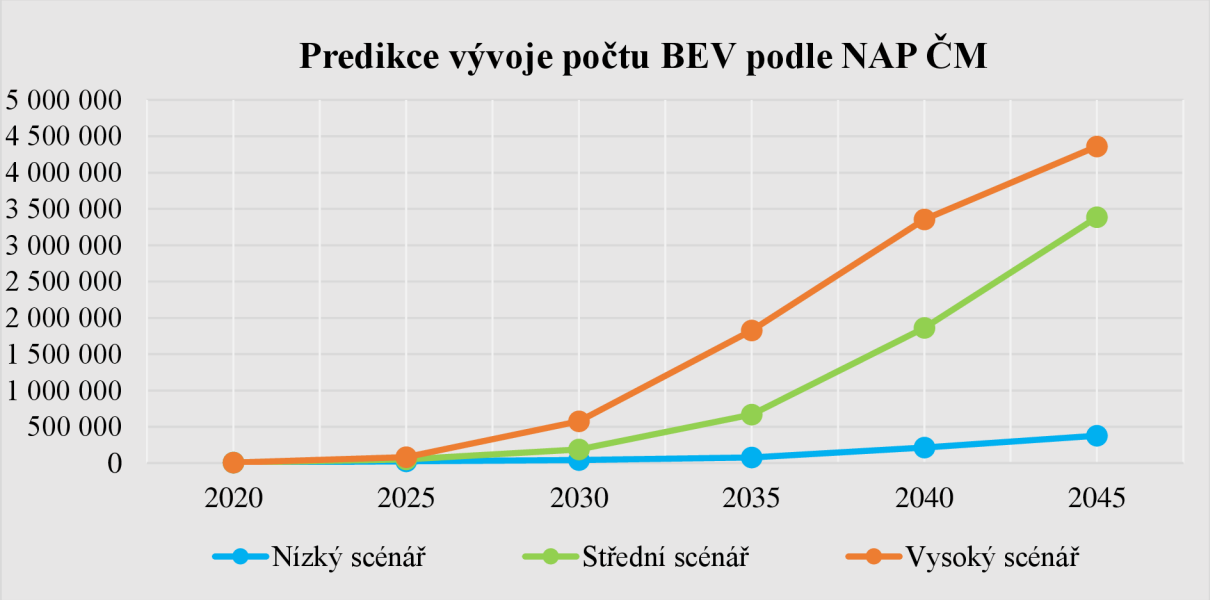
Graf 1 – Srovnání vývoje elektromobility v ČR a EU v letech 2017-2023 | zdroj: [17]

3.3.4 Predikce vývoje počtu BEV v ČR

Odhad vývoje počtu elektromobilů pohybujících se po českých komunikacích vychází ze studie Ministerstva průmyslu a obchodu „Predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045“. Ve studii jsou uvažovány 3 scénáře vývoje: nízký, střední a vysoký. Vysoký scénář je odrazem požadavků klimatického balíčku „FIT for 55“ (připraveni na 55). Ve středním scénáři se počítá s pětiletým zpožděním podílu BEV na nových registracích oproti vysokému scénáři (viz. Graf 2). Z Tab. 1 lze vyčíst, že pokud bude udržen trend vývoje počtu registrovaných vozidel z let minulých, bude se ČR na konci roku 2025 na poli vývoje elektromobility pohybovat na úrovni středního scénáře. Skokový nárůst registrací lze očekávat roce 2035, kdy by měl nabýt platnosti Evropským Parlamentem (EP) schválený zákaz prodeje nových vozidel se spalovacími motory. [18] [19]

Kumulovaný počet BEV	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Nízký scénář	7 109	26 252	40 714	79 461	214 536	377 586
Střední scénář	7 109	51 885	188 323	669 962	1 859 828	3 385 420
Vysoký scénář	7 109	83 716	576 916	1 828 545	3 355 118	4 360 743

Tab. 1 – Kumulovaný počet BEV v ČR do roku 2045 | zdroj: [18]



Graf 2 – Predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045 | zdroj: [18]

3.4 Výhody a nevýhody elektromobility

Jak již bylo zmíněno, počet elektrických vozidel (EV) každoročně roste stejně jako jejich obliba, což je vidět na zrychlujícím růstu počtu nových registrací EV v čase, a očekává se, že tento trend přetrvá i v letech budoucích. EV nabízejí mnoho výhod, ale mají také některé nevýhody ve srovnání s vozidly s konvenčními spalovacími motory.

3.4.1 Výhody elektromobility

- šetrnost vůči ŽP
- snadnější ovládání
- rekuperace brzdné energie
- tichý provoz
- dobré jízdní vlastnosti
- nízké požadavky na údržbu
- nižší provozní náklady

Šetrnost vůči ŽP – v závislosti na původu elektrické energie představuje redukce emisí a uhlíkové stopy, včetně obecného snížení spotřeby fosilních paliv, pozitivní aspekt EV. Zdrojem energie pro pohon EV jsou ve většině případů dobíjecí baterie, což znamená, že při provozu EV nedochází k emisím z výfukového systému, který je významným zdrojem znečištění ovzduší. To může mít pozitivní dopad na kvalitu ovzduší v místech se zvýšeným provozem, tedy na kvalitu života například uvnitř a v okolí větších měst a větších dopravních komunikací. [20]

Snadnější ovládání – díky absenci převodové skříně se při jízdě v EV neřadí různé rychlostní stupně a je možné EV ovládat pouze akceleračním a brzdným pedálem. Díky funkci rekuperace brzdné energie, kterou disponuje většina EV, stačí pouze uvolnit akcelerátor a vůz začne automaticky brzdit, a řidič se tak v mnoha situacích obejde bez používání brzdného pedálu. S tím úzce souvisí další výhoda. [21] [22]

Funkce rekuperace brzdné energie – jedná se o funkci zpětného získávání kinetické energie při brždění, při kterém se automaticky elektromotor přepne do režimu generátoru, s jehož pomocí je kinetická energie přeměněna na elektrickou energii a následně využita při akceleraci, nebo uložena zpět do baterie. Funkce má tak pozitivní vliv na provozní náklady. Mnoho EV má tuto funkci odstupňovanou a řidič tak může úroveň rekuperace měnit během jízdy, nebo ji úplně vypnout. Obecně platí, že čím je rekuperační stupeň vyšší, tedy i vyšší míra automatického brždění, tím více elektrické energie bude získáno zpět. [23]

Tichý provoz – další významnou výhodou elektrických vozidel je jejich tišší provoz, což vede k omezení hlukových emisí v městských oblastech a poblíž vytížených dopravních komunikací. Tato skutečnost má rovněž přímý pozitivní dopad na kvalitu života obyvatel.[24]

Dobré jízdní vlastnosti – velkou výhodou elektromobilů jsou jejich jízdní vlastnosti, zejména zrychlení. Elektromotory jsou schopné poskytnou okamžitý točivý moment, a díky tomu EV mohou zrychlovat při využití maximálního výkonu z nulové rychlosti. Znatelného rozdílu si lze všimnout i ve stabilitě EV při jízdě. Baterie jsou u čistě elektricky poháněných vozidel největšími součástmi a nejčastěji se umisťují do plochého boxu pod podlahou vozidla. Toto umístění baterie, jejíž hmotnost může tvořit až přibližně 25 % z celkové hmotnosti EV, jako je tomu například u EV značky Škoda, modelu Enyaq 80 IV, napomáhá k rovnoměrnému rozložení hmotnosti EV a ke snížení těžiště celého EV. Kombinace nízkého těžiště a elektronických systémů zlepšuje stabilitu vozu a zvyšuje tak bezpečnost provozu EV. [21] [25] [26]

Nízké požadavky na údržbu – neodmyslitelným prvkem provozu každého stroje je jeho pravidelná údržba. Oproti osobním automobilům se spalovacím motorem mají EV, z důvodu menšího množství pohyblivých částí a absenci některých provozních kapalin, významně nižší požadavky na údržbu a jsou spolehlivější. [24]

Nižší provozní náklady – vhodným výběrem způsobu nabíjení je možné výrazně ovlivnit výši nákladů na provoz EV., tedy množství energie ze zdroje, které je převedeno na mechanickou energii pro pohyb kol vozidel, dosahuje U EV 60-65% využití energie určen k pohonu kol. Uváží-li se využití energie získané při brždění může být účinnost ještě o 17% vyšší EV mohou většinu brzdného výkonu zpětně měnit na elektrickou energii a ukládat zpět do baterie. To znamená až 4x vyšší účinnost oproti vozům s konvenčními spalovacími motory. [20] [27]

3.4.2 Nevýhody elektromobility

Přestože je elektromobilita klíčovým krokem k udržitelné dopravě, stále nebyly odstraněny všechny výzvy související například s bateriemi pro EV, rozvojem infrastruktury, nebo přímý vliv vysoké poptávky po nabíjení na množství energie v síti. [8]

- Nevyhovující nabíjecí infrastruktura
- Dojezd a doba nabíjení
- Vysoká pořizovací cena

Nevyhovující nabíjecí infrastruktura – v souvislosti se zaváděním elektromobility jako většinového způsobu osobní automobilové dopravy v ČR by mohla nedostatečná infrastruktura být zásadním problémem, který by mohl způsobit zpomalení rozvoje elektromobility veřejností, respektive jejího vývoje. Nedostatečná nabíjecí infrastruktura, obzvláště ve městech nebo podél hlavních dopravních tahů, může přímo ovlivňovat veřejné mínění a mít tak negativní dopad na přijetí elektromobility širokou veřejností.[24]

Dojezd a doba nabíjení – oproti vozidlům s ICE nižší průměrný dojezd, u větších vozů okolo 450-500 km na jedno nabití, respektive 200-300 km u vozů menších, také mnoho řidičů odrazuje od přechodu k elektromobilitě, zejména ty, kteří často opouštějí své lokality a jezdí

delší trasy. Problémem je totiž doba nabíjení, která je i při rychlém nabíjení znatelně delší než dočerpání pohonných hmot do nádrže konvenčních automobilů a pořizovací cena EV s dojezdem 1000 km by se kvůli požadavkům na baterii markantně změnila. [28]

Vysoká pořizovací cena – v přímém porovnání dvou srovnatelně velkých i vybavených automobilů, elektrického a konvenčního, je ten elektrický dražší. Jak už ale bylo uvedeno, správné plánovaní nabíjení, většinově upřednostněné domácí nabíjení a častější vyšší nájezd kilometrů může tento rozdíl v ceně vykompenzovat. Za uvedených podmínek je totiž provoz EV levnější a požadavky na údržbu jsou také nízké. [28]

3.5 Baterie pro elektromobily

Elektrická energie je, vyjma FCEV, uchovávána v dobíjecích bateriích. Jak již bylo uvedeno, u většiny typů EV jsou baterie zastavěny z velikostních a hmotnostních důvodů v podlaze vozidla, Nebylo tomu tak ale vždy. Až s technologickým pokrokem poslední doby, i z hlediska možností redukce objemu některých nejběžněji používaných typů baterií, bylo možné začít experimentovat s uspořádáním bateriových článků, a tedy i s tvarem baterií, který má zásadní vliv na volbu jejich umístění. V dřívějších dobách poháněly elektromobily olověné baterie, které i při velkých objemech zdaleka nedosahovaly vlastností dnešních, v elektromobilech většinově používaných lithium-iontových baterií. V souvislosti s elektromobilitou se pochopitelně zmiňují dobíjecí baterie neboli akumulátory, kterými musí být osazeno každé EV, vyjma FCEV, jak už bylo popsáno v předchozí kapitole. To ale neznamená, že všechna EV disponují jedním shodným typem, kterých naopak v souvislosti elektromobilitou existuje více, například lithiové (Li-x), Nikl-metal hydridové baterie (NimH) a v omezené míře i olověné baterie. [29] [30]

Nejpoužívanějšími bateriemi v elektromobilech jsou varianty lithiových akumulátorů. Jedná se o lithium-iontové (Li-ion), lithium-polymerové (Li-Po) a lithium-železo-fosfátové (LiFePO4). Lithiové akumulátory mají vysokou energetickou hustotu, dlouhou životnost, rychle se nabíjí a oproti ostatní typům jsou lehké. Jejich varianty ovlivňují jejich využití v různých modelech elektromobilů. Ačkoli klíčovou vlastností je hustota energie baterie, pro lepší orientaci potenciálních zájemců o koupi elektromobilu je výrobci a prodejci zmiňována kapacita baterie, jež určuje, kolik elektrické energie je baterie schopna pro EV uchovat. Kapacita baterie má totiž zásadní vliv na délku dojezdu EV. Tedy čím je větší kapacita, tím je obecně EV schopen ujet větší vzdálenost na jedno nabití. Zároveň s růstem kapacity však roste i cena baterie, resp. cena celého EV. [29] [30]

3.5.1 Nejčastěji používané druhy akumulátorů

- **Lithium-iontové baterie (Li-Ion)**

Lithium-iontové baterie, zkráceně Li-Ion, jsou lithium-iontové články s kapalným elektrolytem. Jsou standartně používány hlavně ve spotřební elektronice. V souvislosti s elektromobilitou jsou již nejpoužívanějším typem díky svým výhodám. Mají velmi vysokou

hustotu energie, která dosahuje 150-200 Wh/ kg. Čím je energetická hustota vyšší, tím vyšší kapacitou bude baterie disponovat při zachování nízkého objemu a hmotnosti. Li-ion nijak výrazně netrpí samovybíjením, proto je jejich použití v EV vhodné. Mají ale i některé nevýhody. Baterie postupně v čase ztrácí svou maximální kapacitu, bez ohledu na četnost používání. Jejich výkon klesá se snižující se teplotou. Baterie také velmi špatně snáší úplné vybití. Je-li vybita pod limitní hodnotu napětí, je velmi těžké baterii znovu oživit. [29] [31]

- **Lithium-polymerové baterie (Li-Pol)**

Lithium-polymerové baterie, zkráceně Li-Pol, jsou další významně rozšířenou technologií. Elektrolytem je, namísto kapaliny, polymerní iontově vodivá sloučenina. Tyto baterie nabízejí řadu výhod a najdou uplatnění v různých oblastech, od spotřební elektroniky po EV. Jejich vysoká energetická hustota umožňuje vytváření kompaktních a lehkých baterií. Jsou také schopny nabíjet se rychle a poskytovat vysoký výkon, což je výhodné nejen pro spotřební elektroniku, ale právě i pro EV. Je ale důležité si uvědomit i některá omezení a výzvy spojené s lithium polymerovými bateriemi. Kromě vyšších nákladů na výrobu, ve srovnání s jinými typy, vyžadují baterie Li-Pol velmi opatrné zacházení. Je také nutné dbát na řízení teploty baterie, zejména při extrémních podmínkách, které mohou vést k jejich poškození a ztrátě výkonu. Další výzvou je recyklace a správa konečného životního cyklu lithium polymerových baterií, což je důležité z hlediska udržitelnosti a minimalizace environmentálního dopadu. [29] [32]

- **Lithium-železo-fosfátové baterie (LiFePO4)**

Lithium-železo-fosfátové baterie, zkráceně LiFePO4, se také řadí do skupiny lithiových akumulátorů. Jejich vlastnostmi se nijak velmi neodlišují od Li-Ion baterií, ale mají o něco nižší energetickou hustotu, přibližně 90-110 Wh/kg. Kompenzaci může představovat pomalejší postupné snižování maximální kapacity. Náchylnost k selhání při častém hlubokém vybíjení je také nevýhodou pro použití LiFePO4 jako hlavního zdroje energie pro BEV, proto se tyto akumulátory využívají spíše pro PHEV nebo E-REV, u kterých k hlubokému vybíjení baterií zpravidla nedochází. Výhodou oproti Li-Ion akumulátorům je vyšší odolnost proti tepelným únikům, tedy vyšší bezpečnost a také schopnost dodávat vyšší proud při odběrech ve špičce. Jejich největší výhodou je, že mohou být vyráběny i v nepravidelných, neobvyklých tvarech, což zajišťuje více možností pro plánování uložení akumulátoru. [31] [33]

- **Nikl-metal hydridové baterie (NimH)**

Nikl-metal hydridové baterie, zkráceně NiMH, jsou druhem alkalických baterií, v elektromobilním průmyslu používaných pro svou spolehlivost a dlouhou životnost. Často jsou používány v HEV a najdou se v některých modelech BEV. Tyto baterie mají vyšší odolnost vůči cyklickému vybíjení a delší životnost než lithiové nebo olověné baterie. Nicméně, vysoké náklady na výrobu a technologická omezení, např. nemožnost nabíjení z externích zdrojů, jsou již považovány za nevýhody, které jsou z hlediska elektromobility důvodem pro upřednostnění

některé z variant lithiových baterií před NimH bateriemi. I přesto zůstávají důležitou součástí elektromobilního průmyslu a jsou často preferovanou volbou v takových HEV, jejichž baterie je dobíjena pouze ICE, nebo pomocí funkce rekuperace brzdné energie. [30] [34]

