

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Využití dopravních dat pro podporu carsharingu
a elektromobility**

PŘÍLOHA B

Nabíjení elektromobilů a jeho dopady na distribuční síť

Autor práce: Ing. Bc. Daniel Drnec

Vedoucí práce: Ing. Alexandra Dvořáčková, Ph.D.

2023

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah..... | 1 |
| 1 Technologie nabíjení elektromobilů | 2 |
| 1.1 Dělení nabíjení dle normy ČSN EN IEC 61851-1 | 2 |
| 1.2 Komponenty systému nabíjení | 4 |
| 1.3 Nabíjecí infrastruktura v České republice | 6 |
| 1.4 Vehicle-to-grid..... | 8 |
| 1.5 Bezdrátové a jiné nekonvenční způsoby nabíjení..... | 10 |
| 2 Dopady rozvoje elektromobility na distribuční síť | 13 |
| 2.1 Studie „Predikce vývoje elektromobility v ČR“..... | 13 |
| 2.2 Studie „Dopad elektromobility do DS ČR“ | 18 |
| 2.3 Studie „Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045“ | 20 |
| 2.4 Zkušenosti s provozem nabíjecího hubu Vulkan v Oslu | 25 |
| Zdroje | 27 |
| Seznam zkratek | 32 |
| Seznam obrázků | 34 |
| Seznam tabulek | 34 |
| Seznam grafů..... | 35 |

1 Technologie nabíjení elektromobilů

Nabíjením elektromobilů se zabývá norma ČSN EN IEC 61851, která má několik částí. Část zabývající se detailnějším dělením způsobů nabíjení je popsána v následující podkapitole. V dalších podkapitolách jsou pak popsány komponenty systému nabíjení, stav nabíjecí infrastruktury v České republice, technologie Vehicle-to-grid a nekonvenční způsoby nabíjení.

1.1 Dělení nabíjení dle normy ČSN EN IEC 61851-1

Norma rozlišuje čtyři režimy nabíjení, z nichž tři jsou AC a jeden DC.

Režim nabíjení 1 je způsob připojení vozidla k normalizované AC zásuvce s použitím kabelu a vidlice, které nejsou vybaveny žádným doplňkovým řídicím nebo pomocným kontaktem. Vidlice musí být vybavena ochranným zemnicím vodičem. Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit 16 A a 250 V AC v případě jedné fáze a 16 A a 480 V AC v případě tří fází. V některých zemích není tento režim povolený (např. USA). [52]

Příkladem nabíjecího režimu 1 je nabíjení z klasické domovní zásuvky s využitím jednoduchého kabelu bez jakéhokoliv monitorovacího zařízení. Kabel tedy není nijak hlídán a hrozí například jeho přehřátí. [53]

Režim nabíjení 2 je způsob připojení vozidla k normalizované AC zásuvce s použitím kabelu a vidlice, jehož součástí je zařízení s funkcí řídicího signálu a systémem ochrany osob před úrazem elektrickým proudem mezi normalizovanou vidlicí a vozidlem. Vidlice musí být vybavena ochranným zemnicím vodičem. Jmenovité hodnoty proudu a napětí nesmí překročit 32 A a 250 V AC v případě jedné fáze a 32 A a 480 V AC v případě tří fází. [52]

Příkladem nabíjecího režimu 2 je nabíjení z klasické domovní zásuvky s využitím přenosné nabíječky, což je napájecí kabel s monitorovacím zařízením. Díky tomuto zařízení nehrozí přehřátí a je tedy bezpečnější, nezabrání však případnému vypnutí hlavního jističe domu v důsledku přetížení vlivem velkého odběru proudu domácími spotřebiči a nabíjeným vozidlem. [53]

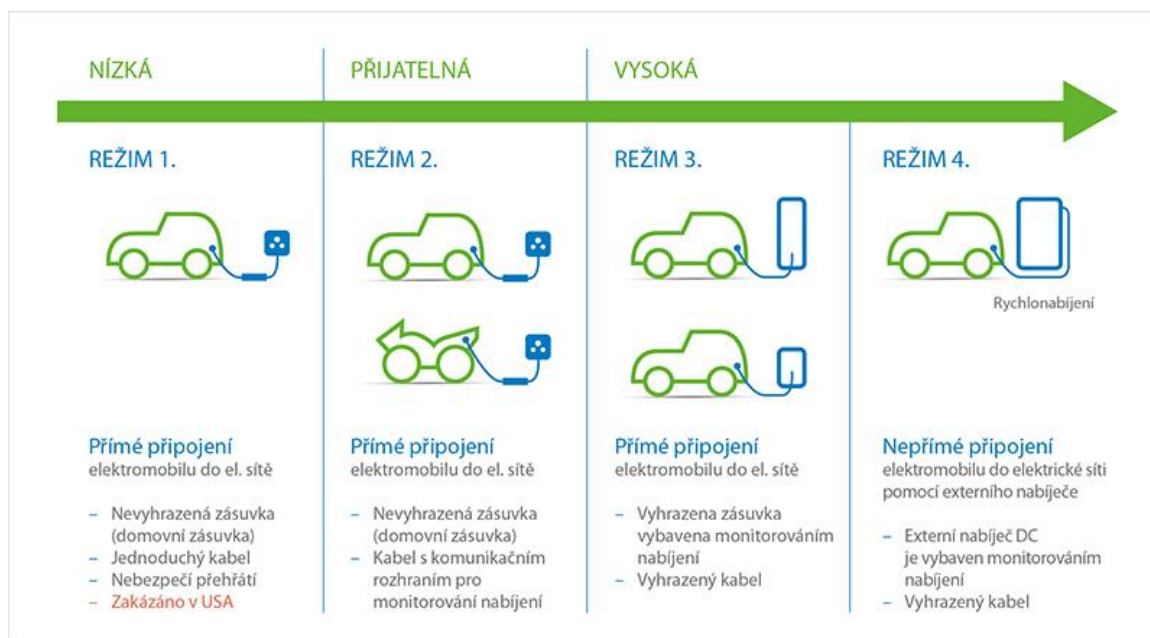
Režim nabíjení 3 je způsob připojení vozidla k AC nabíjecí stanici trvale připojené k AC napájecí síti, kdy tato nabíjecí stanice má funkci řídicího signálu přenášeného do vozidla. Nabíjecí zařízení musí mít vodič ochranného uzemnění nebo ochranný vodič (na rozhraní připojení k vozidlu). [52]

Režim nabíjení 4 je způsob připojení vozidla k DC nabíjecí stanici připojené k AC nebo DC síti (trvale, nebo pomocí kabelu a vidlice), kdy tato nabíjecí stanice má funkci řídicího signálu přenášeného do vozidla. Nabíjecí zařízení musí mít vodič ochranného uzemnění nebo ochranný vodič (na rozhraní připojení k vozidlu). [52]

Příkladem nabíjecího režimu 3 je wallbox, který je schopen upravit aktuální nabíjecí výkon (a tedy odebíraný proud) tak, aby nedošlo k přetížení sítě a vypnutí jističe. Příkladem nabíjecího režimu 4 jsou pak rychlonabíjecí stanice. [53]

V režimech nabíjení 2, 3 a 4 musí řídicí mít signál nabíjecího zařízení následující funkce [52]:

- nepřetržitá kontrola ochranného vodiče
- ověření správného připojení vozidla k napájecímu zařízení
- ovládání napájení vozidla z napájecího zdroje
- bezpečnostní odpojení vozidla od napájecího zdroje
- zjišťování maximálního přípustného proudu

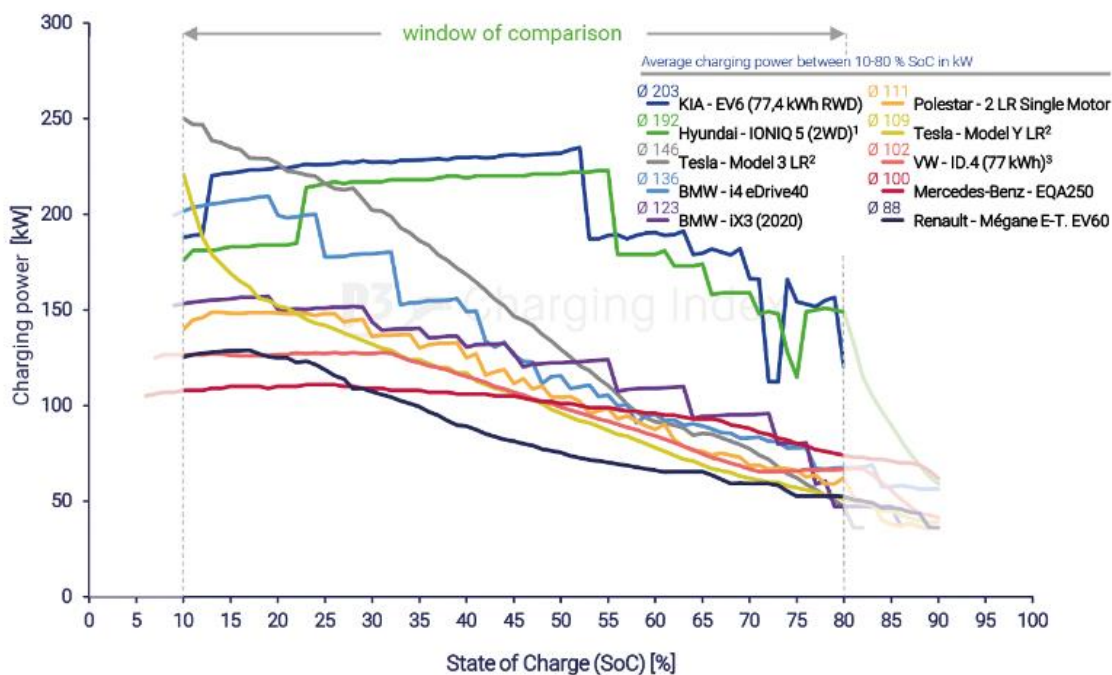


Obrázek B1: Nabíjecí režimy (pozn.: zelený text popisuje úroveň bezpečnosti) [53]

1.2 Komponenty systému nabíjení

Základními komponentami systému nabíjení jsou nabíjecí stanice, konektory a palubní nabíječka. Nejjednodušším zařízením sloužícím jako „nabíjecí stanice“ je obyčejná domovní zásuvka. V případě 10A jističe a 230 V je však schopna poskytnout nabíjecí výkon pouze 2,3 kW, plné nabití velkých elektromobilů by tak zabralo téměř dva dny. Za skutečné nabíjecí stanice lze považovat až wallboxy. Jedná se o AC nabíjecí zařízení, které je v závislosti na provedení schopno obvykle poskytnout nabíjecí výkon 3,7 kW (1x10 A / 230 V) až 22 kW (3x32 A / 230 V). Nabíjecí výkon však může být omezen výkonem palubní nabíječky (popsáno později). Sofistikovanější wallboxy umí upravovat nabíjecí výkon tak, aby nedošlo k vypnutí jističe vlivem přetížení způsobeném například souběžným provozem klimatizace domu a nabíjení vozidla. Také u nich bývá možné nastavit nabíjení tak, aby se auto nabíjelo převážně v době levnějšího proudu, nebo aby se šetřila baterie (např. do 40 % se může nabít hned, do 90 % později v době nízkého tarifu a do 100 % se nabije, pokud druhý den následuje dlouhá cesta). Cena wallboxu se pohybuje v nižších desítkách tisíc CZK. [51]

Nejvýkonnější nabíjecí zařízení představují DC nabíjecí stanice. Jejich výkon se běžně pohybuje od 50 do 350 kW a cenově se pohybují od 750 tisíc CZK v případě méně výkonných modelů po 3 mil. CZK v případě těch nejvýkonnějších [50]. Nabíjení v případě DC stanic neprobíhá plnou rychlostí po celou dobu nabíjení (graf B1 [109]), ale po dosažení určitého stavu nabití baterie klesá pro omezení tepelného namáhání z důvodu růstu elektrického odporu [23]. Z grafu B1 je dále patrné, že průběh nabíjecí křivky je u různých elektromobilů odlišný. [51]



¹Hyundai – IONIQ 5 (72.6 kWh 2WD)

²Measured at Tesla Supercharger V3, as maximum charging power is only available there

³measured with ID.Software 2.3

Graf B1: Závislost nabíjecího výkonu na míře nabití baterie [109]