- **Olověné baterie**

V oblasti elektromobility se s příchodem lithiových baterií od olověných baterií, coby hlavního zdroje elektrické energie pro pohon EV, ustoupilo. Jsou to sice typy baterií, které jsou cenově dostupné a považují se za bezpečné, ale mají znatelně nižší kapacitu a větší hmotnost než lithiové a NiMH baterie. I když se vyvíjejí velkokapacitní verze pro elektrická vozidla, neuvažuje se v budoucnosti v souvislosti s elektromobilitou o jejich nasazení do moderních EV, jelikož olověné baterie zvyšují hmotnost vozidel a mají velmi omezenou energetickou hustotu. Nízké teploty navíc negativně ovlivňují jejich výkon a kapacitu. [34]

Nicméně, sériově vyráběná EV před vstupem lithiových baterií do automobilového průmyslu, na počátku 90. let 20. století byla osazena právě těmito bateriemi. Příkladem tak může být, v České a Slovenské Federativní Republice, první sériově vyráběný EV značky Škoda, model ELTRA (viz Obr. 4). [35]

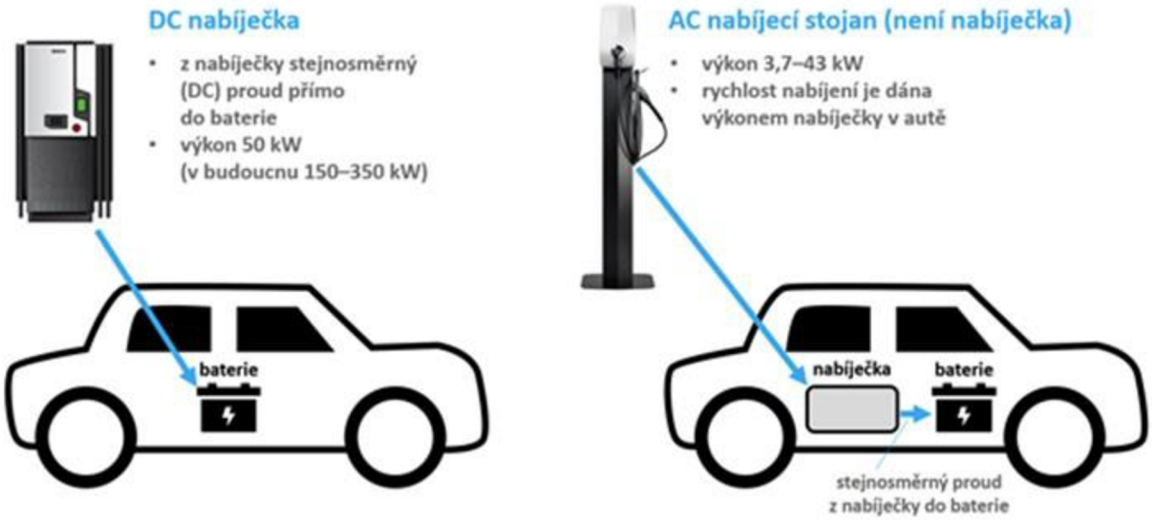
Obr. 4 - Škoda Eltra | zdroj: [36]

3.6 Nabíjení elektromobilů

Nabíjení elektromobilu je ve většině případů definováno jako fyzické připojení EV k nabíjecímu místu, tedy k elektrické síti, pomocí kabelu, kterým proudí elektřina z dobíjecí stanice do baterie elektromobilu vyjma případů, kdy se k doplnění elektrické energie použije bezdrátového nabíjení. Kabelové nabíjení je možné provádět dvěma způsoby. Uživatelé nabíjejí baterii svého elektromobilu na soukromé nabíječce, nebo mohou využít připojení k některému místu ze sítě nabíjecích stanic ve veřejném sektoru. [37]

3.6.1 Veřejné nabíjecí stanice

Na vstupu baterie je stejnosměrný proud (DC), zatímco v elektrické síti se nachází proud střídavý (AC) Z daného hlediska tedy rozlišujeme dva základní typy nabíjení. Rychlejší nabíjení na stanicích se stejnosměrným proudem (DC) a pomalejší na stanicích se střídavým proudem (AC) Rozdíl v rychlosti nabíjení (viz Obr. 5) je dán faktem, že baterie mohou ukládat pouze DC. Každé EV je tedy vybaveno usměrňovačem, tzv. palubní nabíječkou. [6] [38]



Obr. 5 - Rozdíl v možnostech nabíjení EV | zdroj: [39]

- **Nabíjecí stanice (AC)**

AC nabíjecí stanice jsou běžným typem, které pracují se střídavým proudem. Jsou určeny především k pomalejšímu dobíjení vozidel přes noc nebo během delšího časového úseku přes den. V rámci veřejné infrastruktury se tyto stanice nacházejí nejčastěji na pracovištích nebo v obytných oblastech. [37] [40]

Stanice běžně disponují konektorem typu 2, který je hojně používaný v celé Evropě, respektive v ČR a je kompatibilní s většinou elektromobilů pohybujících se v tomto regionu. V závislosti na typu stanice a počtu konektorů je možné připojení jednoho, ale i více EV současně.[37] [41]

Protože trakční baterie mohou ukládat jen stejnosměrný proud (DC), je mimo jiné doba nabíjení, respektive rychlost nabíjení závislá nejen na výkonu nabíjecí stanice, ale také na výkonu palubního nabíječky EV, která mění AC na DC [37]

Podle výkonu se AC nabíjecí stanice rozlišují následovně:

- Pomalé AC nabíjecí stanice s výkonem nižším než 7,4 kW
- Středně rychlé AC nabíjecí stanice s výkonem od 7,4 kW do 22 kW,
- Rychlé AC nabíjecí stanice s výkonem vyšším než 22 kW.

Pomalé nabíjecí stanice jsou vhodné pro noční nabíjení, kdy se neočekává užívání EV. Se středně rychlými stanicemi je možné se setkat například na parkovištích nákupních center, nebo v městských parkovacích domech, zatímco rychlé AC stanice jsou schopny dobít až do 80% kapacity akumulátoru přibližně za 1 hodinu a se nacházejí především poblíž komerčních objektů. [37] [41].

- **Nabíjecí stanice (DC)**

Druhým typem jsou DC nabíjecí stanice. Narozdíl od AC stanic probíhá přeměna ze sítě odebíraného AC na DC přímo v nabíječce, jsou proto větší a dražší. Palubní usměrňovač proudu je tak možné z procesu nabíjení vynechat. To umožňuje dosáhnout podstatně vyšších výkonů než u AC nabíječek, a tedy i rychlejšího nabíjení a kratší doby, kterou uživatel EV stráví u nabíjecího místa. Často se nacházejí na veřejných čerpacích stanicích nebo na parkovištích a odpočívadlech podél dálnic. [37]

V ČR jsou DC nabíjecí místa běžně vybavena nepřenosným napájecím kabelem s osazením konektorů CCS 2 nebo CHAdeMO. Na těchto nabíječkách tedy zpravidla není potřeba mít vlastní napájecí kabel, i když v současnosti již běžně bývají součástí základní výbavy nového EV. [37]

Maximální výkon nabíjení, který jsou DC nabíječky schopny poskytnout může v některých případech dosahovat k hodnotám až 500kW, proto jsou DC nabíječky často označovány jako rychle, či dokonce ultrarychlé. Nejrozšířenější jsou ale vysoké ceně nabíjení, stanice s výkonem od 40 do 50 kW.[37]

Podobně jako AC stanice se z hlediska výkonu DC nabíječky rozdělují na:

- pomalé DC nabíjecí stanice s výkonem do 50 kW,
- rychlé DC nabíjecí stanice s výkonem 50 kW - 150 kW,
- ultra rychlé DC nabíjecí stanice 1. úrovně s výkonem 150 kW - 350 kW,
- ultra rychlé DC nabíjecí stanice 2. úrovně s výkonem nad 350 kW.

Doba nabíjení na nejpomalejších DC stanicích trvá přibližně 1 hodinu a jsou tak srovnatelné s nejrychlejšími druhy AC nabíječek. Rychlé stanice zvládnou stejný akumulátor dobít již do 40 minut. Za ideálních podmínek mohou ultrarychlé nabíječky dobít EV již za přibližně 20 min. [37].

3.6.2 Soukromé nabíječky

Elektromobilita se neustále rozvíjí a nabízí řadu možností pro nabíjení vozidel, včetně domácích nabíjecích stanic. Dle potřeb uživatele EV mohou jsou montovány u domu nebo na jiném soukromém místě, případně mohou být přenosné. [42]

- **Přenosná AC nabíječka**

Nabíjení probíhá pomocí přenosného kabelu, jímž AC putuje do palubní nabíječky (střídače) kde se mění na DC, kterým je následně akumulátor dobíjen. Kabel se připojuje ke klasické 230 V zásuvce. Maximální výkon nabíjení se pohybuje okolo 3,7 kW. Jde tedy o velmi pomalé nabíjení, které trvá až 12 hodin a u větších typů EV s velkokapacitními akumulátory se doba dosažení úplného nabití pohybuje dokonce až okolo 30 hodin. Použití přenosné AC nabíječky je tedy vhodné spíše pro nabíjení menších EV s nižšími kapacitami akumulátorů doma nebo během výkonu zaměstnání. [42] [43]

- **Pěti-kolíkové zásuvky**

Nabíjení pomocí připojení k pěti kolíkové zásuvce se jeví jako výhodné řešení. Je totiž rychlejší a její instalace přímo na soukromý objekt nebo v jeho blízkosti, se vzhledem k jednoduchosti a relativně nízké pořizovací ceně vyplatí. Nabíjet lze při výkonu 11 kW s jednofázovou nabíječkou, resp. 22 kW s třífázovou nabíječkou. Doba nabíjení se oproti nabíjení z klasické 230V zásuvky zkrátí na polovinu, v ideálních případech i na třetinu času. I u nabíjení připojením vozu k pěti-kolíkové zásuvce je ale tato doba závislá také na samotném výkonu palubního střídače. [42]

- **Domácí Wallboxy**

Wallbox je v principu malá domácí AC nabíjecí stanice. Wallboxy se umisťují zpravidla na stěnu garáže, ale protože je většina wallboxů odolných vůči povětrnostním vlivům mohou být instalovány i na vnější stěnu soukromého objektu. Tyto domácí nabíječky poskytují výkony až 22 kW, má-li tedy dobíjené EV odpovídající palubní nabíječku, zkrátí se doba úplného nabití akumulátoru oproti nabíjení z 230 V zásuvky až 6x.[43]

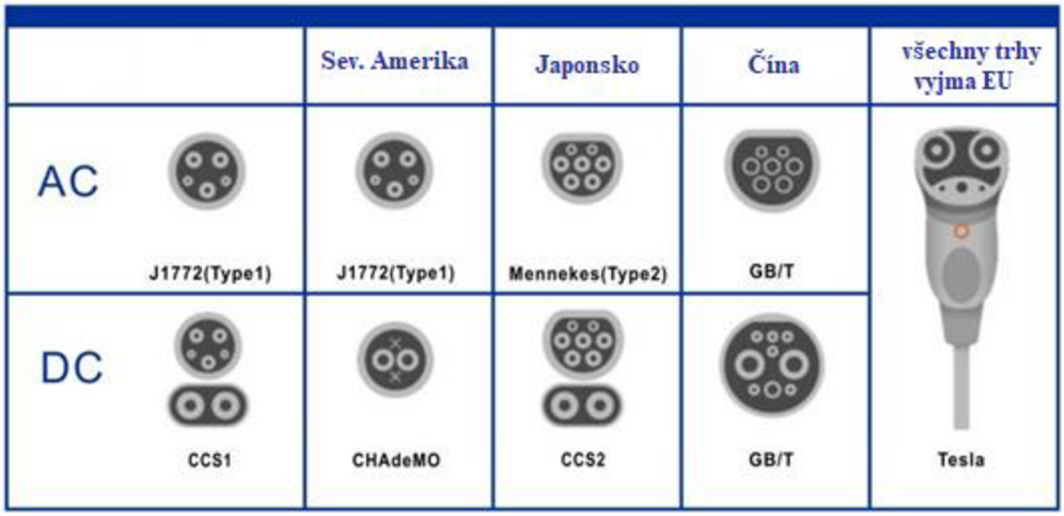
Z hlediska pořizovacích nákladů jde o poněkud dražší alternativu k pěti kolíkovým zásuvkám, ale při vhodném výběru stanice se může výrazně vyplatit. Některé wallboxy totiž disponují funkcemi, které umožňují komunikaci se společným hlavním jističem celého objektu, případně s domácím fotovoltaickým systémem. Wallbox pak může efektivně řídit a optimalizovat výkon nabíjení, zohledňujíce aktuální odběr elektrické energie celého objektu, tak aby nedošlo k přetížení jističe. [43] [44]

3.6.3 Nabíjecí konektory

S pokračujícím rozvojem a rostoucí poptávkou pro EV bylo pro potřeby uživatelsky dostupného nabíjení EV nutné vytvořit standardy popisující mimo jiné i zástrčky a zásuvky, sloužící k propojení EV a nabíjecího místa kabelem. V současnosti existuje několik druhů konektorů, od konektoru typu 1, používaného hlavně v Japonsku a severní Americe až po unikátní konektor pro vozy značky Tesla, který ale není požíván v rámci EU. [6]

V EU, respektive v ČR je nejrozšířenější konektor typu 2, nazývaný též „Mennekes“, který byl v EU přijat jako standartní konektor. avšak je možné se setkat dalšími odlišnými typy konektorů (viz Obr. 6). Některé jsou však specifičtější pro země v ostatních částech světa. Konektorů lze rozdělit do dvou hlavních skupin: [6] [45]

- **AC konektory**
  - Typ 1 – SAE J1772
  - Typ 2 – IEC 62196-2
  - GB/T pro AC nabíjení – 20234.2
  - NACS (Tesla)
- **DC konektory**
  - CCS 1 – SAE J1772
  - CCS 2 - IEC 62196-3
  - CHAdeMO
  - GB/T pro DC nabíjení – 20234.3
  - NACS (Tesla)



Obr. 6 - Přehled konektorů používaných ve světě | zdroj: [46]

- **Typ 1 – SAE J1772**

Jedná se o zástrčku podporující jednofázové AC nabíjení. Konektor Typ 1 má původ v USA, kde byl v roce 2001 vyvinut na základě požadavku SAE 1172-2001. S touto zástrčkou, původně známou také jako Avcon, bylo ale možné dosáhnout maximálního nabíjecího výkonu pouze 6,6 kW.[47]

Od té doby Typ 1 prošel několika úpravami a v roce 2008 byl Japonskou společností Yazaki návrh přepracován a vznikl současný konektor typu 1 (viz Obr. 7), v USA známý také J-konektor. Možný nabíjecí výkon byl navýšen na 19,2 kW. V roce 2010 se konektor stal

standardem pro všechna EV v USA. S tímto konektorem se lze setkat hlavně v USA a Japonsku. V ČR se s ním lze setkat jen velmi zřídka, protože typ 1 není určen pro třífázové nabíjení.[6] [47]

Obr. 7 - Konektor Typ 1 - SAE J1772 | zdroj: [48]

- **Typ 2 – Mennekes – IEC 62196-2**

V ČR se jedná o nejrozšířenější typ konektoru pro spojení nabíjeného vozidla. vozidla s AC nabíjecím bodem. Konektor Typ 2 (viz Obr. 8), známý také jako Mennekes, dle německé firmy, která ho vyvinula, podléhá normě IEC 62196 a v roce 2014 byl v EU přijat jako standartní konektor, pro AC nabíjení. Nabíjecí výkon u tohoto druhu je 22 kW. Konektor má po svém obvodu malé drážky. S jejich pomocí si každý EV při nabíjení konektor pevně zachytí, aby nemohlo dojít k nežádoucímu předčasnému odpojení. [6] [49]

Obr. 8 - Konektor Typ 2 - Mennekes | zdroj: [48]