Nabíjecí stanice se k vozidlům připojují pomocí kabelů s normovanými konektory. Nejrozšířenějším konektorem pro AC nabíjení je v současnosti Mennekes Type 2 (na obrázku B2 vpravo). Pro DC nabíjení jsou v současnosti rozšířené typy CCS2 a CHAdeMO (využívané u japonských automobilek). CCS2 a Mennekes Type 2 využívají společnou zástrčku na vozidle, v případě použití konektoru CHAdeMO je nutná druhá zástrčka pro Mennekes Type 2. Konektory mají možnost zámku, který zabrání úmyslnému i neúmyslnému odpojení nabíjecího se vozidla. [51] [52]



Obrázky B2 a B3: Konektory CCS2 a Mennekes Type 2 a společná zástrčka na vozidle [51]



Obrázky B4 a B5: Konektor CHAdeMO a oddělené zástrčky na vozidle [51]

Jak již bylo zmíněno, v případě AC nabíjení je nutné proud ve vozidle usměrnit. K tomu slouží palubní nabíječka. Výkon palubní nabíječky omezuje maximální nabíjecí výkon u AC nabíjení. Jeho hodnota se pohybuje od 3,7 do 22 kW, přičemž u novějších, dražších a výkonnějších modelů bývá vyšší (případně bývá výkonnější varianta k dispozici za příplatek). V současnosti je pravděpodobně nejrozšířenější výkon 11 kW (využíván je například vozy na platformách VW MEB a Hyundai E-GMP i moderními elektrickými BMW) [110]. [54]

1.3 Nabíjecí infrastruktura v České republice

Nabíjecí stanice v České republice eviduje Ministerstvo průmyslu a obchodu podle §6 zákona č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách. Evidovány jsou údaje o majiteli a provozovateli, technické parametry nabíjecích bodů (počet, typ, nominální výkon, standardy nabíjecích bodů, možnost souběžného nabíjení, celkový výkon stanice), poloha, údaje o veřejné přístupnosti, údaje o zdroji elektřiny (není-li stanice připojena na českou elektrizační soustavu), označení stanice, datum uvedení do provozu a případně datum ukončení provozu. S výjimkou údajů o majiteli a provozovateli je ministerstvo povinno zveřejňovat uvedené údaje pro veřejné nabíjecí stanice (pozn.: v zákoně jsou nabíjecí stanice označovány jako „dobíjecí stanice“) způsobem umožňujícím dálkový přístup. Ministerstvo údaje o nabíjecích stanicích zveřejňuje na svých webových stránkách ve formátu XLSX. V seznamu platném k 31. 12. 2022 jsou uvedeny pouze údaje pro celé nabíjecí stanice (např. celkový nominální výkon), bez podrobností k nabíjecím bodům (je uveden pouze celkový počet nabíjecích bodů a počet DC nabíjecích bodů). Ze zveřejněných dat tedy není možné přesně stanovit například nabíjecí výkon jednotlivých nabíjecích bodů nebo možnost souběžného nabíjení více vozidel. S využitím Mapy nabíjecích stanic serveru fDrive.cz [94] pro upřesnění dat jednotlivých stanic nicméně bylo možné na základě zmíněného seznamu

sestavit tabulku B1 s údaji o počtu nabíjecích stanic a nabíjecích bodů s daným nabíjecím výkonem. [92] [93]

| | Nabíjecí stanice | Nabíjecí body |
|----------------------------|------------------|---------------|
| celkem | 1 363 | 2 643 |
| z toho DC nabíjení | 675 | 746 |
| z toho DC nabíjení 50+ kW | 667 | 737 |
| z toho DC nabíjení 150+ kW | 33 | 55 |

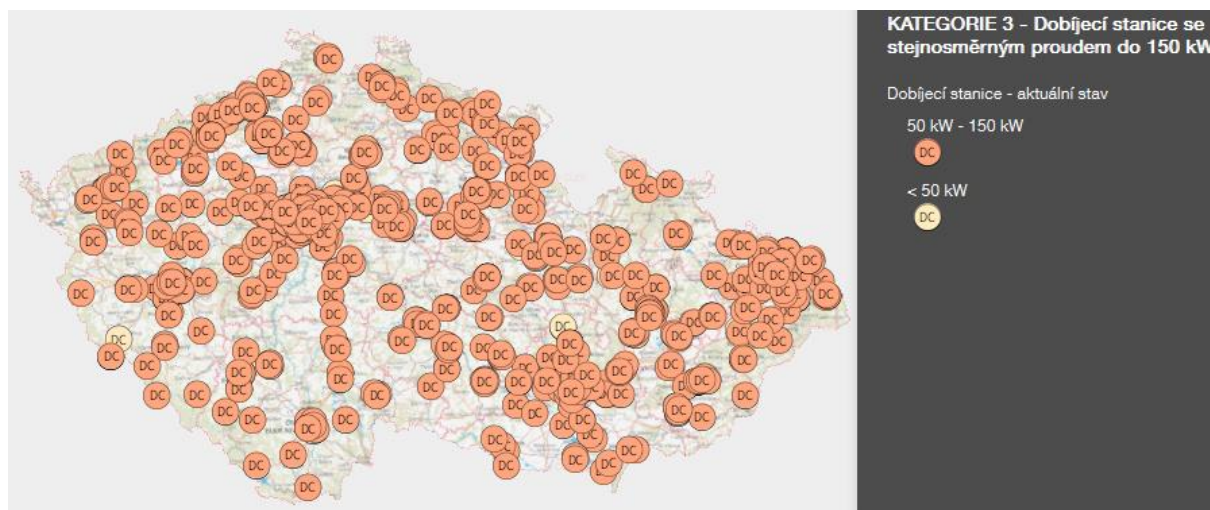
Tabulka B1: Počty nabíjecích stanic a bodů dle MPO k 31. 12. 2022 [93] [94]

Data o nabíjecích bodech v České republice eviduje také Evropská observatoř alternativních paliv. Data pro tuto evidenci sbírá a zpracovává společnost Eco-Movement BV, nejedná se o veřejnou databázi. Statistiky o nabíjecím výkonu jednotlivých nabíjecích bodů jsou uvedeny v tabulce B2. [95]

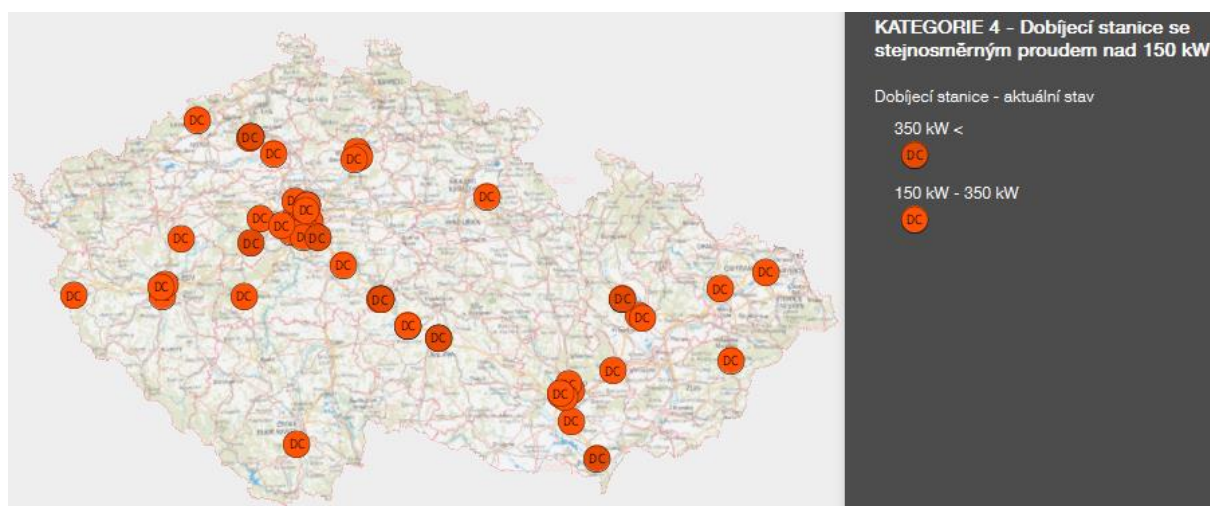
| | Nabíjecí body |
|-------------------------------|---------------|
| celkem | 3 915 |
| z toho AC nabíjení | 2 815 |
| z toho AC nabíjení 7,36+ kW | 2 709 |
| z toho AC nabíjení 22,08+ kW | 98 |
| z toho DC nabíjení | 1 100 |
| z toho DC nabíjení 49,95+ kW | 1 074 |
| z toho DC nabíjení 150,00+ kW | 134 |
| z toho DC nabíjení 349,00+ kW | 18 |

Tabulka B2: Nabíjecí body dle Evropské observatoře alternativních paliv ke Q4 2022 [96]

Je zřejmé, že se data v tabulkách B1 a B2 významně liší. Důvod těchto odlišností není autorovi této práce znám, nicméně v evidenci Ministerstva průmyslu a obchodu nejsou uvedeny např. všechny Superchargery firmy Tesla (což může souviset s jejich omezením výhradně pro vozy Tesla). Na obrázcích B6 a B7 jsou uvedeny lokace rychlonabíjecích DC stanic v České republice. Jedná se o výstupy z projektu „Rozvoj veřejné dobíjecí infrastruktury v kontextu zajištění dopravní obsluhy a zohlednění dopravně inženýrských parametrů“, založené na evidenci Evropské observatoře alternativních paliv. [95] [97] [98]



Obrázek B6: DC nabíjecí stanice v České republice s výkonem do 150 kW [97]



Obrázek B7: DC nabíjecí stanice v České republice s výkonem nad 150 kW [97]

1.4 Vehicle-to-grid

Elektromobily i plug-in hybridy již mají poměrně velké baterie, které by v době odstavení mohlo být zajímavé využívat i k jiným účelům, např. nouzovému napájení domu, napájení chaty, napájení náradí nebo stabilizaci sítě. Vzhledem k průměrné denní spotřebě rodinného domu, která se pohybuje od 5 do 35 kWh [55], by i baterie plug-in hybridu byla v některých případech schopna omezeně napájet rodinný dům po dobu několika dní. Využití baterie vozidla pro stabilizaci sítě by mělo majiteli generovat určitý finanční příjem, což by mohlo zlepšit ekonomickou výhodnost vozidel zejména pro uživatele, kteří využívají svá vozidla méně často. V této souvislosti se mluví o technologiích vehicle-to-X (V2X), vehicle-to-load (V2L), vehicle-to-home (V2H) nebo vehicle-to-grid (V2G). [56]

Kromě benefitů jsou však s uvedenými technologiemi spojené i určité problémy. Prvním je zajištění připravenosti vozidla v pohotovosti k okamžitému odjezdu. Pro běžný denní nájezd může postačovat i částečně nabitá baterie, pro delší cestu ale pravděpodobně bude uživatel chtít mít baterii plně nabitou. Takovéto situace by nicméně mělo být možné řešit – v případě V2L a V2H řídí vybíjení baterie sám uživatel, v případě V2G by pak mělo být možné poskytovat k tomuto účelu pouze část baterie a jen v dobu, kdy to uživatel povolí. Před cestou na dovolenou se tedy auto nabije na 100 %, při běžném odstavení pak může být pro daný účel využívána baterie například v rozmezí nabití 60-80 %. S tím souvisí i další problém – opotřebování baterie. To lze omezit právě využíváním kratších cyklů, případně mohou být stanoveny limity celkového množství energie využívaného pro tento účel. Například VW ID.Buzz umožňuje využívání funkce V2X pouze v rozsahu nabití baterie 20-80 % (nebo užším – definovaným uživatelem), a dále je používání této funkce omezeno na 4 000 hodin a 10 000 kWh [99]. Celkově pak výhodnost využívání konceptu V2X závisí na příjmu z této služby (nebo jiných benefitech), nákladech na technické umožnění této funkce na straně vozidla i infrastruktury, amortizaci baterie a situaci konkrétního uživatele, kde bude hrát roli například roční nájezd nebo charakter cest (délka, četnost, nahodilost). [56]