- **CCS Combo 2 – IEC 62196-3**

Kombinovaný nabíjecí systém CCS (z angl. *Combined charging system*) je rozšířením konektorů typů 1 a 2 pro DC nabíjení. Přestože se lze v ČR zřídka setkat s některými veřejnými nabíjecími body, disponujícími konektorem typu 1, jeho rozšíření CCS Combo 1 je určen pro severní Ameriku a v ČR se vůbec nepoužívá. V EU, respektive v ČR, je platným standardem pro DC nabíjení konektor CCS Combo 2 (viz Obr. 9) a od roku 2014 musí být každá veřejná DC nabíjecí stanice v EU vybavena tímto konektorem. Při nabíjení pomocí CCS Combo 2 je možné nabíjet výkonem až 350 kW. Nabití vozu na 80% kapacity baterie tak může trvat cca 20-30 minut. Konektor využívá vysokoúrovňový komunikačním protokol ISO 15118 pro komunikaci EV s nabíječkou. Protokol umožňuje inteligentní nabíjení EV s ohledem na aktuální možnosti a požadavky sítě, což znamená vyšší bezpečnost při nabíjení.[6] [37] [50]

Obr. 9 - konektor CCS Combo 2 | zdroj: [51]

- **CHAdeMO**

Japonský standard CHAdeMO (zkr. *Charge de Move*) vzniknul v roce 2010 spoluprací Japonských automobilek, které usilovaly o jeho globální přijetí. To se ale nepovedlo úplně, protože EU vydala směrnici, která nařizuje, aby každá DC nabíjecí stanice disponovala alespoň jedním nabíjecím bodem s konektorem CCS 2. I přes upřednostnění konektoru CCS 2, je v rámci EU, respektive v ČR, pro DC nabíjení, pro které je konektor CHAdeMO určen (viz Obr. 10), druhým nejrozšířenějším typem zástrčky. Kvůli postupnému vývoji ve zvyšování kapacity trakčních baterií, byl standard postupně revidován a původní maximální možný nabíjecí výkon 50 kW byl navýšen až na 400 kW. [6] [52]

Obr. 10 -Konektor CHAdeMO | zdroj: [53]

- **NACS (Tesla)**

Konektor Tesla (viz Obr. 11) viz byl vyvinut jako privátní nabíjecí standard společnosti v době vývoje a výroby prvního elektromobilu značky Tesla, kdy nebyl dominantní žádný nabíjecí standard, proto Tesla přijala rozhodnutí o vývoji vlastního nabíjecího standardu. V EU se tento standard neprosadil a uživatelé byli nuceni používat nepraktické adaptéry. To se změnilo s představením Modelu 3, u kterého se Tesla rozhodla osadit své EV určené pro evropský trh konektory CCS. Nicméně i v ČR lze NACS konektory najít na nabíjecích stanicích Tesla Supercharger. [54]

V USA je standard velmi běžný a společnost Tesla se rozhodla v roce 2022 nabíjecí konektor zpřístupnit i cizím výrobcům EV. Přejmenováním konektoru vzniknul nabíjecí standart NACS (z angl. *North American Charging Standard*), ke kterému se v USA postupně připojují další výrobci EV. Například Ford nebo GM, což činí pro NACS podporu značek, jež tvoří 72 % trhu s EV v USA a od roku 2025 bude tento standard platný pro EV všech spolupracujících výrobců EV. [55]

Konektor je určen pro AC i DC nabíjení a jeho poslední verze umí přenést nabíjecí výkon až 250 kW. Nevýhodou je, že zde chybí protokol ISO 15118 který umožňuje komunikaci mezi EV a nabíjecí stanicí, což je také jedním z hlavních důvodů, proč se standard neprosadil v EU. [50]

Obr. 11 - Konektor NACS (dříve Tesla) | zdroj [55]

- **GB/T-20234.2; 20234.3**

Čínská lidová republika má největší trh s elektromobily na světě, proto vyvinula své vlastní konektory na základě vlastního nabíjecího standardu GB/T-20234, který je v Číně platný pro všechna EV vyráběná a prodávaná na jejím trhu. Výhodou je tak jednotný systém nabíjení v celé zemi, který nebrání rychlejšímu rozvoji nabíjecí infrastruktury. [48] [56]

Konektor GB/T 20234.2 (viz Obr. 12) je určen pro jednofázové i třífázové AC nabíjení. Vizuálně je podobný konektoru typu 2 (Mennekes), avšak technickým provedením je odlišný Například komunikace probíhá pomocí sběrnice CAN. V EU se s konektorem nelze setkat a je používán výhradně v Číně.[48]

Obr. 12 - Konektor pro AC nabíjení GB/T-20234.2 | zdroj: [57]

Konektor GB/T 20234.3 (viz Obr. 13) je určen pro rychlejší DC nabíjení. Společně s konektorem CHAdeMO je typický pro asijský trh. Konektor umožňuje nabíjecí výkon až 240 kW. Stejně jako konektor pro AC nabíjení se GB/T 20234.3 v EU nepoužívá. [56] [58]

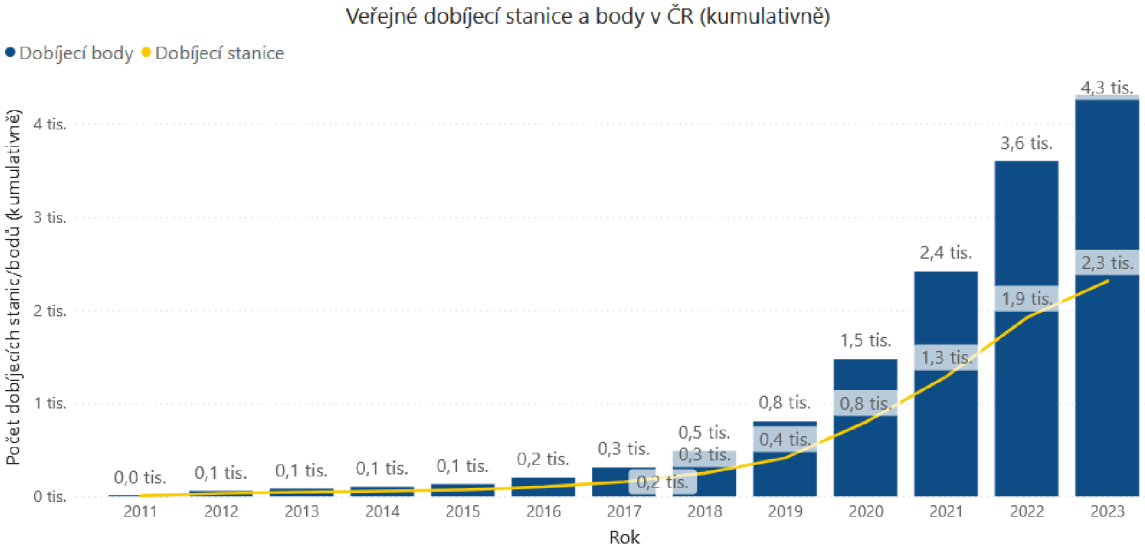
Obr. 13 - Konektor pro DC nabíjení GB/T-20234.3 | zdroj: [59]

3.7 Nabíjecí infrastruktura ČR

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, většina typů EV je dnes osazena nejčastěji Li-Ion akumulátorem, jehož úkolem je zásobovat elektromotor potřebnou energií. Elektromobilita se nejen v osobní automobilové dopravě rozvíjí stále rychleji a tento trend je také přímou příčinou velkého růstu poptávky po relevantní dobíjecí infrastruktuře. Podobně jako potřebují nádrže konvenčních vozidel být dočerpávány pohonnými hmotami, je i bateriím nutné neustále doplňovat elektrickou energii. [45]

3.7.1 Současný vývoj veřejné nabíjecí infrastruktury v ČR.

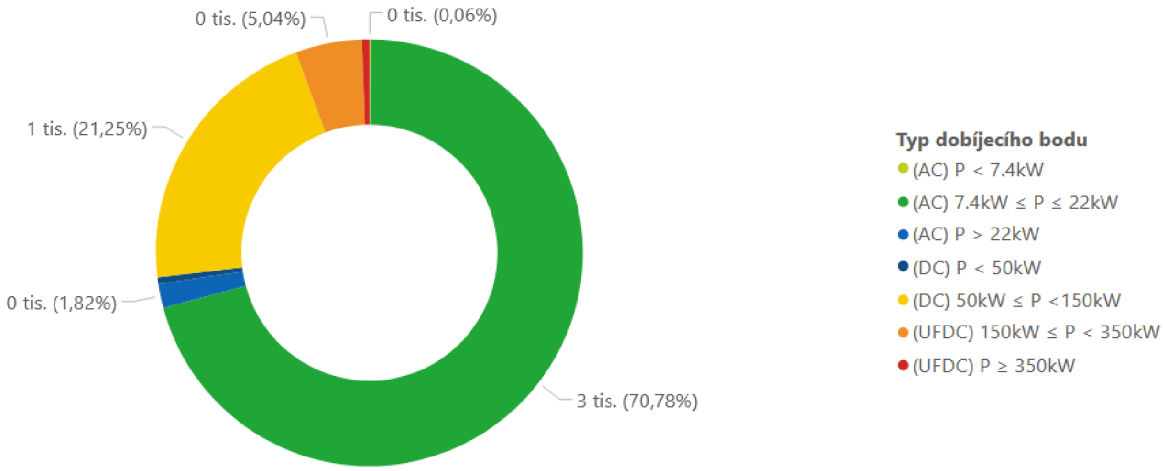
V ČR bylo ke dni 30. 9. 2023 zaevidováno celkem 2313 dobíjecích stanic s celkovým vstupním výkonem 133,59 MW. Uživatelé elektromobilů mohou využívat síť čítající 4313 veřejných dobíjecích bodů, které se dále dělí na 3221 AC dobíjecích bodů a 1092 DC dobíjecích bodů. Z Obr. 14 lze vyčíst vývoj počtu dobíjecích stanic a bodů od roku 2011 až po současnost.



Obr. 14 – Vývoj počtu veřejných dobíjecích stanic a bodů v ČR v letech 2011-2023 | zdroj [60]

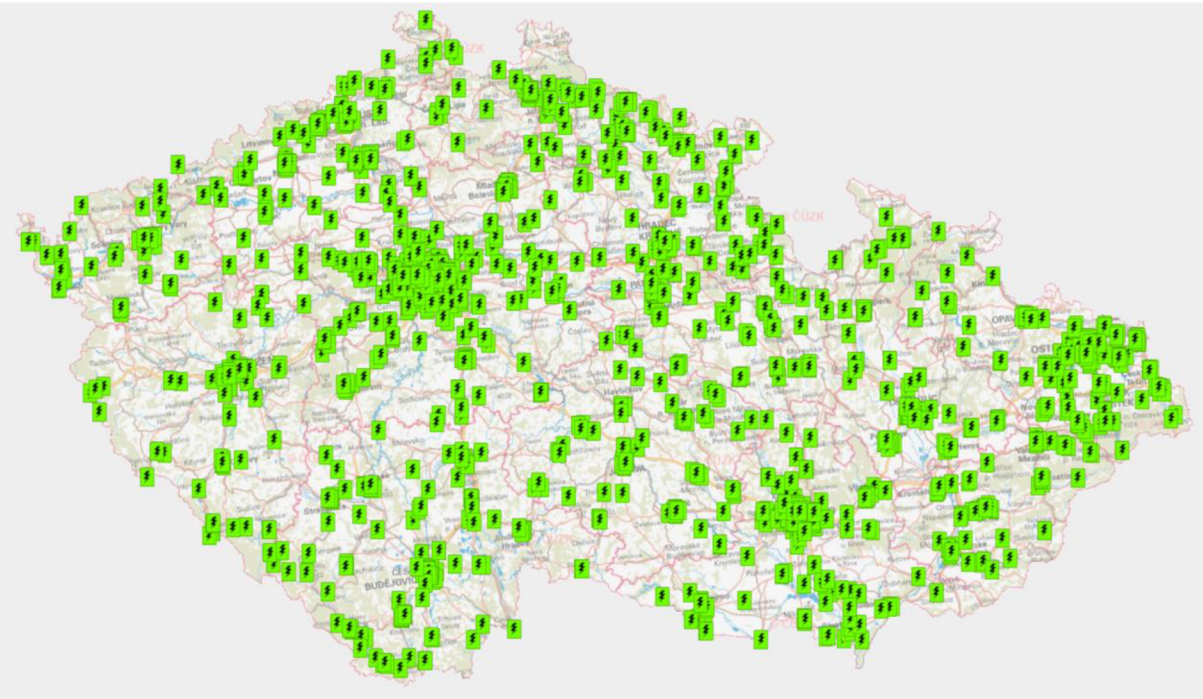
V ČR tak na jeden nabíjecí bod připadá 5 osobních BEV. V rámci nabíjecí infrastruktury EU připadá na jeden nabíjecí bod 7 BEV. [60] [61]

Z Obr. 15 lze určit největší zastoupení druhu nabíječek podle výkonu na celé stávající infrastruktuře, které mají AC nabíjecí body s výkonem od 7,4 kW do 22 kW, téměř 71 %. Druhým největším zástupcem jsou DC nabíjecí místa s výkonem od 5 kW do 150 kW. V ČR v současnosti funguje i 261 vysokovýkonných DC nabíječek s výkonem od 150 kW. [61] [62]



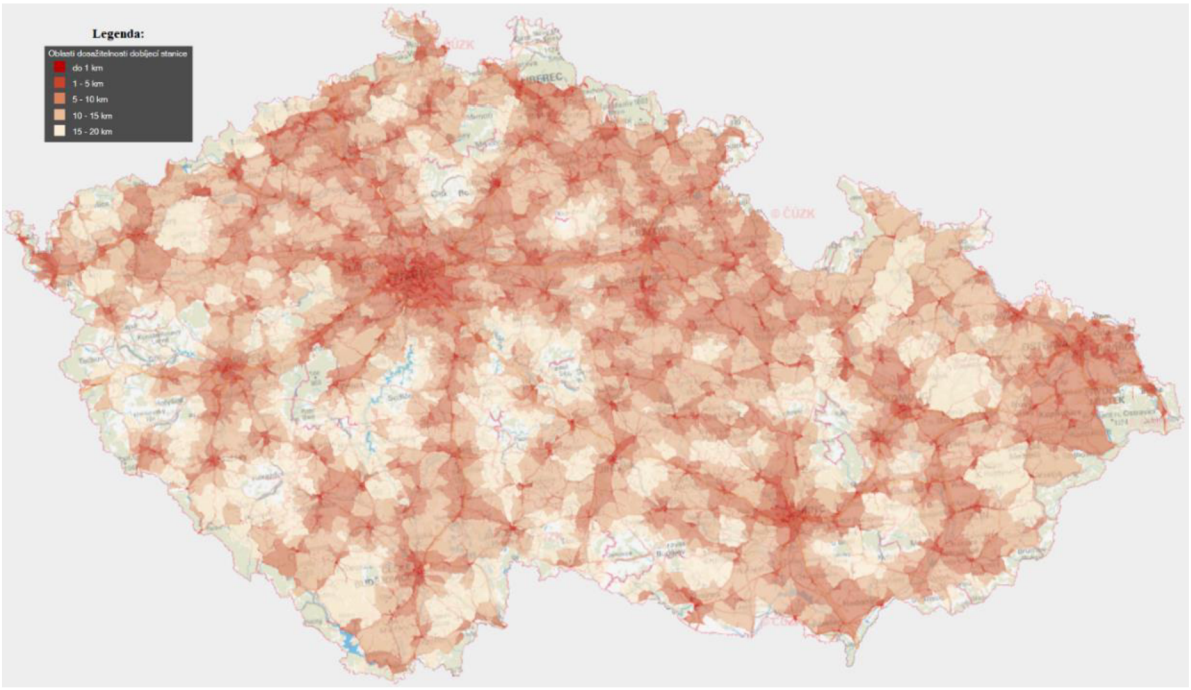
Obr. 15 – Rozdělení veřejných dobíjecích bodů v ČR | zdroj: [61]

Na Obr. 16 je znázorněna mapa současného stavu sítě nabíjecích stanic v ČR. Hustota sítě nabíjecích stanic v ČR je přibližně 3 nabíjecí stanice na 100km^2, respektive 4-5 nabíjecích bodů na 100km^2. Z mapy je zřetelné, že nejhustší síť stanice se nachází ve městech a podél hlavních komunikačních tahů.