Z technického hlediska je nutné do sítě dodávat střídavý proud. Baterie však pracují se stejnosměrným proudem a palubní nabíječka vozidla slouží k usměrnění střídavého proudu na stejnosměrný pro umožnění nabíjení vozidel střídavým proudem, nikoliv naopak. Mezi baterií a sítí je tedy nutné umístit navíc střídač. Jednou variantou je využití možnosti připojení vozidla k DC nabíjecí stanici, kdy mezi vozidlem a nabíjecí stanicí teče stejnosměrný proud, a střídač umístit do nabíjecí stanice. Toto je případ VW ID.Buzz, který pro funkci V2X vyžaduje DC wallbox, který je oproti AC wallboxu dražší [111]. Druhou možností je umístit střídač přímo do vozidla. Takové řešení využívá např. Mitsubishi Outlander PHEV, které je vybaveno dvěma zásuvkami o výkonu 1 500 W, což je ovšem relativně nízký výkon, využitelný pro napájení některých spotřebičů nebo pouze omezené napájení domu. [38] [56]

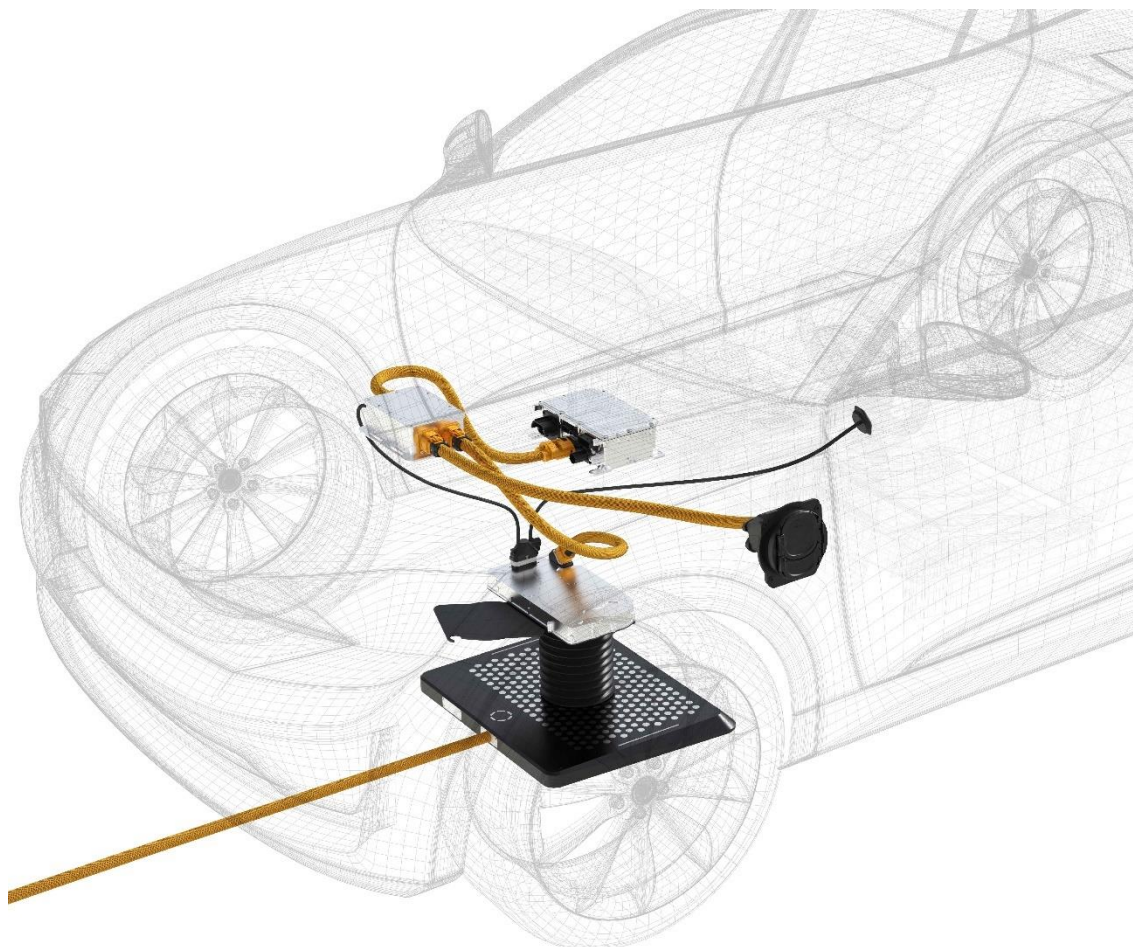
1.5 Bezdrátové a jiné nekonvenční způsoby nabíjení

Kromě klasického konvenčního nabíjení pomocí kabelu existují (nebo se vyvíjí) i alternativní způsoby nabíjení. Jedním z nich je bezdrátové nabíjení, které může být řešeno jako statické (během stání vozidla), nebo dynamické (během jízdy). Za nekonvenční způsoby nabíjení lze považovat i nabíjení, kdy se vozidlo automaticky fyzicky připojí k nabíjecí stanici, nebo využívání výměnných akumulátorů. Ve všech zmíněných případech odpadá nutnost manipulace s kabelem, což může být záležitost komfortu (např. v případě domácího nabíjení), ale také značné usnadnění provozování některých služeb – například autonomních vozidel nebo carsharingu.

Při statickém bezdrátovém nabíjení se využívá elektromagnetická indukce. Na nabíjecím místě i v nabíjeném vozidle jsou umístěny cívky. Když vozidlo na tomto nabíjecím místě zastaví a cívky se dostanou do vzájemné blízkosti, dojde na základě komunikace požadavku na nabíjení k sepnutí cívky na nabíjecím místě. Cívka začne generovat proměnné elektromagnetické pole, které v cívce ve vozidle začne indukovat elektrický proud. Oproti klasickému nabíjení s využitím kabelu má bezdrátové nabíjení menší účinnost, která se pohybuje mezi 75 a 80 % (v případě kabelového nabíjení se pohybuje kolem 85 % [58]). Ve vývoji je rezonanční bezdrátové nabíjení s účinností 93-95 %, vývoj však stále probíhá. V současnosti není systémem statického bezdrátového nabíjení vybaveno žádné sériové vozidlo, probíhají však pilotní projekty. Ty jsou často realizované start-upy ve spolupráci s automobilkami (např. projekt start-upu WiTricity). Komplikací pro rozšíření této technologie představuje neexistující standardizace (základní bezpečnostní, technické a komunikační parametry již byly definovány v normě IEC 61980, podrobnější standardy však prozatím definovány nejsou). [57] [100]

Dynamické bezdrátové nabíjení funguje stejně jako statické bezdrátové nabíjení na principu elektromagnetické indukce. Nabíjecí cívky jsou však umístěné v jízdních pružích a nabíjí vozidlo za jízdy. Podobně jako u statického bezdrátového nabíjení probíhá i v tomto případě několik pilotních projektů, například s vozy značky Renault na ostrově Gotland nebo s vozidly koncernu Stellantis v Itálii. V Německu se pak experimentuje s využitím této technologie u autobusů. Při testech na Gotlandu probíhalo nabíjení i při rychlosti 110 km/h, italský projekt je pak zajímavým využitím stejnosměrného napájení. Kromě technické proveditelnosti bude nicméně rozšíření této technologie záviset i na nákladech na infrastrukturu. [101] [102] [103]

Příkladem nabíjení využívajícího automatické fyzické připojení vozidla k nabíjecí stanici je Matrix Charging rakouského start-upu Easelink. Nabíjecí systém se skládá z vozidlové jednotky s výsuvným konektorem (Connector) a stacionární nabíjecí podložky s maticí vodivých pinů (Pad). Po zastavení vozidla nad podložkou se nejprve naváže bezdrátové datové spojení vozidlové jednotky s podložkou. Poté se z vozidlové jednotky na podložku spustí konektor, jehož piny se vodivě spojí s některými piny na podložce. Podložka díky matici pinů umožňuje funkčnost systému s tolerancí polohy vozidla 225x390 mm, přičemž při nabíjení jsou pod napětím pouze ty piny, ke kterým je připojen konektor vozidla. Komponenty jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, pro případ znečištění je pak konektor vybaven čistícím mechanismem. Maximální nabíjecí výkon může být 22 kW AC nebo až 50 kW DC. Vozidlovou jednotku (Connector) je možné dodatečně namontovat do stávajících vozidel. Montáž nabíjecí podložky (Pad) na parkovací místo nevyžaduje stavební práce nad rámec přivedení napájení. Technologie je momentálně ve fázi testování. [104]



Obrázek B8: Matrix Charging společnosti Easelink [104]

Výměnné baterie se v současnosti využívají zejména u manipulační techniky, ačkoliv i v tomto odvětví v posledních letech roste podíl techniky nabíjecí [105]. V segmentu osobních automobilů se o zavedení technologie výměny baterií pokoušel izraelsko-americký start-up Better Place, využívající upravené vozy Renault Fluence. V roce 2013 firma po šesti letech své existence vyhlásila bankrot [106]. V současnosti technologii vyměnitelných baterií rozvíjí čínská automobilka Nio. Její elektromobily je možné zakoupit klasicky včetně vlastní baterie, kromě toho je ale možné zakoupit si i vozidlo bez vlastní baterie a tu si pouze pronajímat v rámci služby „Battery as a Service“ (BaaS). Právě v případě druhé zmíněné možnosti mohou zákazníci kromě klasického nabíjení využívat i stanice pro výměnu baterií (v případě zakoupení vlastní baterie tato možnost k dispozici není). Baterie jsou nabízeny ve dvou variantách – 75 kWh (169 EUR/měsíc nebo vlastní za 12 000 EUR) a 100 kWh (289 EUR/měsíc nebo vlastní za 21 000 EUR) [108]. Ceny vozidel bez baterií se v Německu (2022) pohybují v závislosti na modelu mezi 49 900 EUR a 73 900 EUR [108]. Výměnné baterie automobilka nevlastní, ale pronajímá si je od výrobce CATL. Samotná výměna probíhá ve speciálních výměnných stanicích. V nich je nejprve vozidlo srovnáno do požadované polohy, následně se pomocí speciálního zařízení povolí šrouby na spodku vozidla a vymění se baterie. Celý proces trvá 2-3 minuty. Nio momentálně pracuje již na 3. generaci výměnné stanice. První generace má kapacitu 5 baterií a denně může provést až 120 výměn. Druhá generace má kapacitu 13 baterií a může provést až 312 výměn, přičemž se jedná o v současnosti nejrozšířenější typ výměnné stanice v Číně a Evropě. Připravovaná třetí generace bude mít kapacitu 21 baterií a denně zvládne provést až 408 výměn. Na konci roku 2022 již bylo v Číně přes 1 200 výměnných stanic, do konce roku 2025 by jich na světě mělo být až 4 000 (z toho 1 000 mimo Čínu). V Evropě je jich zatím jen několik. Cena jedné výměnné stanice se pohybuje kolem 500 000 USD. [107] [108]

2 Dopady rozvoje elektromobility na distribuční síť

V lednu 2019 byla společnostmi EGÚ Brno, a.s. a EGC – EnerGoConsulting ČB, s.r.o. vyhotovena studie “Dopad elektromobility do DS ČR“ [68], pro kterou byla o rok dříve vyhotovena dílčí studie „Predikce vývoje elektromobility v ČR“ [65] společností Euroenergy, spol. s r.o. Obě tyto studie byly vyhotoveny na objednávku provozovatelů distribučních a přenosových soustav PREDistribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s., ČEPS, a.s. a ČEZ Distribuce, a.s. Vzhledem k vývoji na poli technologií i strategických dokumentů byla v roce 2021 vyhotovena „Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045“ [116].

2.1 Studie „Predikce vývoje elektromobility v ČR“

Ve studii „Predikce vývoje elektromobility v ČR“ [65] byly řešeny následující oblasti:

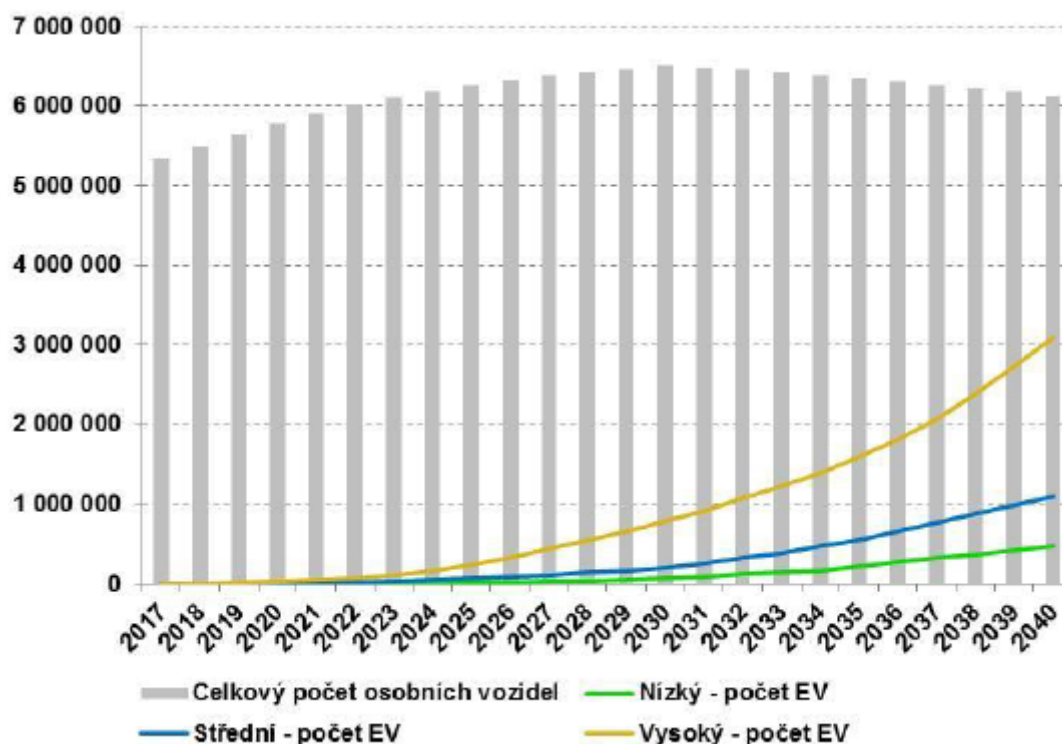
- Plošná projekce počtu vozidel na elektřinu v ulicích v ČR
- Projekce počtu veřejných nabíjecích stanic a jejich rozmístění na území ČR
- Projekce požadavků na výkon veřejného a neveřejného nabíjení

Projekce počtu vozidel byla modelována na úrovni správních obvodů obcí s rozšířenou působností. Provedena byla na základě stávajícího stavu vozového parku v jednotlivých správních obvodech (počet vozidel, podíl elektromobilů), projekce počtu obyvatel (predikce ČSÚ), zahraničních trendů (nasycení trhu automobily v závislosti na velikosti obce, charakterizované počtem automobilů připadajících na jednoho obyvatele) a předpokládaného tržního podílu elektromobilů (BEV) a plug-in hybridů (PHEV). Z pohledu tržního podílu byly modelovány tři scénáře – střední, nízký a vysoký. Rozlišovány byly čtyři kategorie vozidel – osobní automobily, lehké užitkové automobily, nákladní automobily a autobusy. [65]

Charakteristika posuzovaných scénářů pro osobní automobily je následující [65]:

- Střední
 - o do roku 2030 růst prodeje dle Národního akčního plánu čisté mobility, poté pozvolný nárůst až do roku 2040
 - o v roce 2040 předpokládáno v ČR 631 000 BEV a 460 000 PHEV a podíl na prodeji nových vozidel 22 % v případě BEV a 11 % v případě PHEV

- Nízký
 - o do roku 2030 střední scénář posunutý o 5 let, poté růst podle průměrného růstu za předchozích 5 let až do roku 2040
 - o v roce 2040 předpokládáno v ČR 231 000 BEV a 238 000 PHEV a podíl na prodeji nových vozidel 6 % v případě BEV a 5 % v případě PHEV
- Vysoký
 - o předpoklad dosažení cenové parity mezi elektromobily a vozidly se spalovacím motorem v roce 2030, v důsledku toho progresivní nárůst podílu BEV + PHEV na prodeji na 30 % v roce 2030 a 90 % v roce 2040
 - o v roce 2040 předpokládáno v ČR 2 119 000 BEV a 972 000 PHEV a podíl na prodeji nových vozidel 64 % v případě BEV a 28 % v případě PHEV

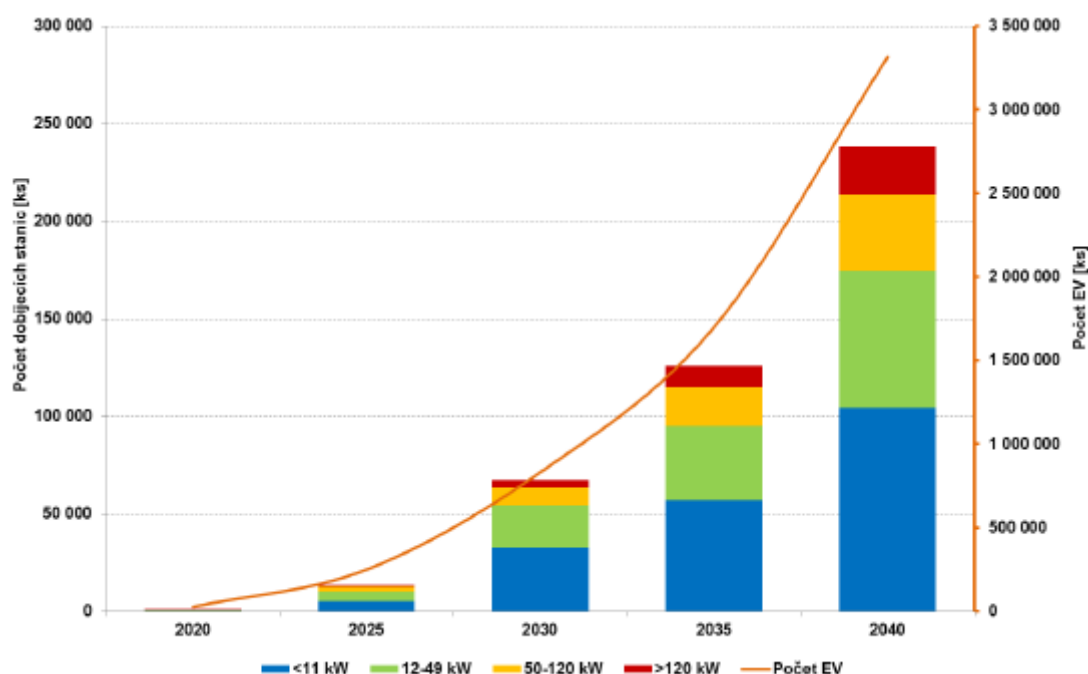


Graf B2: Plošná projekce počtu osobních automobilů v jednotlivých scénářích [65]

Vzhledem k plánovanému zákazu prodeje nových osobních automobilů se spalovacími motory (s výjimkou pro vozidla poháněná klimaticky neutrálními palivy) v EU v roce 2035 (v roce 2026 plánováno prověření reálnosti cíle) lze v současnosti za nejreálnější považovat vysoký scénář. [69]

Projekce počtu veřejných nabíjecích stanic a jejich rozmístění na území ČR byla sestavena na základě cílů a rozsahu vypsání dotačních programů pro podporu výstavby nabíjecí

infrastruktury a dle výstupů stochastického modelu chování uživatelů, který byl použit i pro modelování výkonových požadavků (popsán dále). Počty stanic byly řešeny na úrovni správních obvodů ORP, v případě rychlonabíjecích stanic bylo předpokládáno jejich umístění u hlavních silničních tahů. Celkový potřebný počet nabíjecích stanic pro všechny skupiny vozidel je zobrazen v grafu B3. Většina nabíjecích stanic je potřeba kvůli nabíjení osobních automobilů. Pro nabíjení vozidel MHD, lehkých užitkových vozidel a menších nákladních automobilů bylo uvažováno používání výhradně nabíjecích stanic s výkonem minimálně 50 kW. Celkem by jich bylo potřeba 5 693, nicméně vzhledem k tomu, že se předpokládá využívání těchto stanic i osobními automobily, činí celkový nárůst potřebného počtu rychlých nabíjecích stanic kvůli potřebám větších vozidel jen necelých 1 500 stanic oproti stavu, kdy by nabíjecí stanice byly navrženy pouze pro potřeby osobních automobilů. [65]



Graf B3: Očekávaná potřeba počtu a struktury nabíjecích stanic ve vysokém scénáři [65]

Pro potřeby modelování nabíjení bylo nejprve nutné zjistit chování uživatelů z pohledu využívání nabíjení. Zde se vycházelo z výsledků norské studie, dle které většina uživatelů preferuje nabíjení doma, o něco méně pak v zaměstnání. Zatímco pro lidi žijící v rodinných domech nebývá domácí nabíjení problém, v případě lidí žijících v bytech je to často nemožné. Z tohoto důvodu byly jednotlivé správní obvody ORP rozděleny do 8 skupin podle podílu obyvatel žijících v rodinných domech, pro které byly sestaveny typové diagramy nabíjení vozidel z pohledu místa nabíjení (doma, v zaměstnání, ...). [65]

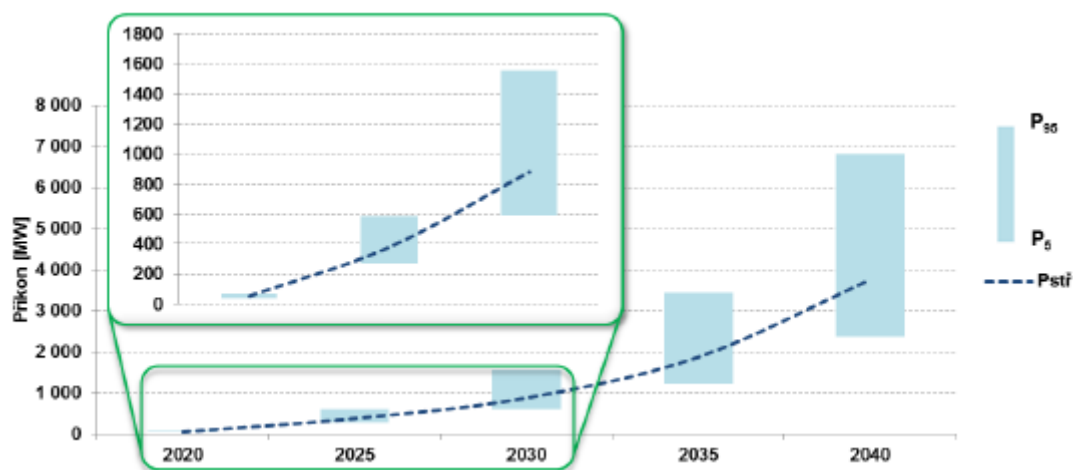
Dále bylo nutné určit parametry vozidel. Předpokládala se průměrná účinnost nabíjení 90 % a průměrná spotřeba osobních aut 20 kWh/100 km (lehká užitková vozidla 20-30 kWh/100 km, malá nákladní vozidla 50-60 kWh/100 km a autobusy 100-130 kWh/100 km). Dále bylo předpokládáno, že baterie nikdy nebude vybita pod 10 % a nabíjena bude na 100 % v případě neveřejného nabíjení (doma a v zaměstnání) a maximálně na 80 % v případě veřejného nabíjení. U vozidel s větší baterií bylo předpokládáno nabíjení vyšším výkonem než u vozidel s menší baterií. Z hlediska velikosti baterií pak byl uvažován nárůst kapacity o 2 kWh každý rok, v roce 2040 byla předpokládána průměrná velikost baterie 60-80 kWh v případě BEV a 30kWh v případě PHEV. [65]

Dále bylo potřeba určit délku cest a jejich rozložení v čase. Na základě veřejně dostupných i veřejně nedostupných dat byl sestaven histogram četnosti ujeté vzdálenosti za den. Nejčastější ujetá vzdálenost byla 10-20 km, průměr činil 32 km a více než 100 km ujelo 5 % uživatelů. Histogram byl sestaven i pro lehká užitková vozidla, v případě autobusů se vycházelo z jízdních řádů. Časy zahájení nabíjení v různých lokalitách byly stanoveny podle dat z monitorování pohybu mobilních telefonů v Praze a Středočeském kraji. [65]