Obr. 16 – Mapa nabíjecích stanic ČR | zdroj: [63]

Rozložení současné sítě nabíjecích stanic je velmi nerovnoměrné. Současná infrastruktura je soustředěna hlavně ve větších městech a podél hlavních komunikačních tahů. Ve venkovských oblastech je však infrastruktura nejen z hlediska vzdálenosti, která v některých lokalitách přesahuje hodnotu 20 km k nejbližšímu bodu, ale i z hlediska počtu dobíjecích bodů nevyhovující. Takové lokality na mapách bývají nejčastěji označeny jako tzv. „bílá místa“. (viz Obr. 17).[64]

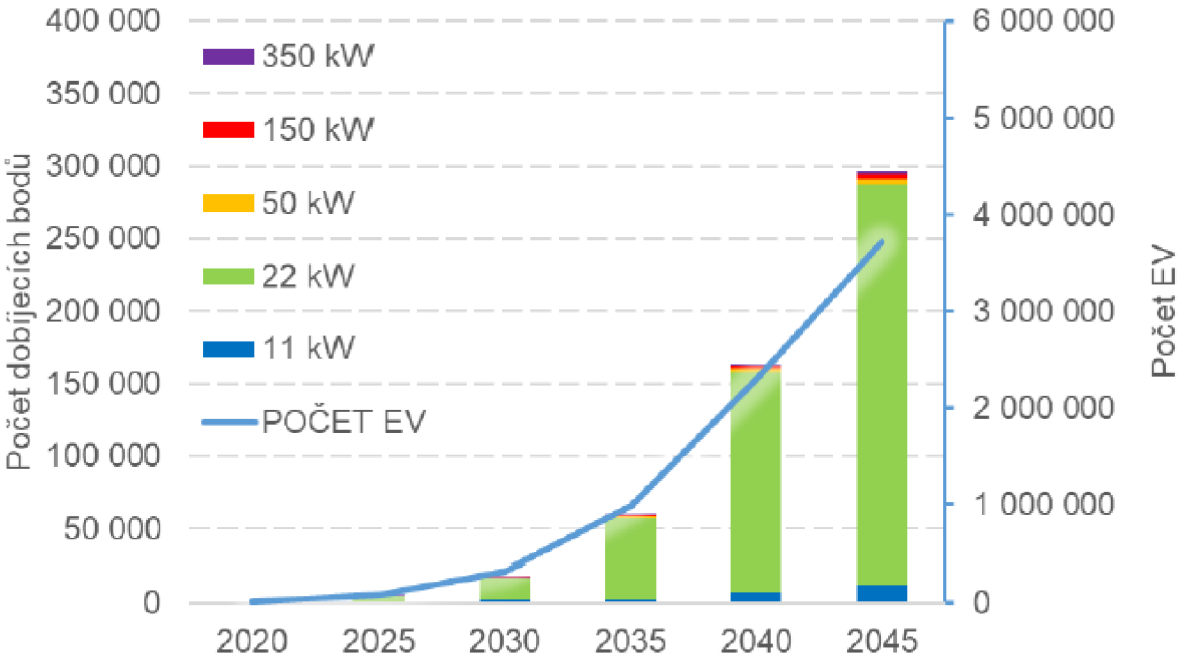


Obr. 17 – Mapa optimalizace VDI v ČR – bílá místa| zdroj [65]

3.7.2 Budoucí vývoj a optimalizace nabíjecí infrastruktury

Další rozvoj nabíjecí infrastruktury v České republice je úzce spojen s plány a strategiemi EU zaměřenými na podporu elektromobility. Na poli EP bylo schváleno nařízení, které ukládá státům EU rozšiřovat nabíjecí infrastrukturu tak, aby byl splněn v roce 2026 cíl vybudovat síť stanic pro osobní EV s minimálním výkonem 400 kW a maximálním rozestupem 60 km mezi jednotlivými stanicemi podél všech komunikací transevropské dopravní sítě TEN-T. Ministerstvo dopravy ČR je podle dostupných informací aktuálně připraveno investovat do roku 2027 přibližně 1,2 mld. Kč do rozvoje dobíjecí infrastruktury pro elektromobily, aby bylo vyhověno požadavkům EU. Takový přístup státu k rozšiřování kapacity a dostupnosti nabíjecích stanic hraje klíčovou roli v usnadnění přechodu na elektromobilitu. [66]

Rozšiřování nabíjecí infrastruktury v delším časovém horizontu v ČR je úzce spjat s předpokládaným nárůstem počtu elektromobilů na českých komunikacích. Vývoj je tak klíčovým aspektem pro plánování a výstavbu dostačující a dostupné sítě nabíjecích stanic. Jak již bylo zmíněno v předchozích částech této práce, podle aktuálních trendů a predikcí postupuje rozvoj elektromobility v ČR v souladu se středním scénářem, ze kterého lze odvodit budoucí výstavbu nabíjecí infrastruktury pomocí ukazatele, kterým je minimální počet nabíjecích bodů na počet registrovaných BEV (viz Obr. 18). Bude-li uvážen současný poměr 1 nabíjecí bod na 5 BEV a následný rovnoměrný růst počtu nabíjecích bodů i BEV ve středním scénáři, bude nutné do roku 2030 mít vybudovanou síť čítající přibližně 37 500 nabíjecích míst. Uváží-li se doporučení EU, podle kterého by neměl počet BEV na jeden nabíjecí bod přesáhnout 10 vozidel, bude ve stejném roce potřeba síť dobíjecích stanic s minimálním počtem přibližně 18 750 nabíjecích bodů. [18]



Obr. 18 – Potřebný počet dobíjecích bodů v závislosti na počtu EV – střední scénář | zdroj: [18]

3.7.3 Inovativní trendy v budování infrastruktury

Růst počtu elektromobilů na českém trhu vyžaduje nejen zvýšení počtu nabíjecích stanic, ale také vylepšování technologií nabíjení. Strategie by měly směřovat k zavádění inovativních technických řešení, které urychlí a zefektivní proces dobíjení. Tzn. zavádění opatření zahrnujících budování výkonnějších stanic, zvyšování komfortu a snahu o minimalizaci výdajů spojených s dobíjením EV. [67]

3.7.3.1 Příklady inovativních technologií pro nabíjecí infrastrukturu:

- Systém výměny baterií
- Dynamické bezdrátové nabíjení

Systém výměnných baterií – prvním příkladem řešení, které by mohlo pomoci zefektivnit a z pohledu spotřebitele zkrátit dobu nabíjení by mohl být systém modulární výměny baterie. Principem je výměna trakční baterie v horizontu nízkých jednotek minut, v některých případech dokonce několika desítek vteřin v rámci zastávky na speciální výměnné stanici. Modulární baterie jsou navrženy tak, aby mohly nahradit původní baterii BEV a při tom je přizpůsobit kterémukoliv elektrickému modelu bez nutnosti úpravy platforem vozidel. Kompatibilní vozidlo bude stanicí okamžitě rozpoznáno a po zaparkování řidič zadá pomocí mobilní aplikace pokyn k automatické výměně baterie. Řešení celého sytému je navrženo tak aby se maximálně zkrátila doba, zastávky a přiblížila se tak doposud známému čerpání PHM. Systém by měl být přístupný prostřednictvím předplacené služby, což by mohlo v budoucnosti snížit celkové počáteční náklady na pořízení BEV a zároveň by mohl zákazníkovi umožnit využívat vždy nejnovější technologie baterií, čímž by se zvýšil dojezd a životnost elektromobilu. Výhodou je tedy rychlost a flexibilita systému. Další velkou výhodou je pomalé

šetrné dobíjení baterií momentálně uložených ve stanici, tedy prodlužování jejich životnosti. Největší výhodou je však možnost využívat stanice jako bateriová úložiště, které můžou být součást tzv. chytrých sítí a pomáhat vyrovnávat energetické výkyvy v síti ve špičkových odběrech. Systém výměny baterií je velmi rozvinutý například v Čínské lidové republice, kde byly první stanice uvedeny do provozu již v roce 2008. Průlom nastal v roce 2016, kdy se o rozvoj systému zasloužily automobilky NIO a Geely ve spolupráci s firmou Aulton specializující se na výměnu baterií, a která je držitelem několika patentů. Automobilka uvádí že od uvedení systému do provozu již provedla 11 000 000 výměn a do roku 2025 cílí na provoz 4 000 výměnných stanic ve světě. [68] [69]

Dynamické bezdrátové nabíjení – dalším řešením, které může přispět k rozšíření elektromobility ve velkých městech nebo mezi nimi může být systém dynamického indukčního nabíjení, umožňující uživatelům nabíjet vůz během jízdy po silnici. Princip spočívá v zabudování vysílacích cívek s feritovými jádry pod povrch přímo do vozovky, napájených paralelními rezonančními měniči, které jsou postupně aktivovány v závislosti na poloze přijímacích cívek připevněných na vozidlech. Tato technologie nabíjení umožňuje významné snížení, v současnosti tolik diskutované, kapacity a hmotnosti akumulátorů a zároveň zvýšit hodnotu maximálního dojezdu BEV na jedno nabití. Zásadní nevýhodou jsou obrovské finanční náklady na vybudování takové infrastruktury. [70] [71]

3.8 Energetická infrastruktura ČR

Aby bylo možné provést korektní analýzu současné infrastruktury pro elektromobilitu, je nutné popsat energetickou síť, na které je postavena. Ta je totiž nedílnou součástí celé nabíjecí infrastruktury a její aktuální stav má zásadní vliv připravenost celé infrastruktury pro přechod k elektromobilitě v osobní automobilové dopravě. Je žádoucí seznámit se s aktuálními trendy a stavem energetiky v ČR a s jejím předpokládaným vývojem s ohledem na vysoké tempo růstu energetických nároků, které jsou ale v kontrastu s požadavky na minimalizaci dopadů lidské činnosti na ŽP. Z tohoto hlediska je jedním z klíčových prvků tzv. energetický mix ČR.

3.8.1 Energetický mix

Energetický mix vyjadřuje podíl jednotlivých zdrojů energie při výrobě elektřiny. Jeho prostřednictvím lze určit míru zastoupení primárních a sekundárních zdrojů energie.[72]

Primární zdroje energie jsou všechny přírodní zdroje, které se v přírodě vyskytují a lidstvo je využívá v jejich původní, nezměněné podobě. Podle své povahy se dělí na obnovitelné zdroje energie (OZE), jako jsou biomasa, vodní, sluneční, větrná, nebo geotermální energie, a neobnovitelné zdroje energie, tedy jaderná a fosilní paliva. Na druhé straně sekundární zdroje energie zahrnují výtvory lidské činnosti, které mohou být zpětně využívány k produkci energie. Jedná se například o komunální odpad nebo skládkové plyny.[72] [73]

Stav a složení energetického mixu mají významný dopad na stabilitu, udržitelnost a bezpečnost dodávek elektrické energie. Směřování k většímu podílu obnovitelných zdrojů

energie pro výrobu elektřiny a snaha snížit podíl fosilních paliv na výrobě energií, za účelem redukce škodlivých emisí, je důležitou součástí strategií v mnoha zemích, včetně České republiky. [72]

Hlavním tématem současné doby v souvislosti s energetickým mixem jsou především závazky tzv. „Zelené dohody“ spojené s emisemi škodlivin do ovzduší, respektive přechod od fosilních paliv k obnovitelným zdrojům. Tento trend odráží snahu přizpůsobit se novým ekologickým požadavkům a technologickým inovacím, což vede k neustálému vývoji a přizpůsobování energetického mixu aktuálním potřebám a výzvám současné doby. [72]

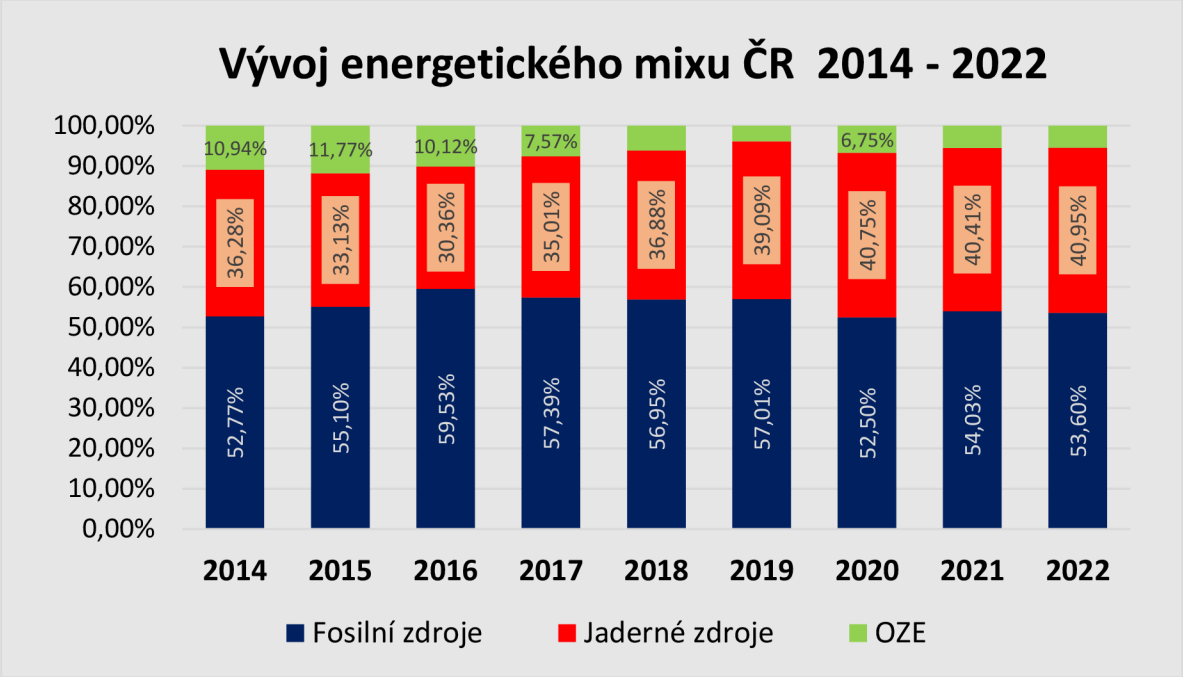
Výroba elektřiny v ČR probíhá v následujících typech elektráren:

- Jaderné (JE)
- Parní (PE)
- Paroplynové (PPE)
- Plynové a spalovací (PSE)
- Vodní (VE)
- Přečerpávací (PVE)
- Větrné (VTE)
- Fotovoltaické (FVE)

- **Současný vývoj energetického mixu v ČR**

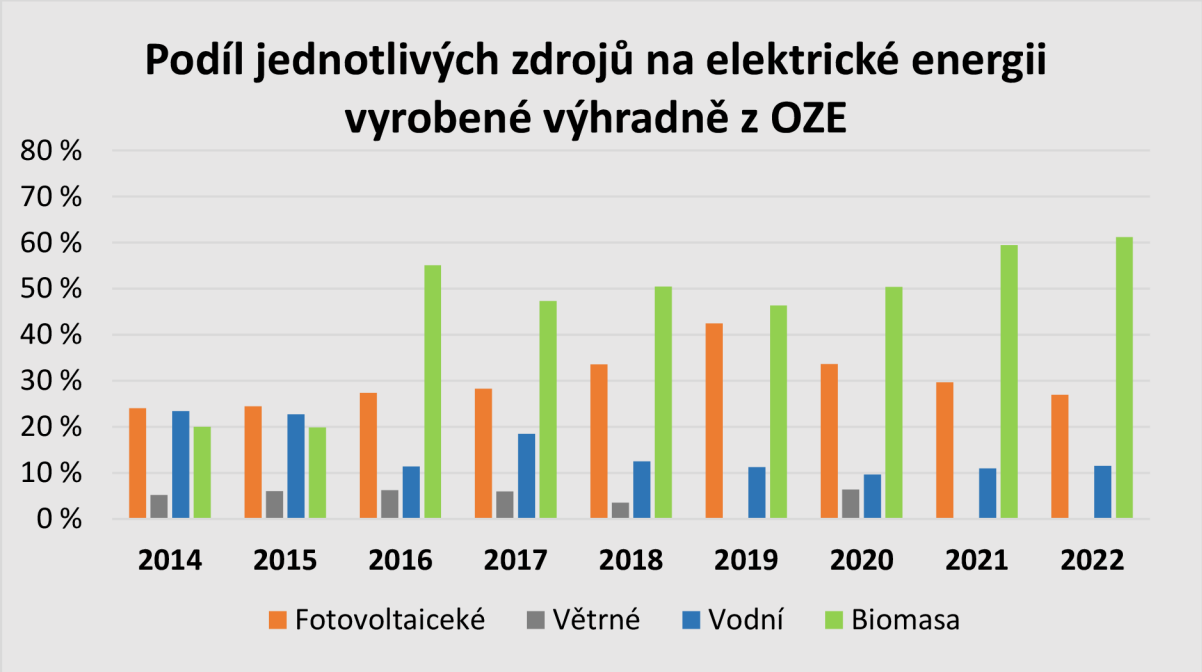
Největší část produkce elektrické energie pochází z parních elektráren, které vyrábějí energii spalováním hnědého uhlí. Jejich provozem bylo v roce 2022 vyrobeno 33,2 TWh. Takto vyrobená elektřina má však ze všech možností získávání elektrické energie nejvyšší emisní faktor. Výroba 1 kWh elektrické energie v uhelné elektrárně vyprodukuje 1062 g CO_2. v roce 2022 tak bylo uhelnými elektrárnami vypuštěno do ovzduší 35,3 Mt z celkových 40,8 Mt CO_2, tzn, 91,65 % celkových emisí produkovaných výrobou elektřiny. V pořadí druhým způsobem z hlediska podílu na výrobě jsou jaderné elektrárny. V ČR je momentálně v provozu 6 jaderných bloků ve 2 jaderných elektrárnách, v Dukovanech a v Temelínu. I pres jejich nejmenší podíl jsou pro ČR velmi důležité i elektrárny využívající OZE, které ve stejném roce vyrobily celkem 9,62 TWh. [74]