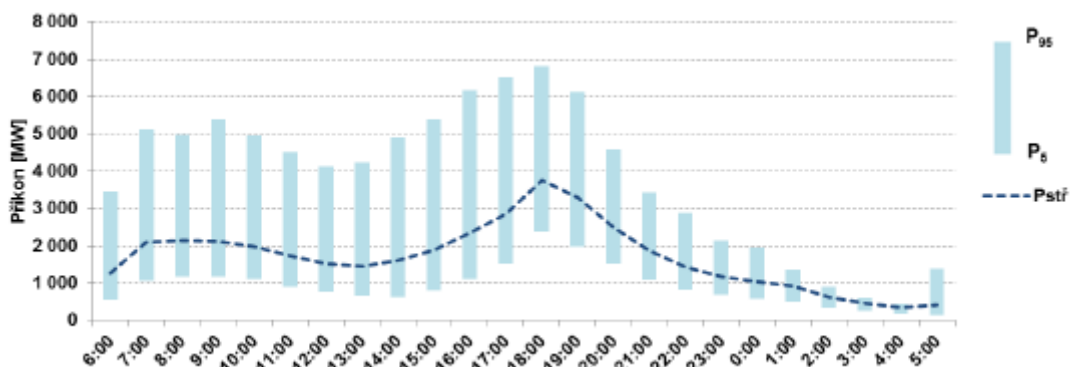
Samotný model využíval metodu Monte Carlo, modelovaný časový krok byl 1 minuta. V rámci modelování byly opakovány následující kroky [65]:

- 1) Pravděpodobnostní vygenerování denního nájezdu vozidla (zvláště pro BEV a PHEV)
- 2) Přiřazení typu nabíjení danému vozidlu (doma, v zaměstnání, veřejné rychlé, ...)
- 3) Přiřazení velikosti příkonu nabíjecího bodu na základě vybraného typu nabíjení
- 4) Zahnutí omezení vyplývajících z konečné velikosti kapacity baterie elektrovozidla
- 5) Pravděpodobnostní vygenerování času zahájení nabíjení (v závislosti na předchozích krocích – očekávaném způsobu použití vozidla)
- 6) Provedení vlastní simulace nabíjení a výpočet okamžité hodnoty příkonu nabíjení pro každou minutu simulace v závislosti na nabíjecí charakteristice dané baterie

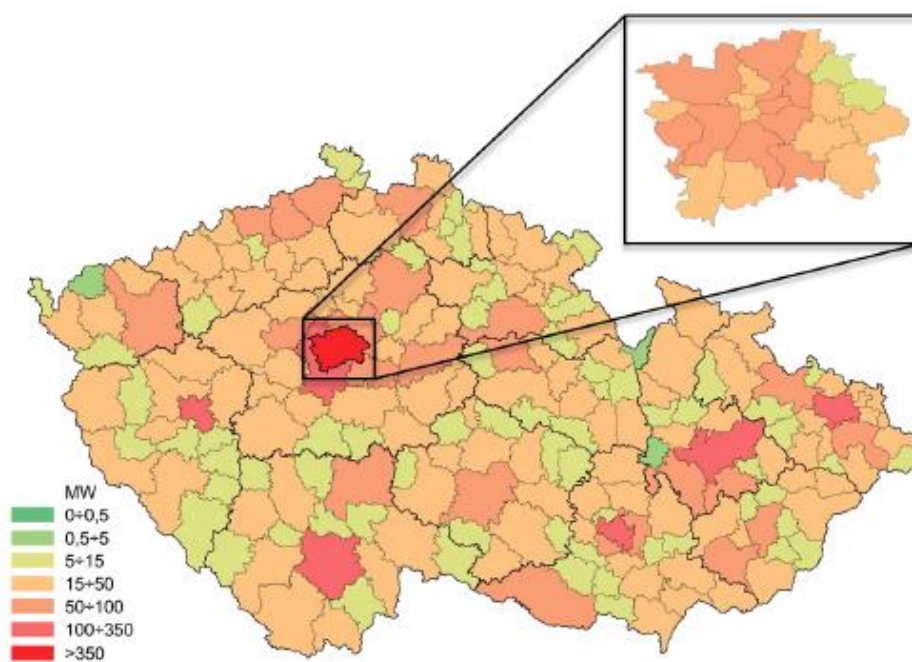
Bylo provedeno řádově 100 simulací, jejichž výsledky byly statisticky vyhodnoceny, přičemž byla určena střední hodnota potřebného příkonu, 95. percentil a 5. percentil. Výsledky pro vysoký scénář a všechny segmenty jsou zobrazeny v grafu B4. Pro samotné osobní automobily jsou v roce 2040 všechny tři hodnoty přibližně o 1 500 MW nižší. Denní průběh potřebného výkonu v roce 2040 je pro vysoký scénář a všechny segmenty (osobní automobily, autobusy, ...) zobrazen v grafu B5. Nárůst výkonů v jednotlivých správních obvodech ORP pro vysoký scénář a 95. percentil je znázorněn v grafu B6. [65]



Graf B4: Maximální potřebný současný výkon při vysokém scénáři (všechny segmenty) [65]



Graf B5: Denní průběh potřebného výkonu (rok 2040, vysoký scénář, všechny segmenty) [65]



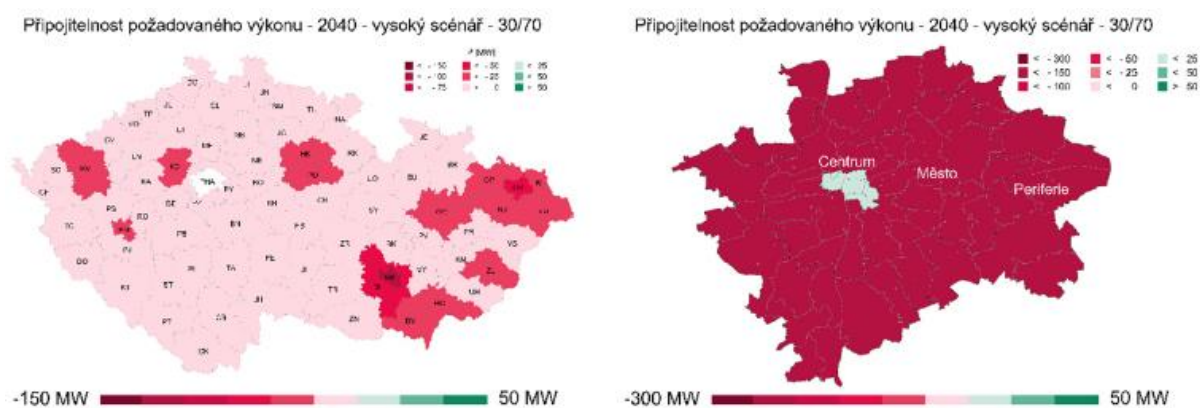
Graf B6: Nárůst výkonu v roce 2040 (vysoký scénář, všechny segmenty, 95. percentil) [65]

2.2 Studie „Dopad elektromobility do DS ČR“

Výsledky studie „Predikce vývoje elektromobility v ČR“ byly využity ve studii „Dopad elektromobility do DS ČR“, která řešila výkonové požadavky a s nimi související investice do distribuční soustavy nízkého napětí (NN), vysokého napětí (VN) a velmi vysokého napětí (VVN). Řešeny byly tři scénáře rozvoje elektromobility (nízký, střední a vysoký – popsán v předchozí kapitole), pro které byl posuzován vliv na distribuční soustavu v letech 2025, 2030 a 2040. [68]

Kromě investic vyvolaných elektromobilitou studie zmiňuje i nutnou přirozenou obnovu jednotlivých prvků distribuční soustavy, která sama o sobě zlepší parametry distribuční soustavy a pomůže tak částečně zvládat nároky elektromobility. Do roku 2040 jsou předpokládány investice do přirozené obnovy ve výši 171,7 mld. CZK v případě sítí nízkého napětí a 71,3 mld. CZK v případě sítí vysokého napětí. [68]

Elektromobilita si ve vysokém scénáři vyžádá do roku 2040 celkové dodatečné náklady ve výši 92,0 mld. CZK, z čehož připadá 80,7 mld. CZK na síť nízkého napětí a 11,3 mld. CZK na síť vysokého napětí. V síti nízkého napětí jsou potřeba největší zásahy především ve velkých městech (Praha, Brno, Ostrava), jak je patrné z grafu B7. Jedná se o posilování distribučních transformátorů VN/NN, posilování síťové infrastruktury NN i nová vedení VN. [68]



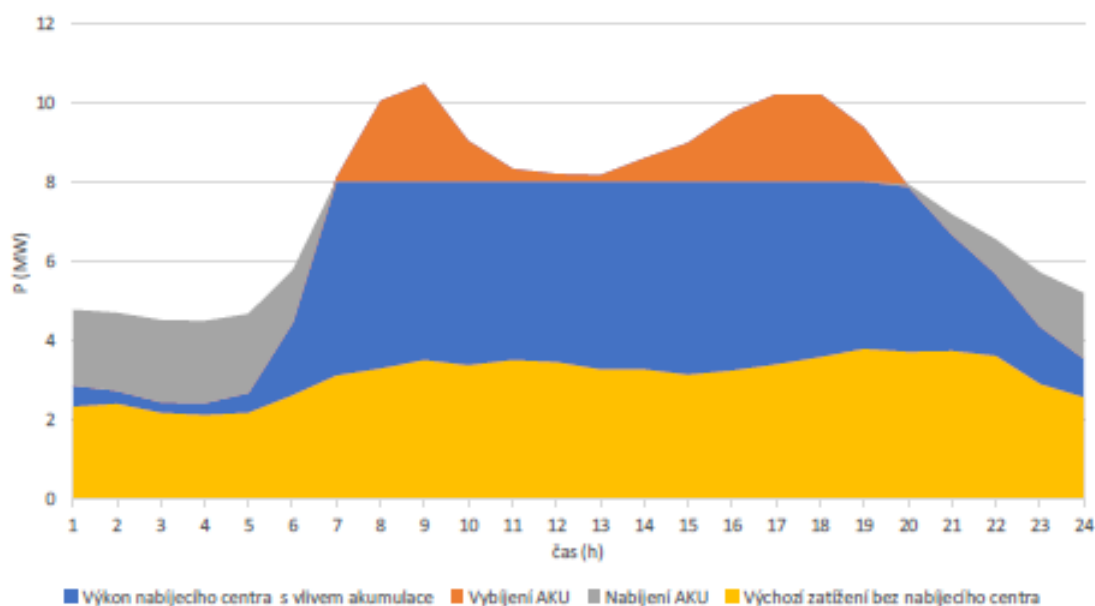
Graf B7: Mapa výkonového deficitu v síti nízkého napětí (rok 2040, vysoký scénář) [68]

V síti VN jsou největší dopady v oblastech venkovského charakteru a v oblasti Prahy, problémy se však vyskytují u všech vývodů VN. Celkově je nutné posilování transformačního výkonu 110 kV/VN i posilování síťové infrastruktury VN (22 kV i 35 kV). V síti VVN jsou predikovány problémy pouze v místech, která je nutné řešit i z pohledu přirozené obnovy. Potenciální problémy jsou v oblasti Prahy, kde by i s ohledem na růst dalšího zatížení

bylo potřeba rozšířit kapacitu transformace mezi distribuční a přenosovou soustavou. Celkově nabíjecí výkon pro potřeby elektromobility vyčerpává rezervní kapacitu přenosových prvků, s dalším rozvojem elektromobility po roce 2040 tedy lze očekávat další nutné investice. [68]

Předmětem studie nebylo podrobné řešení vlivu nárůstu decentralizované výroby elektřiny, možností akumulace nebo snižování výkonových špiček řízením nabíjecích stanic. Daná problematika tedy byla ve studii řešena pouze okrajově. V případě decentralizované výroby s využitím fotovoltaických elektráren je problematická jejich závislost na počasí – zejména v zimních měsících mohou být až několik týdnů dlouhé úseky, kdy je výkon těchto elektráren minimální, přičemž se zároveň jedná o období, kdy je spotřeba elektřiny nejvyšší. Omezení z důvodu počasí se obvykle netýká bodových zdrojů, ale minimálně celé uzlové oblasti 110 kV. V důsledku toho fotovoltaické elektrárny nevedou ke snižování požadavků na distribuční síť. Dalším problémem je výkonová špička výkonu fotovoltaických elektráren v době mimo očekávanou nabíjecí špičku. Toto lze řešit lokální akumulací, ta má však obecně vliv převážně na interní energetickou bilanci nabíjecího místa, nikoliv na síť, protože ta musí počítat s popsányi déle trvajícimi výkyvy počasí. Využití lokální akumulace nabíjené mimo špičku by mělo podobný efekt, jako prosté nabíjení elektromobilů mimo špičku v nočních hodinách. V letních měsících může v případě slunečních dnů po naplnění lokální akumulace docházet k přetokům elektřiny z fotovoltaických elektráren do sítě s podobným výkonem, jaký v zimních měsících naopak odběrné místo odebírá pro nabíjení elektromobilu. [68]