Z Graf 3 je zřejmý vývoj podílu zdrojů energie v jednotlivých rocích na výrobě elektrické energie v ČR. I přes snahu o přesun výroby elektřiny od fosilních zdrojů k OZE je patrné, že elektřina vyrobená v ČR většinově pochází z fosilních paliv, které v ČR představují zejména černé a hnědé uhlí (ČU; HU) a zemní plyn. Ostatní fosilní zdroje jsou zanedbatelné a jejich podíl se výrazně nemění. Sledovat lze ale mírný nárůst podílu jaderných zdrojů, a naopak podíl OZE na vyrobené elektrické energii meziročně klesal. [75]



Graf 3 - Vývoj energetického mixu ČR v letech 2014-2022 | zdroj: [75]

Graf 4 poskytuje pohled na rozpad jednotlivých zdrojů podílejících se na produkci elektřiny vyrobené z OZE. Z dostupných dat je patrné, že se od roku 2017 nejvíce elektřiny se vyrábělo, v průměru přibližně polovina množství elektřiny vyrobené z OZE pochází ze zpracování biomasy. Naopak nejméně elektřiny bylo do sítě poskytnuto z větrných elektráren. Podíl elektřiny poskytnuté vodními a přečerpávacími elektrárnami měl v posledních letech spíše klesající trend. [75]



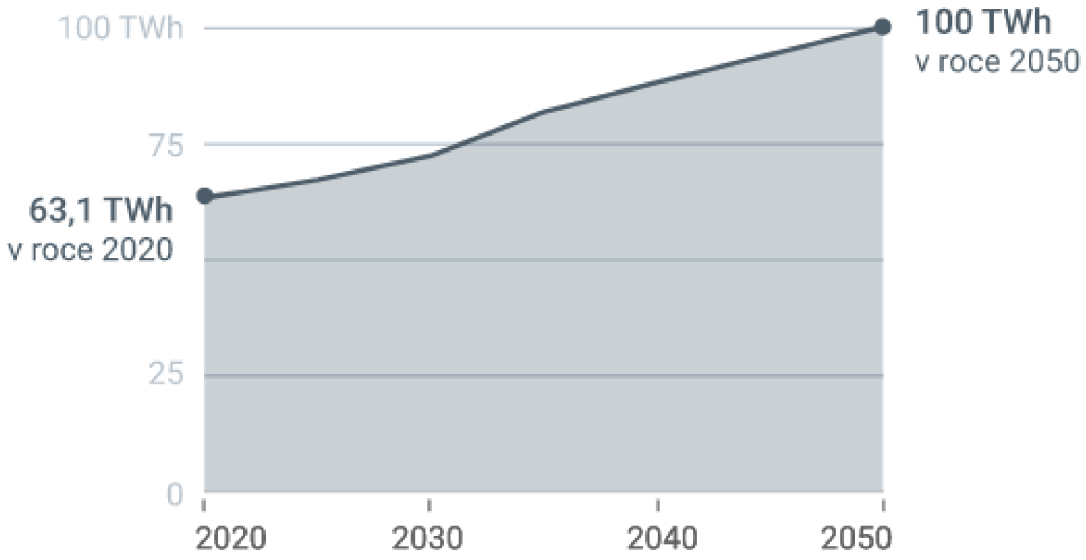
Graf 4 - Podíl jednotlivých zdrojů na elektrické energii vyrobené výhradně z OZE | zdroj: [75]

3.8.2 Předpokládaný vývoj energetického mixu v ČR

Budoucí vývoj energetického mixu je klíčovým tématem, zejména s ohledem na snahu o dosažení klimatické neutrality do roku 2050, vycházející z požadavků tzv. Zelené dohody. Vývoj bude tedy v následujících letech zaměřen na dekarbonizaci zdrojů a transformaci energetiky pomocí přechodu k OZE se zachováním energetické bezpečnosti země, tzn. zpomalování růstu dovozní závislosti, zvyšování soběstačnosti v dodávkách elektřiny a výkonové přiměřenosti elektrizační soustavy ČR s ohledem na nepřetržitý růst spotřeby elektrické energie nejen v sektoru osobní automobilové dopravy. Energetická bezpečnost je proto jednou z vrcholových strategických priorit Státní energetické koncepce (SEK) ČR. [76] [77]

3.8.3 Spotřeba elektrické energie v ČR

Probíhající klimatické změny, které nelze ignorovat a tlak na ekologizaci většiny aspektů každodenního lidského života, které znamenají ve většině průmyslových odvětvích přechod od používání fosilních paliv k čistším energiím, zejména k elektřině. Tento trend se výrazně promítá do růstu její spotřeby. Současná geopolitická situace je další velkou příčinou snahy EU zbavit se závislosti na fosilních zdrojích energie, což růst spotřeby elektřiny ještě zrychluje. Předpokládá se, že roční spotřeba elektřiny, i v důsledku výrazného rozšíření elektromobility v ČR, vzroste do roku 2050 ze současných 60 TWh minimálně na 100 TWh (viz Obr. 19). V souvislosti s tím bude nutné se pro zachování energetické bezpečnosti státu zaměřit kromě transformace energetiky i navýšení výrobních kapacit elektřiny. SEK totiž počítá s vyřazením uhelných zdrojů, jejichž podíl na současné celkové roční výrobě elektřiny je přibližně 41 %, nejpozději do roku 2033. Při současném stavu roční spotřeby energie by v ČR chybělo až 20 TWh ročně, což je přibližně o 2 TWh více než je současná maximální teoretická roční výrobní kapacita jaderné elektrárny v Temelíně. Z hlediska energetické bezpečnosti ČR a umožnění rychlého ústupu od fosilních zdrojů energie bude v následujících letech zásadním tématem výstavba nových jaderných bloků a rozvoj OZE. Podle SEK by se měl podíl OZE na produkci elektrické energie do roku 2033 navýšit ze stávajících 12 % až na 47 %. Současné nízkoemisní zdroje totiž pokrývají přibližně pouze 2/3 spotřeby elektrické energie v ČR a zbytek je vyráběn z vysoko-emisních zdrojů, které bude potřeba adekvátně nahradit ČR se snaží tuto výzvu aktivně řešit. V současnosti je vypsán tendr na dostavbu dvou, respektive čtyřech nových bloků pro jadernou elektrárnu v Dukovanech a počítá se nárůstem počtu FVE, což je podpořeno i legislativou usnadňující povolení k instalaci a provozu a počítá se i s rozšířením výstavby VTE [76] [77] [78]

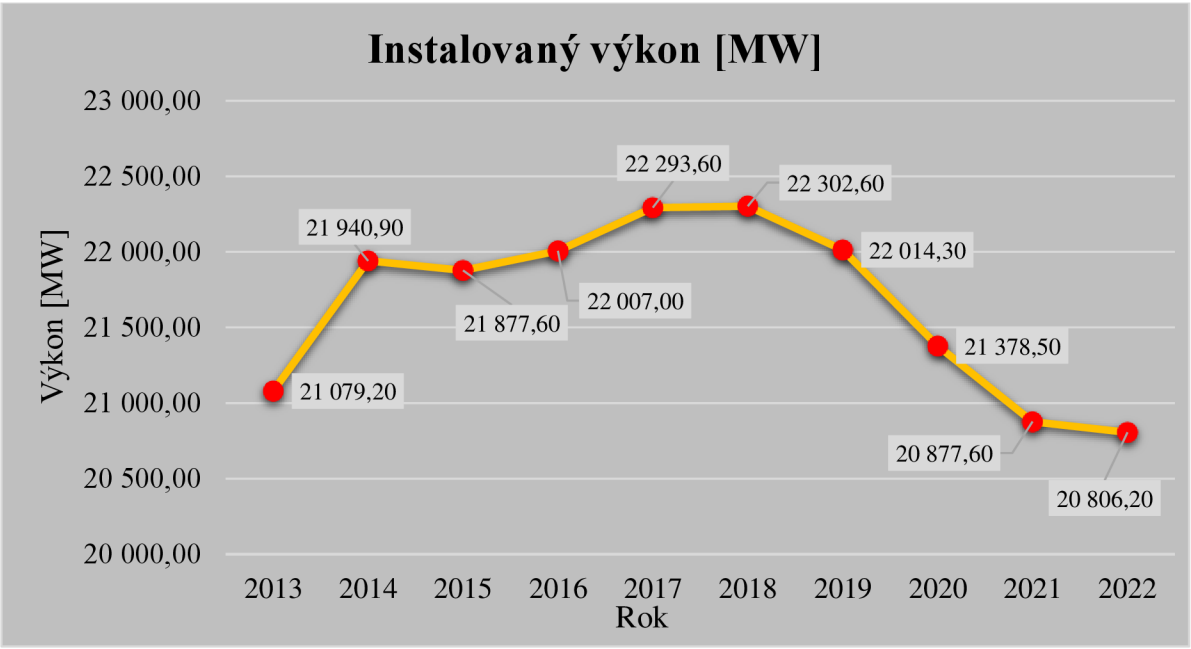


Obr. 19 – Předpokládaný růst spotřeby elektrické energie | zdroj: [79]

3.8.4 **Zatížení distribuční soustavy**

Elektřina je v dnešní době nepostradatelnou komoditou pro každého člověka, jelikož v současnosti je s její pomocí mnoho běžně používaných zařízení poháněno. Je tedy důležité, aby byla energie koncovým spotřebitelům dodávána nepřetržitě, pokud možno v nejvyšší kvalitě. To vyžaduje správné a důkladné dimenzování infrastruktury. [80]

Zatížení distribuční sítě představuje měření celkového výkonu, který je v daném okamžiku dodáván do distribuční sítě a spotřebováván konečnými uživateli. Veličinou pro monitorování zatížení sítě je instalovaný výkon v ES, tedy maximální možná výrobní kapacita elektrické energie v daném systému. Graf 5 znázorňuje vývoj celkového instalovaného výkonu ES ČR. Lze z něho vyčíst, že historického maxima instalovaného výkonu v české ES bylo dosaženo v roce 2018, kdy přesáhl hodnotu 22 GW. Výhody, které v ČR podporují masivní rozšíření budování FVE a VTE, jsou nízké vstupní náklady a rychlost uvedení do provozu od rozhodnutí o jejich instalaci. Velké riziko pro distribuční soustavy zmíněných OZE představuje jejich nevýhoda, kterou je proměnlivé množství vyrobené elektřiny v závislosti na aktuálních povětrnostních podmínkách. Obzvláště v zimních měsících, kdy v ČR panují podmínky s nedostatečnou intenzitou slunečního záření, se stává výroba energie v FVE problematickou, protože nebude možné pokrýt energetické nároky, které se v zimních obdobích ještě rostou. V současné době jsou vyšší požadavky na odběr elektřiny v zimních obdobích pokrývány výrobou z uhelných elektráren. Má-li se ČR v budoucnu odklonit v rámci dekarbonizace od takové výroby, bude nutné ji pro pokrytí potřeb koncových spotřebitelů adekvátně nahradit. Tyto nedostatky ve výrobě by v budoucnu měla vyvažovat produkce elektrické energie v jaderných elektrárnách nebo jiných flexibilnějších zařízeních využívajících OZE, jako jsou například vodní elektrárny, nebo zařízení pro ukládání elektrické energie (přečerpávací elektrárny, baterie). [79] [80]



Graf 5 – Vývoj celkového instalovaného výkon ES ČR 2013-2022 | zdroj [81]

Budoucí energetický mix by proto měl být složen převážně z nízkoemisních energetický zdrojů. Důležité bude zejména vyvážené využití jaderné, sluneční, větrné a vodní energie v kombinaci s technologiemi pro akumulaci elektrické energie, posílením distribuční soustavy a plánováním zvýšení její kapacity a v neposlední řadě integrace podpůrných technologií do energetické infrastruktury ČR. Zmíněné aspekty by měly pomoci udržet a zvyšovat stabilitu sítě a efektivitu a bezpečnost distribuce elektřiny i za předpokladu výrazného zvýšení podílu OZE v energetickém mixu. [79]

3.8.5 Vliv rostoucí spotřeby elektrické energie na zatížení sítí

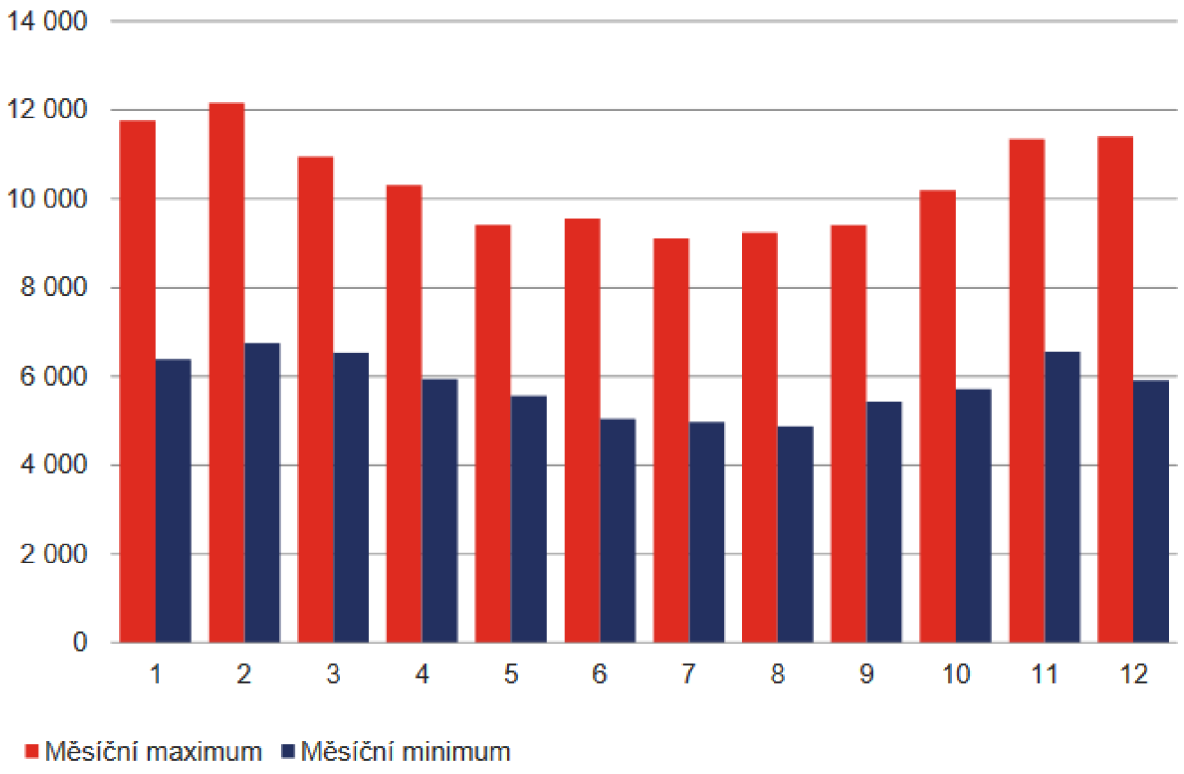
S rozvoj elektromobility je neoddělitelně spjato narůstající zatížení elektrické sítě. S přechodem na elektrická vozidla, která by v budoucích letech měla být z většiny poháněna elektřinou vyrobenou z OZE, je nutné uvažovat i zvýšené potřeba kapacity a flexibility sítě. Při udržení stávajícího trendu registrací nových BEV by jich mohlo v ČR být v roce 2030 přibližně 150 000, a při dosažení evropského průměru nových registrací cca 400 000. To by teoreticky zvýšilo celkovou roční spotřebu cca o 0,1, respektive o 0,6 TWh, což by neměl být zásadní problém. Větší výzvou v oblasti nabíjení elektromobilů, než pokrytí celkové roční spotřeby je zejména pokrytí navýšení okamžitého odběru elektrické energie ve špičkových časech, v důsledku zapojení většího množství EV ve stejnou dobu. [18] [2] [82]

Z celkového hlediska by mohla být ES ČR být ohrožena plošným výpadkem, tzv. „blackoutem“ v důsledku připojení většího počtu BEV ve stejném čase. V roce 2033 má dojít k úplnému ukončení výroby elektrické energie v uhelných elektrárnách, což znamená snížení současného instalovaného výkonu o 9,4 GW na 11,4 GW Instalovaný výkon by tedy klesnul na úroveň současných maximálních odběrů energie. Pokud boudou z většiny nahrazeny OZE, zejména FVE, mohou v zimních měsících nastat problémy s nedostatečným množstvím energie v síti. Vezme-li se v úvahu střední scénář vývoje počtu registrovaných BEV, bude se jich v ČR

v roce 2033 pohybovat přibližně. 400 000. Pouze nabíjení všech těchto vozidel si teoreticky vyžádá příkon 4,4 GW. Velikost odběrného výkonu vychází z následujícího výpočtu

$$zatížení\ sítě\ [MW] = \frac{nabíjecí\ výkon\ [kW] * počet\ nabíjených\ EV}{1000}$$

a z předpokladu nabíjení na veřejných AC dobíjecích bodech nebo domácích wallboxech výkonem 11 kW . Takovým výkonem totiž disponuje palubní nabíječka, neboli usměrňovač, většiny dnes známých modelů BEV. Na Obr. 20jsou zobrazena měsíční maxima a minima zatížení ES. Z toho je zřetelné, že k největším odběrům dochází právě v zimních měsících, v průměru 11 – 12 GW. Přičte-li se k této hodnotě výkon potřebný pro nabíjení EV, zvýší se hodnota zatížení až na 16,5 GW. Z toho plyne že instalovaný výkon bez uhelných elektráren v zimních měsících nepokryje odběr přibližně o 5 GW, přičemž ve scénáři není počítáno modely, které mají výkonější palubní nabíječky, nebo s rychlejším nabíjením na veřejných DC stanicích. [18] [81]



Obr. 20 – Měsíční minima a maxima zatížení ES ČR | zdroj [81]

Z výše uvedených důvodu je v příštích letech nutné počítat s četnými rozšířeními energetické infrastruktury, s jejím efektivním plánováním s ohledem na postupné zavírání uhelných elektráren, decentralizaci výroby a distribuce elektrické energie pro zmírnění rizik blackoutu a implementace nástrojů a technologií, které pomáhají optimalizovat výkonový tok. [2]

3.8.6 **Nástroje a technologie pro dosažení stability sítí**

V poslední době se v souvislosti s elektromobilitou a vyšší poptávkou po elektřině v důsledku nabíjení EV objevilo několik technologií a konceptů, které mohou pomoci dosáhnout stability sítě, dostatečného množství energie v síti, efektivního řízení výkonu a bezpečnosti dodávek elektrické energie. Jsou jimi například:

- Decentralizace energetiky
- Akumulace energie
- Rozvoj virtuálních elektráren
- Integrace Smart Grid (chytrá síť) a konceptu Vehicle-to-Grid (vozidlo do sítě)

3.8.6.1 **Decentralizace energetiky:**

Decentralizace energetiky znamená rozdělení produkce energie mezi mnoho malých a středně velkých zdrojů, což se velmi liší od známého modelu, kde několik velkých elektráren produkuje většinu energie. Tento koncept umožňuje větší flexibilitu a efektivitu v distribuci energie, jelikož bývá energie vyráběna blíže koncovým spotřebitelům, což snižuje ztráty přenosových sítí. Zároveň decentralizovaná energetika napomáhá zvyšování spolehlivosti dodávek energie, neboť výpadky menších zdrojů jsou snadněji kompenzovatelné, a podporuje rozmanitost energetického mixu, což je klíčové pro zajištění energetické bezpečnosti a udržitelnosti. Decentralizované energetické systémy také podporují rozvoj OZE, jako jsou FVE a VTE, které je možné propojit přímo s lokálními distribučním sítěmi, a však pouze za předpokladu využití dalších technologií a nástrojů, které budou pomáhat snížit dopady proměnlivosti výroby energie z OZE, jako je akumulace energie, nebo řízení energie v chytrých sítích. Decentralizace také umožňuje zapojení koncových uživatelů do energetického trhu, například prostřednictvím mikro-produkce z malé vlastní FVE a sdílení energie, což může vést ke snížení nákladů a závislosti na velkých zdrojích.[83] [84]

3.8.6.2 **Skladování energie:**

Akumulace energie je klíčovým nástrojem pro zajištění plynulých dodávek energie a optimalizace využití OZE. Využívání skladované energie umožňuje vyrovnávat nestabilitu v e výrobě elektřiny z OZE, jako jsou solární a větrné elektrárny, které jsou závislé na aktuálních povětrnostních podmínkách. Pomocí akumulačních technologií lze uchovávat přebytečnou energii vyrobenou v časech vysoké produkce nízkého odběru a následně ji využít v obdobích, kdy je produkce nižší než spotřeba. Akumulační systémy lze rozdělit na chemické, elektrochemické a elektrické systémy a systémy využívající ukládání tepelné energie. Typickým mechanickým systémem jsou přečerpávací elektrárny, například přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně s maximální instalovaným výkonem 610 MW. Zástupcem z řady elektrochemických systémů jsou například Li-Ion akumulátory. [83]

3.8.6.3 **Virtuální elektrárny**

Virtuální elektrárna je definována jako skupina propojených decentralizovaných zdrojů energie, které mohou být fyzicky od sebe značně vzdálené. Z perspektivy energetické sítě však působí jako jeden celek. Výkon virtuální elektrárny je dán součtem instalovaných výkonů jednotlivých zdrojů, a i v případě menších jednotek může celkový výkon dosahovat stovek MW, což je například výkon středně velkého uhelného bloku. Z hlediska typu zdroje nemají virtuální elektrárny striktní omezení, mohou být tvořeny větrnými, fotovoltaickými nebo malými vodními elektrárnami. Častými zdroji jsou také různé kogenerační a mikro-kogenerační jednotky. Součástí virtuální elektrárny mohou být dokonce různá úložiště energie, ovladatelné zátěže nebo baterie elektromobilů komunikujících s rozvodnou sítí. Rozšíření virtuálních elektráren bude závislé na rozvoji chytrých sítí. [83]

3.8.6.4 **Smart Grid (SG)**

Inteligentní síť (z angl. *Smart grid*) představuje zavedení komunikačních a informačních technologií do klasické elektrické sítě za účelem vytvoření komplexního systému. Koncept tzv. chytré sítě umožňuje správu a sledování toku energie, což zvyšuje efektivitu a bezpečnost dodávek elektřiny. Principem je oboustranná komunikace mezi jednotlivými částmi sítě pro optimalizaci výroby, distribuce a spotřeby elektrické energie v reálném čase. [85]

Výhodou zavedení chytrých sítí tak může být minimalizace rizik spojených s výpadky sítě. Monitorovací a regulační prvky v síti totiž mohou snadno rozpoznat anomálie a efektivním řízením toku energie vyrovnávat výkyvy spojené s náhlým zvýšením odběru elektrické energie. Pomocí konceptu inteligentních sítí lze předejít problémům, které můžou nastat v případě sítě napájené z menších decentralizovaných zdrojů, například solární nebo větrnou energií, které mají často proměnlivý charakter výroby elektrické energie v závislosti na aktuálních povětrnostních podmínkách. Chytré sítě také podporují propojení se soukromými mikroenergetickými systémy koncových spotřebitelů, což znamená, že se mohou aktivně podílet na stabilitě jejich komunitní distribuční sítě. [85]

Z hlediska elektromobility je zajímavým konceptem možnost propojení „Vehicle-to-Grid“ (V2G), což v překladu znamená propojení vozidla do sítě. Právě díky možnostem oboustranného toku energie v rámci inteligentní sítě, mohou se všechna vozidla připojená do sítě při špičkových odběrech chovat jako malý akumulační zdroj energie a zpětně poskytovat elektrickou energii ze své baterie a pomáhat tak vyrovnávat zatížení distribuční soustavy v tzv. výkonovém peaku. [83]

Výzvou pro inteligentní sítě je zajištění bezpečnosti a ochrana před kybernetickými hrozbami. V rámci konceptu Smart Grid je o všech prvcích v systému shromažďováno obrovské množství citlivých dat, jejichž únik a zneužití může být velkým bezpečnostním rizikem pro funkčnost a stabilitu distribuční soustavy. [85]

4 Praktická část práce

4.1 Návrh na pořízení elektrického vozidla

Vzhledem k rostoucímu zájmu o udržitelnou dopravu a snižování jejích dopadů na životní prostředí stále více lidí a organizací pořizuje elektromobily jako alternativu tradičních vozů pohaněných fosilními palivy. Tento trend se odráží i v autorově úvaze o pořízení nového vozu s ohledem na stáří a případnou výměnu aktuálně vlastněného vozidla za nové. V této kapitole budou analyzovány klíčové faktory, které by měly být zváženy při rozhodování o investici spojené s pořízením nového vozidla, zejména pořizovací a provozní náklady, celkové náklady na vlastnictví a potenciální návratnost investice.

4.2 Výběr vozidla

S ohledem na vlastněné vozidlo, kterým je vůz Škoda Octavia II. generace, osazený dieslovým agregátem 1.6 TDI CR z roku 2010, byl do rozhodování o pořízení nového vozidla vybrán plně elektrický vůz Volkswagen ID.3 Pro People 150kW 58 kWh. Velikostně je vybrané BEV se stávajícím vozidlem srovnatelné, což bylo pro výběr vozidla rozhodující. Bude tak možné, relevantní porovnání provozních parametrů.

4.2.1 Představení vozidel

- Škoda Octavia II 1.6 TDI CR (parametry vozu jsou uvedeny v Tab. 2), byla pořízena v květnu roku 2018 jako ojetý vůz s nájezdem 171 300 km za 150 000 Kč. Aktuální celkový stav ujetých km je 349 221 km a odhadovaná aktuální hodnota vozu je 80 000 Kč. Pro účely práce bude dále vozidlo označeno jako „vůz 1“.

Typ pohonu	spalovací motor (ICE) diesel
Motor	1.6 TDI CR
Objem motoru [cm^3]	1598
Točivý moment [Nm]	250
Výkon [kW]	77
Převodovka	5 st. - manuální
Objem nádrže [l]	55
Ø spotřeba paliva [l/100 km]	6,1
Hmotnost [kg]	1365
Průměrný roční nájezd [km]	29653,5

Tab. 2 – Škoda Octavia II

- Volkswagen ID.3 Pro People 150 kW, 58 kWh (pro účely práce dále jako vůz 2) by měl být pořízen za celkovou cenu 1 158 300,- Kč. Základní technické parametry jsou uvedeny v Tab. 3. Kalkulace ceny a rozpad na jednotlivé položky jsou vypsané v Tab. 4. Kvůli očekávanému vysokému ročnímu nájezdu kilometrů byla jako doplňková výbava zvolena položka prodloužená záruka na 5 let / 150 000 km a pro jednodušší určení očekávaných průměrných ročních nákladů na údržbu, byla zvolena příplatková výbava „Service Plus – 5let / 150.000 km.

Typ pohonu	elektromotor
Motor	1.6 TDI CR
Točivý moment [Nm]	310
Výkon [kW]	150
Kapacita baterie [kWh] - využitelná	62 58
Ø spotřeba el. energie [kWh/100 km]	15,05
Hmotnost [kg]	1849

Tab. 3 – VW ID.3 58 kWh | zdroj: [86]

Základní cena	1 061 900 Kč
Výbava celkem	96 400 Kč
Akční výbava People	0 Kč
Prodloužená záruka na 5 let / 150 000 km	20 800 Kč
Service Plus - 5 let / 150.000 km	75 600 Kč
Celkem	**1 158 300 Kč**

Tab. 4 – Kalkulace pořizovací ceny BEV VW ID.3 Pro People 150 kW, 58 kWh | zdroj: [86]

4.3 Posouzení vhodnosti investice

4.3.1 Spotřeba a ceny paliva / elektřiny

Pro výpočet nákladů na dopravu je nutné znát průměrné ceny 1 l PHM a 1 kW dobíjení. Podle serveru mbenzin.cz je průměrná cena nafty ve středočeském kraji 38, 62,- Kč za 1 l nafty a průměrná cena dobíjení neregistrovaného zákazníka pomocí AC nabíječky je 10,- Kč za dobití 1 kWh. Cena pro neregistrované zákazníky byla vybrána záměrně. Scénář totiž bude počítat s nejhorší variantou pro nabíjení. [87] [88]

Průměrné roční náklady pro vůz 1 se spočítají pomocí vzorce:

$$N_{DV1} = \frac{S_A}{100} * P_{PHM} * C_{V1} \quad (4.1)$$

Kde:

N_{DV1} – roční náklady na dopravu vozu 1[Kč]

S_A – průměrný roční nájezd [km]

P_{PHM} – průměrná cena 1 l nafty [Kč]

C_{V1} – průměrná spotřeba PHM vozu 1 na 100 km

Po dosazení do vzorce 4.1:

$$N_{D-V1} = \frac{29\,653{,}5}{100} * 38{,}62 * 6{,}1 \approx \mathbf{69\,858\ Kč}$$

Průměrné roční náklady pro vůz 2 se spočítají pomocí vzorce:

$$N_{DV2} = \frac{S_A}{100} * P_{ele} * C_{V2} \quad (4.2)$$

Kde:

N_{DV2} – roční náklady na dopravu vozu 2 [Kč]

S_A – průměrný roční nájezd [km]

P_{ele} – průměrná cena 1 kWh elektrické energie [Kč]

C_{V2} – průměrná spotřeba elektrické energie vozu [kWh/100 km]

Po dosazení do vzorce 4.2:

$$N_{DV2} = \frac{29\,653{,}5}{100} * 10 * 15{,}05 \approx \mathbf{44\,628\ Kč}$$

4.3.2 Roční průměrné náklady na servis a údržbu vozidel

Od doby pořízení vozu 1 v roce 2018 byl nucen majitel na pravidelný servis, údržbu vozidla a opravy poruch vynaložit celkovou přibližnou částku 132 000,- Kč.

$$N_{SV1} = \frac{N_{CS1}}{t_1} \quad (4.3)$$

Kde:

N_{SV1} – roční náklady na servis a údržbu vozu 1[Kč/rok]

N_{CS1} – celkové náklady na servis a údržbu vozu 1[Kč]

t_1 – doba vlastnictví vozu [roky]

Po dosazení do vzorce 4.3:

$$N_{SV1} = \frac{132\,000}{6} = \mathbf{22\,000\ Kč}$$

Pro vůz 2 jsou tyto náklady stanoveny celkovou cenou příplatkových položek 96 400 Kč na 5 let od chvíle případné koupě vozu 2 - viz Tab. 4. Roční náklady se spočítají obdobně.

$$N_{SV2} = \frac{N_{CS2}}{t_2} \qquad 4.4$$

Kde:

N_{SV2} – roční náklady na servis a údržbu vozu 2 [Kč/rok]

N_{CS2} – celkové náklady na servis a údržbu vozu 2 [Kč]

t_2 – doba, po kterou platí předplatné servisních úkonů [roky]

Po dosazení do vzorce 4.4:

$$N_{SV2} = \frac{98\,400}{5} = \mathbf{19\,280\ Kč}$$

4.3.3 Celkové roční provozní náklady

Celkové roční provozní náklady jsou součtem nákladů na čerpání PHM, respektive na dobíjení baterie elektromobilu, a ročních servisních nákladů:

Vůz 1

$$N_{CP1} = N_{DV1} + N_{SV1} \qquad 4.5$$

Kde

N_{CP1} – celkové provozní náklady vozu 1 [Kč/rok]

Po dosazení do vzorce 4.5

$$N_{CP1} = 69\,858 + 22\,000 = \mathbf{89\,858\ Kč}$$

Vůz 2

$$N_{CP2} = N_{DV2} + N_{SV2} \quad 4.6$$

Kde:

N_{CP2} – celkové provozní náklady vozu 2 [Kč/rok]

Po dosazení do vzorce 4.6

$$N_{CP2} = 44\,628 + 19\,280 = \mathbf{63\,908\ Kč}$$

4.3.4 Roční úspora nákladů

Roční úspora nákladů představuje rozdíl mezi výší provozních nákladů vozu 1 a provozních nákladů vozu 2. Pro ukazatel roční úspory nákladů existují 2 různé scénáře v závislosti na možnostech nabíjení elektromobilu. První scénář počítá s veřejným nabíjením na AC stanicích.