Akumulaci by bylo možné využívat i pro zmírnění výkonových špiček u rychlonabíjecích stanic. Studie zmiňuje hypotetickou situaci velkého dálničního nabíjecího centra s výkonem 2 500 vozů/den, u kterého by byl akumulační systém s lithiovými bateriemi, který by udržoval maximální odebíraný výkon na úrovni 8 MW (graf B8). To by znamenalo snížení maximálního zatížení VN přibližně o 2 MW, pro což by bylo potřebné úložiště o kapacitě 15 MWh. Takovéto úložiště by mělo rozměry 8-15 námořních ISO kontejnerů a investiční náklady by byly přibližně 200 mil. CZK, což je cena srovnatelná s náklady na výstavbu nové rozvodny 110 kV/VN s transformátory 2x40 MVA. [68]



Graf B8: Řešení požadavků na elektrický výkon velkého dálničního nabíjecího centra [68]

2.3 Studie „Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045“

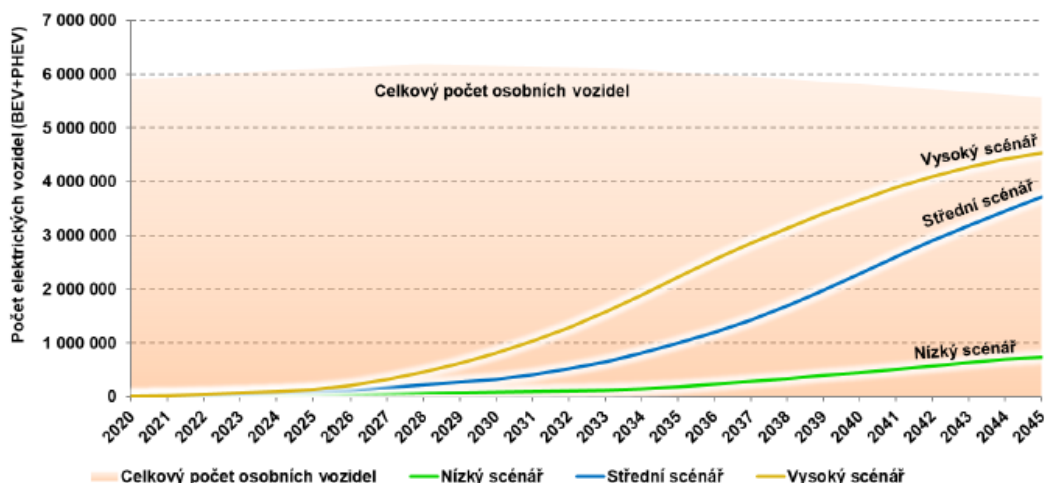
Jak vyplývá z názvu studie, jedná se o studii navazující na studii „Predikce vývoje elektromobility v ČR“, zohledňující vývoj trhu, technologií, legislativy a strategických dokumentů. Oproti původní studii je predikce řešena pro delší časový horizont – do roku 2045. [116]

Ve studii byly řešeny následující oblasti [116]:

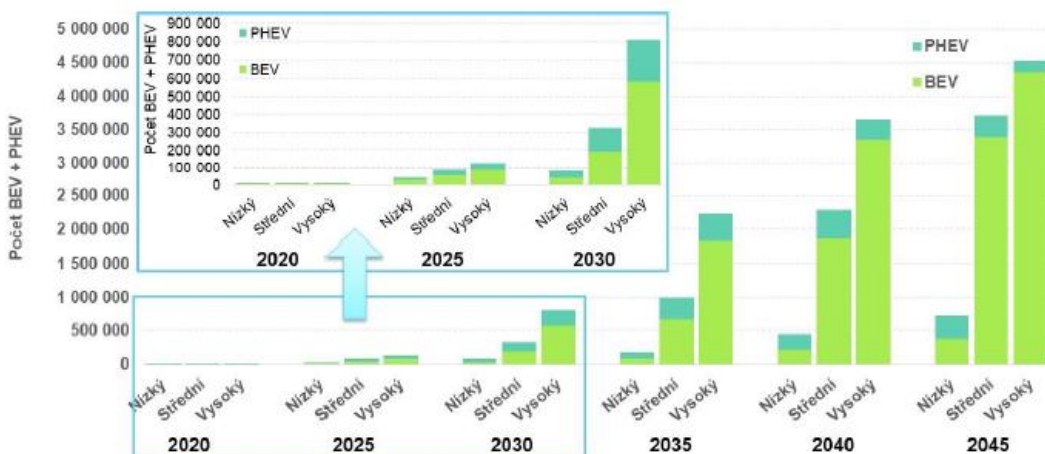
- Stručný popis stávajícího stavu
- Aktualizace klíčových faktorů a trendů vývoje
- Plošná projekce počtu vozidel na elektřinu v ulicích v ČR
- Projekce počtu veřejných nabíjecích stanic a jejich rozmístění na území ČR
- Projekce požadavků na výkon veřejného a neveřejného nabíjení

První částí studie se zabývají popisem vývoje trhu s elektromobily v ČR a v Evropě do 1. poloviny roku 2021 (konstatován výrazný nárůst – zejména v některých zemích Západní Evropy), stavem nabíjecí infrastruktury v ČR a vývojem technologií (kapacita baterií apod.) a legislativy (klimatický balíček „Fit for 55“ apod.). Speciální pozornost je věnována nabíjecím hubům. Detailněji jsou popsány zkušenosti z provozu nabíjecího hubu v Oslu, který je tvořen parkovacím domem s 450 parkovací místy, z nichž u 100 je možnost AC nabíjení výkonem až 22 kW a u 2 je možnost DC nabíjení výkonem 50 kW. Vzhledem k relevantnosti tématu je studii, ze které bylo čerpáno, věnována část 2.4 této přílohy.

V oblasti projekce počtu osobních automobilů byly upraveny vysoký a střední scénář, byla provedena aktualizace rozložení a vývoje populace na základě dat z roku 2020 a predikce byla řešena až do roku 2045. Vysoký scénář byl modelován dle cílů balíčku „Fit for 55“ a po roce 2035 počítá s prodejem pouze bezemisních nových vozidel, střední scénář pak počítá s 5letým zpožděním oproti těmto cílům. V porovnání s předchozí studií je ve středním a vysokém scénáři po roce 2030 předpokládán větší počet elektrifikovaných vozidel a větší podíl BEV, v roce 2025 jsou předpokládány naopak o něco nižší počty z důvodu mírnějšího růstu podílu těchto vozidel v roce 2020 oproti původním předpokladům. V případě lehkých užitkových vozidel a autobusů byly taktéž upraveny jejich odhadované počty v souladu s novými ambicióznějšími cíli. Nákladní vozidla nebyla detailněji řešena z důvodu nejistoty ohledně rozvoje elektromobility v tomto segmentu, nicméně v případě odhadu celkové roční spotřeby elektřiny bylo uvažováno s plnou elektrifikací. [116]

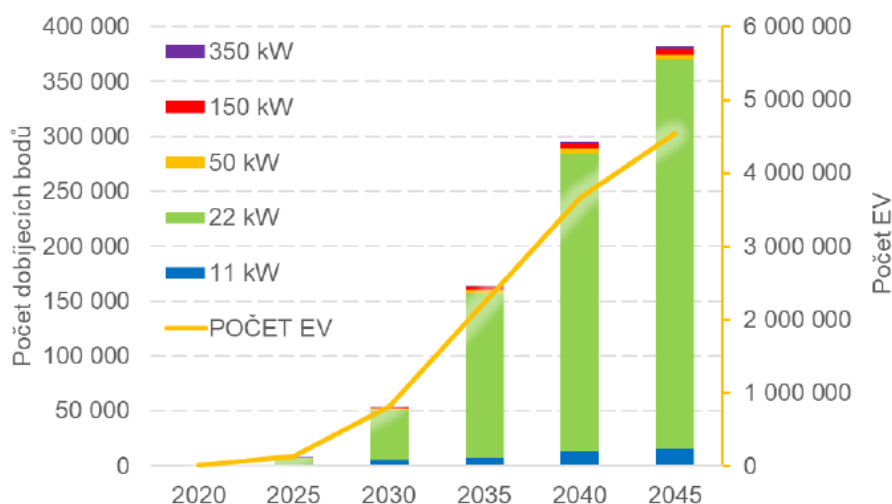


Graf B9: Projekce počtu osobních automobilů v jednotlivých scénářích po aktualizaci [116]



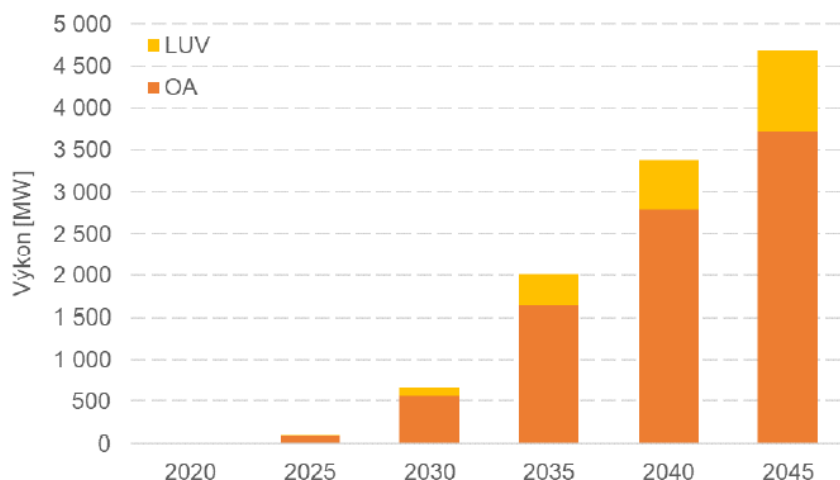
Graf B10: Projekce počtu BEV a PHEV po aktualizaci [116]

V případě projekce počtu nabíjecích stanic byl použit podobný přístup jako v předchozí studii, v reakci na vývoj však byly upraveny parametry. Vzhledem k předpokládanému nárůstu počtu uživatelů bez možnosti domácího nabíjení (např. na sídlištích) bylo nově uvažováno „rezidentní veřejné nabíjení“ a naopak nebylo samostatně řešeno „komerční nabíjení“ u nákupních center apod. Počítáno bylo s nižší spotřebou vozidel (17 kWh/100 km), větší kapacitou baterií BEV (68-120 kWh v roce 2045 v závislosti na velikosti vozidla), menší kapacitou baterií PHEV (17 kWh v roce 2045) a větším využíváním AC nabíjení výkonem 22 kW. [116]

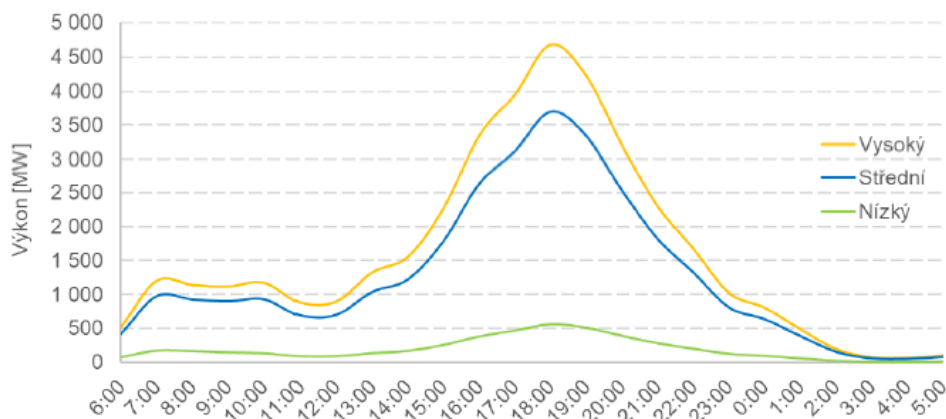


Graf B11: Počet a struktura nabíjecích stanic v aktualizovaném vysokém scénáři [116]

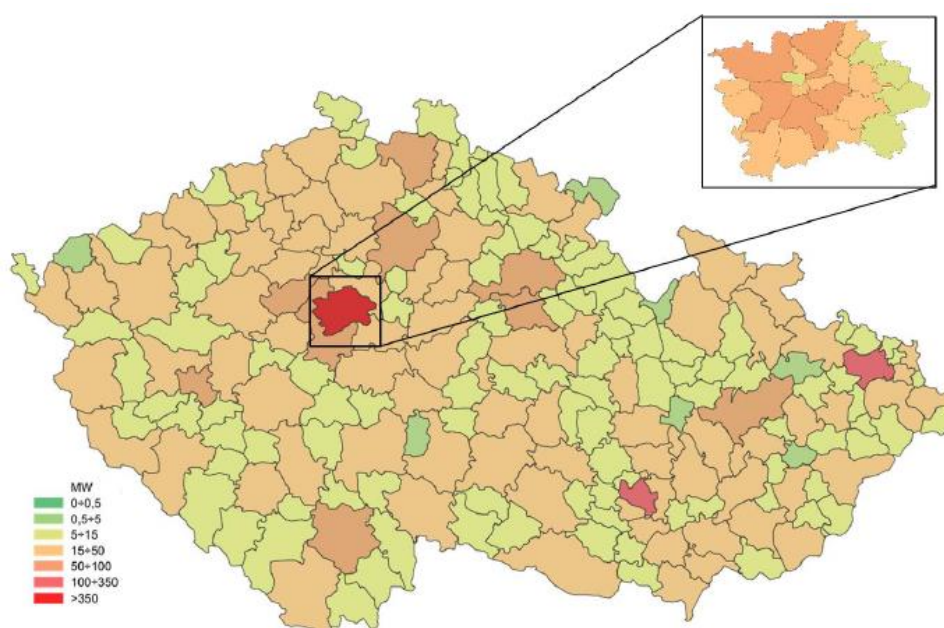
V projekci požadavků na výkon veřejného a neveřejného nabíjení byla počítána střední hodnota výkonu, výsledky jsou shrnuty v grafech B12 až B14. Při plné elektrifikaci je odhadovaná roční spotřeba elektromobilů 15,6 TWh a nákladních vozidel 8,1 TWh. [116]



Graf B12: Maximální potřebný současný výkon vysokém scénáři [116]

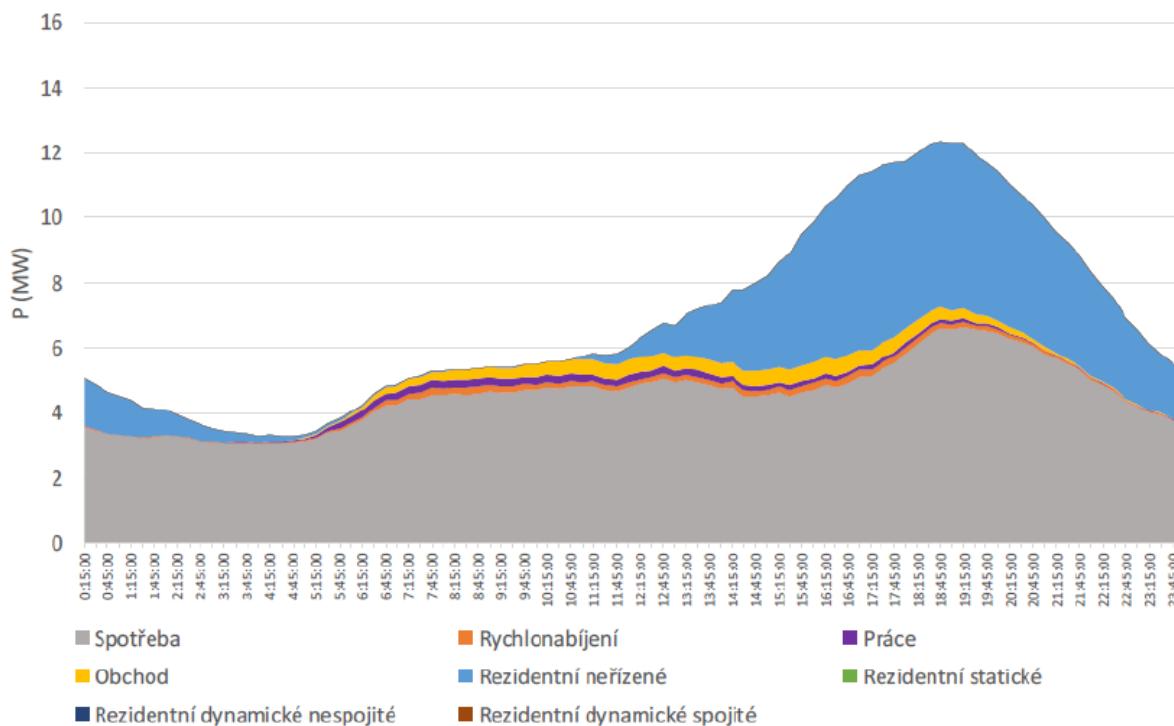


Graf B13: Denní průběh potřebného výkonu (rok 2045) [116]

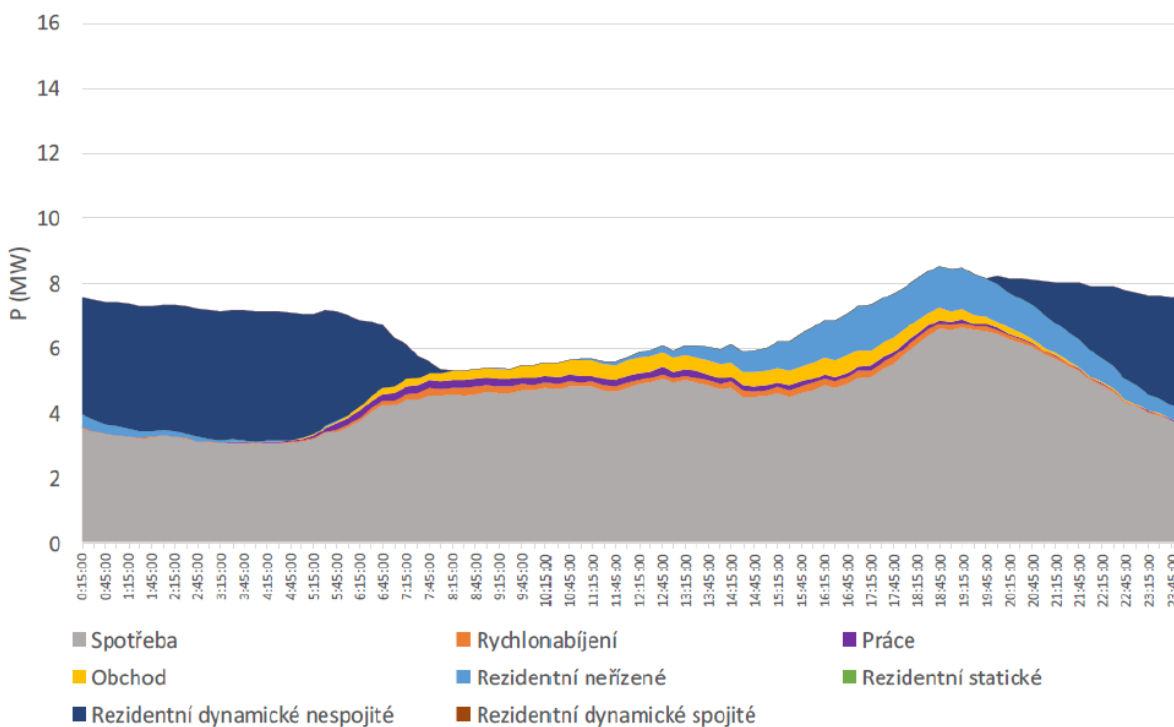


Graf B14: Nárůst výkonu v roce 2045 (vysoký scénář, střední hodnota) [116]

V závěru je konstatována nutnost řešení soudobosti nabíjení. Z prezentace vztahující se ke zmíněným studiím vyplývá, že statické řízení nabíjení může snížit investice do distribuční soustavy vyvolané elektromobilitou do roku 2040 přibližně o 40 % (35 mld. CZK), dynamické nespojitě o 60-70 % (55-65 mld. CZK) a dynamické spojitě až o 90 % (80 mld. CZK). V případě řízeného nabíjení nicméně nebylo uvažováno s náklady na samotný systém řízení. Dle výsledků modelování sídliště s 25 000 obyvateli a 8 000 elektromobily způsobí neřízené nabíjení elektromobilů nárůst špičkového výkonu z cca 7 MW na přibližně 12,5 MW (graf B15), pokud se však využije dynamické nespojitě řízení nabíjení, vzroste špička pouze na cca 8,5 MW (současně dojde ke zvýšení potřebného výkonu v nočních hodinách z 3-5 MW na 7-8 MW), jak je patrné z grafu B16. [116] [117]



Graf B15: Potřebný výkon při neřízeném nabíjení na sídlišti s 25 000 obyvateli a 8 000 elektromobily [117]



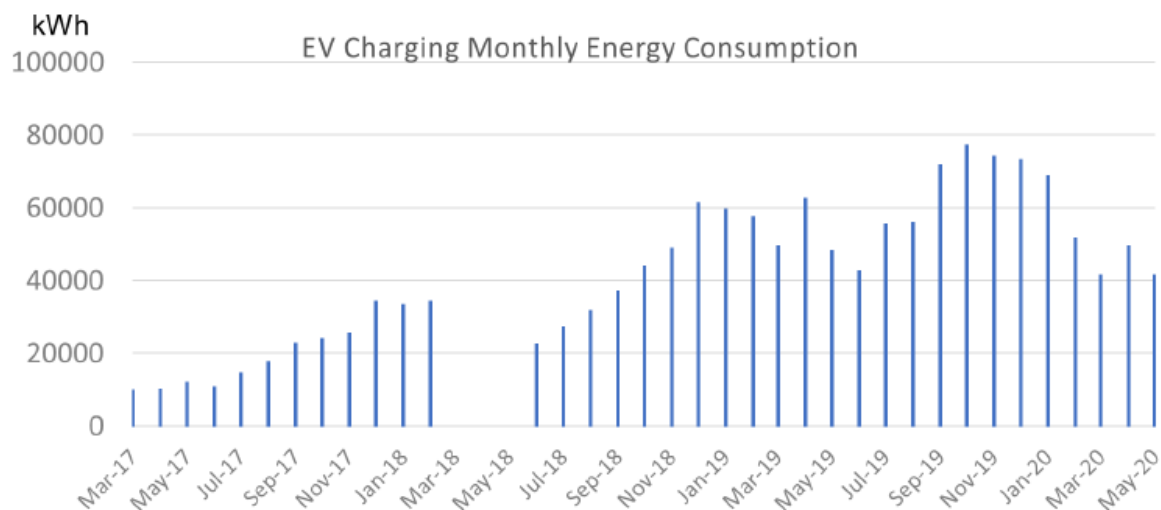
Graf B16: Potřebný výkon při dynamickém nespojitěm nabíjení na sídlišti s 25 000 obyvateli a 8 000 elektromobily [117]

2.4 Zkušenosti s provozem nabíjecího hubu Vulkan v Oslu

Předmětný nabíjecí hub se nachází v parkovacím domě v developerském projektu Vulkan v Oslu. Kromě tohoto parkovacího domu jsou součástí byty, kanceláře, obchody, restaurace apod. Jak již bylo zmíněno, v místě se nachází 450 parkovacích míst, přičemž u 100 je k dispozici AC nabíjení výkonem 22 kW (50 nabíjecích stanic se dvěma nabíjecími body) a u 2 je k dispozici DC nabíjení výkonem 50 kW (2 nabíjecí stanice, přičemž každá je vybavena konektory CCS2 a CHAdeMO). Všechny nabíjecí stanice disponují chytrým nabíjením a AC nabíjecí stanice jsou připraveny pro funkci V2G. Hub je napájen vedením 10 kV a je vybaven baterií o kapacitě 50 kWh a výkonu 50 kW pro zmírnění výkonových špiček. Maximální odběr budovy s hubem je 800 kW, přičemž je snaha nepřekračovat hodnotu 700 kW. [118]

AC nabíjení bylo zpočátku (2017) zpoplatněno podle nabíjecího výkonu (od 2,00 NOK/kWh pro 3,6 kW po 2,75 NOK/kWh pro 22 kW), později (2018) byla cena sjednocena na 2,00 NOK/kWh. V noci bylo AC nabíjení zdarma. DC nabíjení bylo zpoplatněno částkou 2,5 NOK/min, v roce 2020 pak byla cena zvednuta na 3,1 NOK/min. Parkování bylo v noci pro rezidenty zdarma (bylo pronajato městem Oslo za účelem omezení nutnosti investic do pouličního nabíjení), přes den pak bylo zpoplatněno částkou 15 NOK za každých započatých 15 min (maximálně však 270 NOK/24 hodin). [118]