$$RU_1 = N_{CP1} - N_{CP2} \quad 4.7$$

Kde

RU_1 – roční úspora nákladů ve scénáři s AC nabíjením na veřejných stanicích [Kč/rok]

Po dosazení do vzorce 4.7:

$$RU_1 = 89\,858 - 63\,908 = \mathbf{25\,950\ Kč}$$

Ve druhém scénáři je zohledněna výhoda možnosti dobíjení v zaměstnání zcela zdarma. Zaměstnavatel eventuálního majitele provozuj e pro své zaměstnance parkovací dům, ve kterém nechal instalovat dostatek wallboxů. Jedinou podmínkou je vyřízení nabíjecí RFID karty. V takovém případě je možné ve výpočtu pro roční úsporu vynechat položku „roční náklady na dopravu vozu 2“ a počítat pouze s ročními servisními náklady.

$$RU_2 = N_{CP1} - N_{SV2} \quad 4.7$$

Kde

RU_2 – roční úspora nákladů ve scénáři s bezplatným nabíjením v zaměstnání. [Kč/rok]

Po dosazení do vzorce

$$RU_2 = 89\,858 - 19\,280 = \mathbf{70\,578\ Kč}$$

4.3.5 **Doba návratnosti investice:**

V případě rozhodování o pořízení nového BEV se prostá doba návratnosti investice spočítá pomocí celkové částky vynaložené na koupi nového vozu vydělených součtem uspořených nákladů a výnosem z prodeje původního automobilu. Ve scénáři s veřejným nabíjením je v roční úspora nižší, lze tedy očekávat delší dobu návratnosti.

$$T_{návratnosti} = \frac{INV - V_{přebytek}}{RU_1} \text{ [89]} \qquad 4.7$$

Kde:

$T_{návratnosti}$ – *doba návratnosti investice*

INV – investiční výdej na koupi vozu [Kč]

RU – roční úspora nákladů [Kč/rok]

$V_{přebytek}$ – *výnos z prodeje starého vozu*

Po dosazení do vzorce 4.7 s RU_1

$$T_{návratnosti} = \frac{1\,158\,300 - 80\,000}{25\,950} \approx \mathbf{41,6\ roku}$$

Ve scénáři pravidelného nabíjení v zaměstnání se však doba návratnosti znatelně zkrátí. Po dosazení do vzorce s RU_2.

$$T_{návratnosti} = \frac{INV - V_{přebytek}}{RU_1} \qquad 4.8$$

$$T_{návratnosti} = \frac{1\,158\,300 - 80\,000}{70\,758} = \mathbf{15,2\ roku}$$

4.4 Shrnutí praktické části práce

V projektu pořízení BEV se ukazuje, že i ve scénáři, kdy uživatel bude nabíjet svůj vůz na veřejných nabíječkách, může dosáhnout oproti provozování konvenčního vozidla zajímavých provozních úspor. Avšak pořizovací cena elektromobilu je velmi vysoká, a doba návratnosti investice je velmi dlouhá. Jak ale bylo zjištěno výraznějších úspor lze dosáhnout v případě, že má uživatel možnosti nabíjení v zaměstnání, zde již roční úspora 70 tis. Kč. I přes to je doba návratnosti investice velmi dlouhá, přibližně 15,2 roku. Prostá doba návratnosti spolu s pořizovací cenou elektromobilu a nízkou zbytkovou hodnotou starého vozu, které také dobu návratnosti ovlivňují, jsou hlavními ekonomickými důvodu pro doporučení od koupi nového BEV ustoupit i přes nesporné provozní výhody pro uživatele. Výsledek tohoto případu, který je v České republice běžný (průměrné stáří vozu v ČR je 16 let), není z hlediska elektromobility a jejího přijmutí širší veřejností příliš příznivý. [90]

V současné době tedy nezbývá než čekat na budoucí nabídky automobilek s přístupnějšími modely BEV při zachování třídy vozidla v porovnání s konvenčními automobily, což by mohlo mít z hlediska elektromobility vliv na blízké okolí budoucích provozovatelů BEV, tedy pomoci šířit povědomí o elektromobilitě a jejích přínosech pro společnost a pro ŽP, bez použití legislativních, nebo jiných „vynucovacích“ nástrojů. Jak je známo, nejlepší reklamou je doporučení.

5 Závěr

Bakalářská práce ve svém obsahu řeší zhodnocení připravenosti infrastruktury České republiky pro přechod k elektromobilitě v kontextu individuální automobilové dopravy. Hlavním cílem bylo poskytnout detailní přehled aktuálních trendů v energetice a dopravě, zejména v oblasti rozšiřování elektromobility, a analyzovat stávající i budoucí možný rozvoj infrastruktury pro dobíjení elektromobilů. Práce byla založena na podrobném studiu a analýze odborných zdrojů, které poskytují teoretický základ pro pochopení problematiky elektromobility, včetně definicí klíčových pojmů, historie vývoje, současných trendů a predikcí budoucího vývoje. Práce se zabývá pečlivým popisem druhů elektromobilů v České republice a požívaných baterií.

Důkladně se tato práce zabývá popisem a analýzou současné i budoucí nabíjecí a energetické infrastruktury, které jsou nezbytné pro podporu rozvoje elektromobility. Byly představeny také inovativní trendy a technologie, které mohou výrazně přispět k efektivitě a udržitelnosti nejen v dopravě, ale i v energetice a dalších odvětvích v budoucnosti.

Z analýzy vyplývá, že v rámci připravenosti infrastruktury Česká republika stojí před řadou výzev spojených s přechodem na elektromobilitu. Mezi ně patří nedostatečná nabíjecí městská síť stanic v případě skokového navýšení počtu EV a také vysoké počáteční investiční náklady na pořízení elektromobilu. Největším rizikem jak ze sociálního, tak i z ekonomického hlediska jsou však pomalé rozhodovací schopnosti v otázkách dalšího směřování české energetiky s ohledem na blížící se termíny plnění závazků klimatických dohod. Navzdory těmto výzvám však vývoj v oblasti elektromobility nabízí i významné příležitosti nejen v oblasti dopravy, ale také v energetickém sektoru, a sektoru životního prostředí, které spolu velmi úzce souvisí. Paradoxně právě ony mohou být v brzké budoucnosti, se správným přístupem, hybným mechanismem transformace energetiky a rozvoje udržitelných technologií, které pomohou České republice bezpečně projít trnitou cestu ke klimatické neutralitě.

V praktické části byl zpracován projekt návrhu na pořízení bateriového elektrického vozidla (BEV) s analýzou vhodnosti investice. Tato analýza zahrnovala porovnání nejdůležitějších aspektů provozu elektrického vozidla a konvenčního vozidla se spalovacím motorem. Aspektů, které ovlivňují rozhodnutí o koupi nového vozidla, jako jsou spotřeba a ceny PHM/elektřiny, roční náklady na servis a údržbu a roční provozní náklady, které mají přímý vliv na dobu návratnosti investice. Při zpracování projektu byly zjištěny nesporné ekonomické výhody provozu EV. Ty jsou dány specifickými podmínkami, jako jsou možnosti nabíjení, nabíjení pouze na AC stanicích, nebo bezplatné nabíjení u zaměstnavatele, což ale zatím není dosažitelné pro každého obyvatele České republiky. I přes z dlouhodobého hlediska ekonomické prospěchy, jako jsou roční úspory z provozu BEV, je pořizovací cena EV stále velkou vstupní překážkou do světa elektromobility.

Vzhledem ke zjištěným výsledkům a aktuální situaci se v následujících letech doporučuje klást důraz na další rozvoj infrastruktury pro dobíjení elektromobilů i v odlehlejších

částech republiky. Je důležité se zaměřit na zvýšení kapacity veřejných nabíjecích stanic a podporu instalace domácích nabíječek, což může významně zlepšit přístupnost a pohodlí uživatelů elektromobilů. Současně je nutné pokračovat v podpoře výzkumu a vývoje v oblasti baterií a nabíjecí technologie, aby bylo možné zvýšit dojezd elektromobilů a snížit dobu potřebnou k nabíjení. Nejdůležitějším cílem v následujících 10 letech však bude plynulý odklon od výroby elektrické energie spalováním fosilií a přechod k obnovitelným zdrojům energie při zachování energetické bezpečnosti, přiměřenosti a soběstačnosti.

Závěrem lze konstatovat, že přechod k elektromobilitě a k OZE v České republice je nejen nezbytným krokem k dosažení udržitelné dopravy a snížení emisí skleníkových plynů, ale také představuje řadu ekonomických a sociálních příležitostí.

6 Seznam použitých zdrojů

[1] BUEKERS, Jurgen; VAN HOLDERBEKE, Mirja; BIERKENS, Johan a INT PANIS, Luc. Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. Online. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2014, roč. 33, s. 26-38. ISSN 13619209. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.09.002. [cit. 2024-03-28].

[2] KRČÁL, Jan; OTÝPKOVÁ, Laura a KOLOUCHOVÁ, Kateřina. *Rozvoj obnovitelené energie v Česku do roku 2030*. Online. In: Fakta o klimatu. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/assets-local/publications/2023-rozvoj-obnovitelne-energie-v-cesku-do-2030.pdf. [cit. 2024-03-27].

[3] KASHPI.CZ - HTTP://KASHPI.CZ. *Elektromobilita*. Online. Snižujeme.cz. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20131227101825/http://www.snizujeme.cz/slovnik/elektromobilita. [cit. 2024-03-06].

[4] KREMS, Josef F. a KREISSIG, Isabel. Electromobility: History, Definitions and an Overview of Psychological Research on a Sustainable Mobility System. In: *International Encyclopedia of Transportation*. Elsevier, 2021, s. 182-186. ISBN 9780081026724. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10684-0.

[5] CHINORACKY, Roman; STALMASEKOVA, Natalia a COREJOVA, Tatiana. Trends in the Field of Electromobility—From the Perspective of Market Characteristics and Value-Added Services: Literature Review. Online. *Energies*. 2022, roč. 15, č. 17. ISSN 1996-1073. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/en15176144. [cit. 2024-03-05].

[6] DENTON, Tom a PELLS, Hayley. *Electric and Hybrid Vehicles*. Third edition. Abingdon, Oxon: Routledge, 2024. ISBN 978-1-032-55680-2.

[7] ZVĚŘINOVÁ, Iva; ŠČASNÝ, Milan; MARTÍNKOVÁ, Zuzana a MÁCA, Vojtěch. *Rozvoj trhu s elektromobily v České republice: veřejná podpora a zkušenosti ze zahraničí*. Online. TZB-info. Dostupné z: https://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/19010-rozvoj-trhu-s-elektromobily-v-ceske-republice-verejna-podpora-a-zkusenosti-ze-zahranici. [cit. 2024-03-06].

[8] AUTOR, Nenalezený. *Zelená dohoda pro Evropu*. Online. Evropská komise. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs. [cit. 2024-03-06].

[9] AUTOR, Nenalezený. *Realizace Zelené dohody pro Evropu*. Online. Evropská komise. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs. [cit. 2024-03-06].

[10] BERGMANN, Petr. *Co je to elektromobil, jak funguje a jaké jsou typy nabíjení?* Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/co-je-to-elektromobil-jak-funguje-a-jake-jsou-typy-nabijeni. [cit. 2024-03-06].

[11] AUTOR, Nenalezený. *Druhy elektromobilů – znáte je všechny?* Online. Škoda Storyboard. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/druhy-elektromobilu-znate-je-vsechny/. [cit. 2024-03-06].

[12] DENTON, Tom. *Electric and hybrid vehicles*. Abingdon, Oxon: Routledge, 2016. ISBN 978-1-138-84237-3.

[13] HEYMANN, Eric; KOPPEL, Oliver a PULS, Thomas. *Evolution statt Revolution – die Zukunft der Elektromobilität*. Köln: IW Medien, 2013. ISBN 978-3-602-45524-9. Dostupné také z: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/IW-Analysen/PDF/Bd._84_Evolution.pdf.

[14] DELL, Ronald M.; MOSELEY, Patrick T. a RAND, David A. J. Progressive Electrification of Road Vehicles. In: *Towards Sustainable Road Transport*. Elsevier, 2014, s. 157-184. ISBN 978-012-4046-160. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/C2011-0-07556-7.

[15] DELL, Ronald M.; MOSELEY, Patrick T. a RAND, David A. J. Hydrogen, Fuel Cells and Fuel Cell Vehicles. In: *Towards Sustainable Road Transport*. Elsevier, 2014, s. 283-291. ISBN 978-012-4046-160. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/C2011-0-07556-7.

[16] *Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM*. Online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/. [cit. 2024-03-21].

[17] *Registrace nových osobních vozidel v EU*. Online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/registrace-novych-osobnich-vozidel-v-eu/. [cit. 2024-03-21].

[18] , Pracovní tým ZL 17 aktualizovaného NAP SG. *Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045*. EuroEnergy, spol., 2021. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2022/2/Elektromobilita_predikce-do-2045.pdf. [cit. 2024-03-22].

[19] *Zákaz prodeje nových benzinových a naftových aut v EU od roku 2035: Co to znamená v praxi?* Online. Evropský parlament. Dostupné z: https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20221019STO44572/zakaz-prodeje-novych-benzinovych-a-naftovych-aut-od-roku-2035. [cit. 2024-03-22].

[20] BROWN, Rich (ed.). *The top pros and cons of electric cars*. Online. EnergySage. Dostupné z: https://www.energysage.com/electric-vehicles/pros-and-cons-electric-cars/. [cit. 2024-03-06].

[21] SRB, Luboš. *10 největších výhod u elektromobilů. Proč dát sbohem spalovacím autům?* Online. Nenalezený vydavatel. 23.3.2023. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/elektromobily-vyhody-prehled-2023. [cit. 2024-03-06].

[22] *Co je to rekuperační brzdění?* Online. In: Auta.cz. Dostupné z: https://www.auta.cz/clanek/co-je-to-rekuperacnii-brzdeni/. [cit. 2024-03-20].

[23] *Jak brzdí elektromobil aneb co je rekuperace*. Online. In: Enkidoo.cz. Dostupné z: https://www.enkidoo.cz/clanky/jak-brzdi-elektromobil-aneb-co-je-rekuperace. [cit. 2024-03-20].

[24] G, Darshan Gowda S; DHARAWADMATH, Shivarudrayya I; R, Ullas H; D, Yogendra; K, Sushma et al. Advancements and Challenges in Electromobility: A Comprehensive Review. Online. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023, roč. 11, č. 12, s. 1050-1056. ISSN 23219653. Dostupné z: https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57516. [cit. 2024-03-05].

[25] S.R.O., 24net. *Škoda Enyaq (2020)*. Online. FDrive.cz. Dostupné z: https://fdrive.cz/katalog/skoda-enyaq-2020/specifikace/80-iv. [cit. 2024-03-06].

[26] X-ENGINEER.ORG. *What is a battery electric vehicle (BEV)*. Online. X-engineer.org. Dostupné z: https://x-engineer.org/battery-electric-vehicle-bev/. [cit. 2024-03-06].

[27] VALÁŠEK, Dominik. *Srovnání energetické ztráty elektromobilů a běžných aut*. Online. In: Garáž.cz. Dostupné z: https://www.garaz.cz/clanek/srovnani-energeticke-ztraty-elektromobilu-a-beznych-aut-21000070. [cit. 2024-03-06].

[28] SRB, Luboš. *5 největších NEvýhod u elektromobilů. V čem mají odpůrci pravdu?* Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://elektrickevozy.cz/clanky/elektromobily-nevyhody-prehled-2023. [cit. 2024-03-06].

[29] JIŘÍ, Tichý. *Lithiové akumulátory*. Online. In: TZB-info. 2019. Dostupné z: https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory. [cit. 2024-03-07].

[30] *Elektromobily, jejich baterie a jak nabíjet*. Online. EVEXPERT. Dostupné z: https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie. [cit. 2024-03-07].

[31] RUČKA, Jiří. *Obecné informace o bateriích*. Online. In: Battery Charger CZ. Dostupné z: https://www.bch-battery.cz/BATERIE-INFORMACE-a11_0.htm. [cit. 2024-03-07].

[32] EVERGREEN, Shel. *Lithium costs a lot of money, so why aren't we recycling lithium batteries?* Online. In: Ars Technica. Dostupné z: https://arstechnica.com/science/2022/04/lithium-costs-a-lot-of-money-so-why-arent-we-recycling-lithium-batteries/. [cit. 2024-03-07].

[33] BOLAKHE, Saugat; ROSEN, Meghan; BRADSHAW, Helen; PRILLAMAN, Mckenzie; BOLAKHE, Saugat et al. Bigger, Cheaper, Safer Batteries: New material charges up lithium-ion battery work. Online. *Science News*. 2002, č. 13. Dostupné z: https://www.sciencenews.org/article/bigger-cheaper-safer-batteries-new-material-charges-lithium-ion-battery-work. [cit. 2024-03-07].

[34] REVATHY, R.; VISVESWAR, J. a SENGODAN, T. Investigation on Battery for Electric Vehicle Application. Online. *ITM Web of Conferences*. 2022, roč. 50. ISSN 2271-2097. Dostupné z: https://doi.org/10.1051/itmconf/20225003003. [cit. 2024-03-07].

[35] BABORSKÝ, Jiří. *Škoda Eltra 151 L: Elektrický Favorit měl čtystupňovou převodovku*. Online. In: Auto.cz. Dostupné z: https://www.auto.cz/skoda-eltra-151-l-elektricky-favorit-mel-ctystupnovou-prevodovku-134442. [cit. 2024-03-15].

[36] PECÁK, Radek. *Nejpomalejší Škoda Favorit jezdila na elektřinu. A vyráběli ji u Plzně*. Online. In: Deník.cz. Dostupné z: https://www.denik.cz/auto/nejpomalejsi-skoda-favorit-jezdila-na-elektrinu-a-vyrabeli-ji-u-plzne-20210509.html. [cit. 2024-03-15].

[37] SZUMSKA, Emilia M. Electric Vehicle Charging Infrastructure along Highways in the EU. Online. *Energies*. 2023, roč. 16, č. 2. ISSN 1996-1073. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/en16020895. [cit. 2024-03-07].

[38] CAISL, Petr. *Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu – část I., typy nabíjení*. Online. In: TZB-info. Dostupné z: https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-i. [cit. 2024-03-26].

[39] *Co vás zajímá o elektromobilitěFAQ*. Online. In: COM Electric. Dostupné z: https://www.comelectric.cz/o-elektromobilite/. [cit. 2024-03-20].

[40] SYNEK, Jiří. *Nabíječky elektromobilů a jejich vysvětlení*. Online. In: TSG | Technical Services and Solutions. Dostupné z: https://www.tsg-solutions.com/cz/nabijecky-elektromobilu/. [cit. 2024-03-07].

[41] FALCHETTA, Giacomo a NOUSSAN, Michel. Electric vehicle charging network in Europe: An accessibility and deployment trends analysis. Online. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021, roč. 94. ISSN 13619209. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102813. [cit. 2024-03-07].

[42] *Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět*. Online. In: Hybrid.cz - Elektromobily, hybridy, Tesla, Volkswagen, Škoda, auto, vytápění. Dostupné z: https://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-nenaletet/. [cit. 2024-03-07].

[43] *Co je to wallbox a v čem je lepší než obyčejná zásuvka*. Online. Genius FVE. Dostupné z: https://geniusfve.cz/2022/02/06/co-je-to-wallbox-a-v-cem-je-lepsi-nez-obycejna-zasuvka/. [cit. 2024-03-07].

[44] MÁRA, Ondřej. *Wallboxy a jejich možnosti: K čemu jsou vlastně dobré?* Online. In: Auto.cz. Dostupné z: https://www.auto.cz/wallboxy-a-jejich-moznosti-k-cemu-jsou-vlastne-dobre-131012. [cit. 2024-03-07].

[45] HORA, Michal. *Vyznejte se v nabíjení elektromobilů*. Online. In: Škoda Storyboard. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/vyznejte-se-v-nabijeni-elektromobilu/. [cit. 2024-03-09].

[46] BLUESKY. *Typy nabíjecích konektorů EV*. Online. In: Bluesky. Dostupné z: https://blueskynewenergy.com/ev-charging-connector-types/. [cit. 2024-03-15].

[47] GOLDBERG, Lee. *An Introduction to the SAE J1772 and CCS EV Charging Interfaces*. Online. In: Electronic Design. Dostupné z: https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21267879/electronic-design-an-introduction-to-the-sae-j1772-and-ccs-ev-charging-interfaces. [cit. 2024-03-12].

[48] AUTOR, Nenalezený. *Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě*. Online. In: Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete. [cit. 2024-03-12].

[49] MÁRA, Ondřej. *Elektromobily a jejich nabíjení: Znáte nejčastější typy nabíječek a konektorů?* Online. In: Auto.cz. Dostupné z: https://www.auto.cz/elektromobily-a-jejich-nabijeni-znate-nejcastejsi-typy-nabijecek-a-konektoru-130851. [cit. 2024-03-13].

[50] *Rozdíl mezi NACS a CCS*. Online. In: ZDWL EV Charger. Dostupné z: https://zdwl-tec.com/cs/news/the-difference-between-nacs-and-ccs/. [cit. 2024-03-15].

[51] AUTONABIJENI.CZ. *Nabíjecí kabel DC CCS Typ 2*. Online. In: Autonabijeni.cz. Dostupné z: https://www.autonabijeni.cz/ccs-typ-2/nabijeci-kabel-dc-ccs-typ-2/. [cit. 2024-03-15].

[52] RIVERA, Sebastian; KOURO, Samir; VAZQUEZ, Sergio; GOETZ, Stefan M.; LIZANA, Ricardo et al. Electric Vehicle Charging Infrastructure: From Grid to Battery. Online. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2021, roč. 15, č. 2, s. 37-51. ISSN 1932-4529. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3039039. [cit. 2024-03-13].

[53] MIDA.COM. *125A 200A Chademo Plug Rychlá EV nabíječka Zástrčky DC nabíjecí konektor*. Online. In: MIDA: //www.midaevse.com. Dostupné z: https://midaevse.com:443/fast-ev-charger-plugs-chademo-dc-connector-with-cable-product/. [cit. 2024-03-15].

[54] PULTZNER, Martin. *Tesla už kvůli evropskému Modelu 3 osazuje české Superchargery konektorem CCS*. Online. In: FDrive.cz. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/tesla-uz-kvuli-evropskemu-modelu-3-osazuje-ceske-superchargery-konektorem-ccs-3517. [cit. 2024-03-15].

[55] LÖBL, Vladimír. *Tesla dobije Ameriku. Její konektor tam povládne, v Evropě je bez šancí*. Online. In: IDNES.cz. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/tesla-konektor-nabijeni.A230704_100834_automoto_fdv. [cit. 2024-03-15].

[56] JIA, Qing-Shan a LONG, Teng. A review on charging behavior of electric vehicles: data, model, and control. Online. *Control Theory and Technology*. 2020, roč. 18, č. 3, s. 217-230. ISSN 2095-6983. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s11768-020-0048-8. [cit. 2024-03-17].

[57] *EV-GBM3C-1AC32A-5,0M6,0ESOC00 - Nabíjecí kabel AC 1621475*. Online. In: Phoenix Contact. Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/cs-cz/produkty/nabijeci-kabel-ac-ev-gbm3c-1ac32a-50m60esoc00-1621475. [cit. 2024-03-17].

[58] *Typ nabíjení EV*. Online. In: ZDWL EV Charger. Dostupné z: https://zdwl-tec.com/cs/news/ev-charging-type/. [cit. 2024-03-17].

[59] *Chinese 60kW 250A GB/T Connector GBT DC Charging Gun for EV Fast Charger Station*. Online. In: Https: //www.evsegroup.com. Dostupné z: https://www.evsegroup.com/chinese-60kw-250a-gbt-plug-gbt-dc-charging-gun-for-ev-fast-charger-station-product/. [cit. 2024-03-17].

[60] *Veřejné dobíjecí stanice v ČR*. Online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/stanice-ceska-republika/. [cit. 2024-03-23].

[61] *Veřejné dobíjecí body v EU*. Online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/verejne-dobijeci-body-v-eu/. [cit. 2024-03-23].

[62] HAVLÍN, Roman. *Elektromobilita v Česku je na vzestupu. Máme zde přes 22 tisíc elektromobilů*. Online. In: FDrive.cz. Dostupné z: https://fdrive.cz/clanky/elektromobilita-v-cesku-je-na-vzestupu-mame-zde-pres-22-tisic-elektromobilu-11928. [cit. 2024-03-24].

[63] *Optimalizace veřejné dobíjecí infrastruktury v ČR*. Online. In: Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://www.cdvgis.cz/~kubecek/ags/dobijecky/index.html. [cit. 2024-03-23].

[64] ZACH, Daniel. *Za čtyři roky až 40 tisíc dobíjecích stojanů? Pomoct má šestimiliardová investice*. Online. In: Zelená vlna. Dostupné z: https://zelenavlna.rozhlas.cz/za-ctyri-roky-az-40-tisic-dobijecich-stojanu-pomoct-ma-sestimiliardova-investice-9053624. [cit. 2024-03-24].

[65] *Optimalizace veřejné dobíjecí infrastruktury v ČR*. Online. In: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. Dostupné z: https://www.cistadoprava.cz/mapy/ev/. [cit. 2024-03-24].

[66] ČAPKOVÁ, Tereza. *Stát pošle miliardy do rozvoje dobíjecí infrastruktury pro elektromobily. Výstavbu urychlí i zákon*. Online. In: Ekonomický deník. Dostupné z:

https://ekonomickydenik.cz/stovky-milionu-na-rozvoj-dobijeci-infrastruktury-pro-elektromobily-cesko-se-snazi-naplnit-plany-evropske-unie/. [cit. 2024-03-24].

[67] MARTIN, Jánský. *Elektromobilita je v ČR na vzestupu: Více elektroaut, více nabíječek a levnější dobíjení*. Online. In: Garáž.cz. Dostupné z: https://www.garaz.cz/clanek/novinky-elektromobilita-je-v-cr-na-vzestupu-vice-elektroaut-vice-nabijecek-a-levnejsi-dobijeni-21011863. [cit. 2024-03-24].

[68] FAJKUS, Zdeněk. *Místo zdlouhavého nabíjení se vrací systém výměny baterií elektromobilů – tentokrát v expresním provedení!*. Online. In: Tentokrát v expresním provedení! | EfektivníÚspory.cz. Dostupné z: https://efektivniuspory.cz/misto-zdlouhaveho-nabijeni-se-vraci-system-vymeny-baterii-elektromobilu-tentokrat-v-expresnim-provedeni/. [cit. 2024-03-24].

[69] NÝVLT, Václav. *Plná baterie za pět minut. Čínské NIO už má v Evropě výměnnou stanici*. Online. In: IDNES.cz. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/nio-vymena-akumulatoru-swapping-station.A221124_101212_automoto_nyv. [cit. 2024-03-28].

[70] TUDORACHE, Tiberiu; MARINESCU, Andrei a DUMBRAVA, Ionel. On-road Charging System Demonstrator for EVs. Online. *2019 Electric Vehicles International Conference (EV)*. 2019, s. 1-4. ISBN 978-1-7281-0791-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/EV.2019.8892887. [cit. 2024-03-24].

[71] LAŽANSKÝ, Milan. *Švédsko za dva roky otevře první silnici s dobíjením za jízdy*. Online. In: Novinky. Dostupné z: https://www.novinky.cz/clanek/auto-svedsko-za-dva-roky-otevre-prvni-silnici-s-dobijenim-za-jizdy-40430935. [cit. 2024-03-28].

[72] MATĚJŮ, Dalibor. *Energetika – vybrané pojmy (I)*. Online. In: TZB-info. Dostupné z: https://energetika.tzb-info.cz/9668-energetika-vybrane-pojmy-i. [cit. 2024-03-17].

[73] *Co je to primární energie?* Online. In: Protherm. Dostupné z: http://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/technicka-podpora/slovnicek-pojmu/primarni-energie-2117128.html. [cit. 2024-03-17].

[74] *Live 24/7 CO_2 emissions of electricity consumption*. Online. Emise CO_2 ze spotřeby elektřiny v reálném čase. Dostupné z: http://electricitymap.tmrow.co. [cit. 2024-03-25].

[75] *Zbytkový energetický mix*. Online. In: OTE, a.s. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/zbytkovy-energeticky-mix. [cit. 2024-03-19].

[76] NOVOTNÁ PERLÍNOVÁ, Anna. *Energetická bezpečnost ČR*. Online. In: Svaz průmyslu a dopravy České Republiky. Dostupné z: https://www.spcr.cz/aktivity/z-hospodarske-politiky/15181-energeticka-bezpecnost-cr. [cit. 2024-03-25].

[77] MICHL, Tomáš V. *MPO předložilo aktualizovanou Státní energetickou koncepci ČR do roku 2050: BYZNYS NOVINY*. Online. In: BUSINESS DAILY NEWS: BYZNYS NOVINY. Dostupné

z: https://www.byznysnoviny.cz/2024/02/12/mpo-predlozilo-aktualizovanou-statni-energetickou-koncepci-cr-do-roku-2050/. [cit. 2024-03-25].

[78] *Aktualizace Státní energetické koncepce (SEK)*. Online. In: Ministerstvo Průmyslu a Obchodu. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/aktualizace-statni-energeticke-koncepce-sek--279668/. [cit. 2024-03-25].

[79] KRČÁL, Jan, LNĚNIČKA, Jiří (ed.). *I. Jaké cesty mohou dovést Česko k bezemisní elektřině?* Online. In: Fakta o klimatu. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/explainery/bezemisni-energetika-cr-1-scenare. [cit. 2024-03-25].

[80] CENGIZ, Enes; YILMAZ, Cemal; YILMAZ, Ercan Nurcan a TOLGA KAHRAMAN, Hamdi. Importance of Power Flow and Load Analysis in Pre-Installation Power Systems. Online. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*. 2019, s. 1-4. ISBN 978-1-7281-3789-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2019.8932900. [cit. 2024-03-27].

[81] *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR pro rok 2022*. Online. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Eru.cz. Dostupné z: https://eru.gov.cz/rocni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2022. [cit. 2024-03-26].

[82] VOPAVA, Julia; KOCZWARA, Christian; TRAUPMANN, Anna a KIENBERGER, Thomas. Investigating the Impact of E-Mobility on the Electrical Power Grid Using a Simplified Grid Modelling Approach. Online. *Energies*. 2020, roč. 13, č. 1. ISSN 1996-1073. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/en13010039. [cit. 2024-03-27].

[83] *Energetika zblízka: Decentralizovaná energetika*. Online. Svět energie.cz. Dostupné z: https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/decentralizovana-energetika. [cit. 2024-03-28].

[84] ZENKNER, Petr. *Budoucnost energetiky je v decentralizaci. Domácnosti, které si samy vyrábí elektřinu, budou schopné pokrýt až polovinu veškeré spotřeby*. Online. In: Hospodářské noviny (HN.cz). Dostupné z: https://hn.cz/c1-66555670-decentralizace-je-technicky-problem-i-obchodni-prilezitost. [cit. 2024-03-28].

[85] ABDALLAH, Asmaa a SHEN, Xuemin. Smart Grid Technology. Online. In: *Security and Privacy in Smart Grid*. SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2018, s. 7-25. ISBN 978-3-319-93676-5. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93677-2_2. [cit. 2024-03-28].

[86] *Ceník, Technická data*. Online. In: VOLKSWAGEN. Dostupné z: https://cf-cdn-v6.volkswagen.at/media/Kwc_Basic_DownloadTag_Component/82571-paragraphs-1188599-text-d36/default/02704e3e/1707484970/2024-02-id-3-fl-people.pdf. [cit. 2024-03-31].

[87] MOBILDRIVE.CZ. *Aktuální průměrné ceny pohonných hmot v ČR*. Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://www.mbenzin.cz/Prumerne-ceny-benzinu. [cit. 2024-03-31].

[88] *Ceník, smlouvy a OPD*. Online. Electromobilita new. Dostupné z: https://futurego.cz/cs/verejne-dobijeni/cenik. [cit. 2024-03-31].

[89] PETRTYL, Jan. *Hodnocení přínosů zateplení 2: doba návratnosti*. Online. In: Projekty INKAPO. Dostupné z: https://www.projekty-inkapo.cz/doba-navratnosti/. [cit. 2024-03-31].

[90] MINKSOVÁ, Barbora. *Průměrné stáří auta v Česku už překonalo 16 let, od covidu stárne vozový park rychleji*. Online. In: Cebia.cz. Dostupné z: https://www.cebia.cz/novinky/tiskove-zpravy/prumerne-stari-auta-v-cesku-uz-prekonalo-16-let-od-covidu-starne-vozovy-park-rychleji. [cit. 2024-03-31].