Během prvních 319 dnů provozu (1. 1. 2017 až 16. 11. 2017) bylo provedeno 7 085 nabíjecích cyklů v případě AC nabíjení (průměrně 70,85 na jedno nabíjecí místo, využití však bylo nerovnoměrné) a 3 007 nabíjecích cyklů na 2 DC stanicích (tedy 1 503,50 na každé). AC nabíjení trvalo průměrně 182,00 min a nabito bylo průměrně 13,19 kWh. DC nabíjení trvalo průměrně 21,46 min, přičemž nabito bylo průměrně 9,04 kWh. V roce 2017 byla celková průměrná měsíční spotřeba 16 178 kWh, v roce 2018 to bylo 34 591 kWh a v roce 2019 dosáhla 59 469 kWh. Spotřeba elektřiny v jednotlivých měsících provozu je zobrazena v grafu B17. V grafu je patrná vyšší spotřeba v zimních měsících a celkový rostoucí trend. Odběrová špička byla dlouhodobě mezi 19. a 21. hodinou, naopak nejnižších odběrů bylo dosahováno mezi 5. a 7. hodinou. V roce 2017 činil maximální odebíraný výkon 64,8 kW, v roce 2018 to bylo již 176 kW, o rok později 309 kW a v roce 2020 pak 378 kW. Tyto maximální hodnoty byly zaznamenány v zimních měsících. [118]



Graf B17: Měsíční spotřeba elektřiny nabíjecího hubu Vulkan v Oslu [118]

Zdroje

- [23] MORKUS, Josef. Přednášky předmětu Hybridní pohony. Praha: ČVUT, 2021.
- [38] Mitsubishi Outlander PHEV podrobně: vyspělá technika elektromobilu v dobrodružné čtyřkolce. Hybrid.cz [online]. Chamanne, (c) 2006 - 2022 [cit. 2022-05-27]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/mitsubishi-outlander-phev-podrobne-vyspela-technika-elektromobilu-v-dobrodruzne-ctyrkolce/>
- [50] I dotované nabíjecí stanice prodělávají. Má je uživit hrstka elektromobilů. E15.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2022 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/i-dotovane-nabijeci-stanice-prodelavaji-ma-je-uzivit-hrstka-elektromobilu-1385880>
- [51] Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu – část I., typy nabíjení. TZB-info [online]. © Copyright Topinfo, 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-i>
- [52] ČSN EN IEC 61851-1. Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Obecné požadavky. 3. 2020.
- [53] Režimy nabíjení. Autonabíjení.cz [online]. Autonabijeni.cz, Copyright 2022 [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/rezimy-nabijeni/>
- [54] Důležité komponenty elektromobilů a plug-in hybridů. Autonabíjení.cz [online]. Autonabijeni.cz, Copyright 2022 [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/dulezite-komponenty-elektromobilu-a-plug-in-hybridu/%C2%A8/>
- [55] Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu?. LAMA Energy [online]. Jihlava: LAMA energy, © 2022 [cit. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.lamaenergy.cz/podpora/zajimavosti/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu-2/>
- [56] Vehicle-to-Grid (V2G): Everything you need to know. Virta [online]. Virta Global, ©2022 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://www.virta.global/vehicle-to-grid-v2g>

- [57] BU-412: Charging without Wires. Battery University [online]. Isidor Buchmann, © 2022 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-412-charging-without-wires>
- [58] KOSTOPOULOS, Emmanouil D., George C. SPYROPOULOS a John K. Kaldellis KALDELLIS. The Well-to-Wheel Analysis Measurable and Plannable Environmental Performance. Energy Reports [online]. 2020, (6), 418-426 [cit. 2022-11-05]. ISSN 2352-4847. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1365/s38313-012-0137-2](https://doi.org/10.1365/s38313-012-0137-2)
- [65] Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR [online]. Praha: EUROENERGY, 2018 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/konference-seminare/elektromobilita--240934/>
- [68] Dopad elektromobility do DS ČR [online]. Brno: EGÚ Brno, 2019 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2020/3/Integrace_emobility_loadflow_studie_EGU.pdf
- [69] Shoda na emisních cílech CO2 otevírá možnost prodávat automobily se spalovacími motory i po roce 2035. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, © 2008–2023 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20221028-Shoda-na-emisnich-cilech-CO2-otevira-moznost-prodavati-automobily-se-spalovacimi-motory-i-po-roce-2035
- [92] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách). In: Sbírka zákonů. ročník 2006, číslo 311.
- [93] Seznam veřejných dobíjecích stanic — stav k 31. 12. 2022. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. MPO, © Copyright 2005 - 2023, 12. 1. 2023 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/statistika-a-evidence-cerpacich-a-dobijecich-stanic/seznam-verejnych-dobijecich-stanic--stav-k-31--12--2022--271957/>
- [94] Mapa nabíjecích stanic. FDrive.cz [online]. 24net, © 2023 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/mapa-nabijecich-stanic/>

- [95] KADULA, L., L. ŠPIČKA, J. SEDONÍK, J. ELGNER a V. CÍCHA. Metodika rozvoje dobíjecí infrastruktury v ČR [online]. © Centrum dopravního výzkumu, 2019–2023 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://www.shopcdv.cz/cs/metodika-rozvoje-dobijeci-infrastruktury-v-cr>
- [96] European Alternative Fuels Observatory: Czech Republic. European Alternative Fuels Observatory [online]. Directorate-General for Mobility and Transport [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/czech-republic/infrastructure>
- [97] Optimalizace veřejné dobíjecí infrastruktury v ČR. Čistá doprava [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/mapy/ev/>
- [98] Kde nás najdete. Tesla Česko [online]. Tesla, © 2023 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_cz/findus
- [99] Projeli jsme Volkswagen ID. Buzz na českých silnicích. YouTube [online]. Google, © 2023 [cit. 2023-01-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=rClw_TiOfZQ
- [100] Všichni ho chtějí a nikdo nenabízí. Jak to je s bezdrátovým nabíjením aut?. FDrive.cz [online]. 24net, © 2023 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/vsichni-ho-chteji-a-nikdo-nenabizi-jak-to-je-s-bezdratovym-nabijenim-aut-9096>
- [101] Jak nabíjet elektromobil za jízdy? Možnosti existují a už se i testují. FDrive.cz [online]. 24net, © 2023 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-nabijet-elektromobil-za-jizdy-moznosti-existuji-a-uz-se-i-testuji-5205>
- [102] Stellantis umí nabíjet auto za jízdy. Odpadne potřeba nabíjecích stanic?. Auto.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2023 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/stellantis-umi-nabijet-auto-za-jizdy-odpadne-potreba-nabijecich-stanic-144554>

- [103] Elektrický autobus zkusí silnici vybavenou bezdrátovým nabíjením za jízdy. Auto.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2023 [cit. 2023-01-24]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/elektricky-autobus-zkusi-silnici-vybavenou-bezdratovym-nabijenim-za-jizdy-147199>
- [104] Easelink [online]. Easelink, © 2022 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: <https://easelink.com/>
- [105] Li-ion baterie přebírají vládu v manipulační technice. Odborný magazín Logistika týdeníku Ekonom [online]. Economia, a.s, ©1996-2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://logistika.ekonom.cz/c1-66500960-li-ion-baterie-prebiraji-vladu-v-manipulacni-technice>
- [106] Electric car group Better Place files for bankruptcy. Financial Times [online]. © THE FINANCIAL TIMES, 2023 [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.ft.com/content/f36f685a-c5d5-11e2-99d1-00144feab7de>
- [107] NIO a stanice na výměnu baterií. Co to je a jak fungují?. Niofan [online]. [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.niofan.cz/nio-a-stanice-na-vymenu-baterii-co-to-je-a-jak-funguji/>
- [108] NIO zveřejnilo evropské ceny elektromobilů. Přímý prodej začal právě dnes (aktualizováno). Niofan [online]. [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://www.niofan.cz/nio-zverejnilo-evropske-ceny-elektromobilu-primy-prodej-zacal-prave-dnes/>
- [109] P3 Charging Index Report 07/22 – Comparison of the fast charging capability of various electric vehicles. P3 group [online]. Stuttgart: P3 group [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: https://www.p3-group.com/en/p3-charging-index-comparison-of-the-fast-charging-capability-of-various-electric-vehicles-from-a-users-perspective_07-22/
- [110] Jak vybrat wallbox pro domácí nabíjení elektromobilu? Můžete dostat i dotaci. FDrive.cz [online]. 24net s.r.o, © 2023 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/jak-vybrat-wallbox-pro-domaci-nabijeni-elektromobilu-muzete-dostat-i-dotaci-8813>

- [111] Velký test VW ID. Buzz - Auto, které vám zlepšší náladu. YouTube [online].
Google, © 2023 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z:
<https://www.youtube.com/watch?v=qq--UHKd4Wo>
- [116] Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045 [online]. Praha: EUROENERGY, 2021 [cit. 2023-02-09]. 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
- [117] Aktualizace predikce vývoje elektromobility v ČR do roku 2045. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. MPO, © Copyright 2005 - 2023, 2022 [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/jednani-think-tanku-nap-sg-dne-31--5--2022--268023/>
- [118] Kotter, Richard & Dai, Xuewu & Putrus, Ghanim & Wang, Yue & Das, Ridoy & Bentley, Edward & Marzband, Mousa & Hoogt, Jorden. (2020). Final report- Oslo Operational Pilot: https://www.seev4-city.eu/wp-content/uploads/2020/09/SEEV4-City-Oslo-Operational-Pilot_Final-Report.pdf.

Seznam zkratek

| | |
|---------|---|
| A | Ampér (jednotka elektrického proudu) |
| AC | střídavý elektrický proud |
| BEV | bateriový elektromobil (battery electric vehicle) |
| CCS2 | Combined Charging System – Combo 2 (typ nabíjecího konektoru) |
| CHAdeMO | CHArge de MOve (typ nabíjecího konektoru) |
| CZK | česká koruna |
| ČR | Česká republika |
| DC | stejnoseměrný elektrický proud |
| EU | Evropská unie |
| EUR | euro |
| km | kilometr (jednotka vzdálenosti) |
| km/h | kilometr za hodinu (jednotka rychlosti) |
| kV | kilovolt (jednotka elektrického napětí) |
| kW | kilowatt (jednotka výkonu) |
| kWh | kilowatthodina (jednotka energie) |
| MHD | městská hromadná doprava |
| mil. | milion |
| min | minuta (jednotka času) |
| mld. | miliarda |
| mm | milimetr (jednotka vzdálenosti) |
| MPO | ministerstvo průmyslu a obchodu |
| MVA | megavoltampér (jednotka elektrického výkonu) |
| MW | megawatt (jednotka výkonu) |

| | |
|------|--|
| MWh | megawatthodina (jednotka energie) |
| NN | nízké napětí |
| NOK | norská koruna |
| ORP | obec s rozšířenou působností |
| PHEV | plug-in hybridní vozidlo (plug-in hybrid electric vehicle) |
| Q4 | 4. kvartál |
| TWh | terrawatthodina (jednotka energie) |
| USA | Spojené státy americké (United States of America) |
| USD | americký dolar |
| V | volt (jednotka elektrického napětí) |
| V2G | vehicle-to-grid |
| V2H | vehicle-to-home |
| V2L | vehicle-to-load |
| V2X | vehicle-to-X |
| VN | vysoké napětí |
| VVN | velmi vysoké napětí |
| VW | Volkswagen |
| W | watt (jednotka výkonu) |

Seznam obrázků

- Obrázek B1: Nabíjecí režimy (pozn.: zelený text popisuje úroveň bezpečnosti) [53]
- Obrázek B2: Konektory CCS2 a Mennekes Type 2 [51]
- Obrázek B3: Společná zástrčka konektorů CCS2 a Mennekes Type 2 na vozidle [51]
- Obrázek B4: Konektor CHAdeMO [51]
- Obrázek B5: Oddělené zástrčky konektorů CHAdeMO a Mennekes Type 2 na vozidle [51]
- Obrázek B6: DC nabíjecí stanice v České republice s výkonem do 150 kW [97]
- Obrázek B7: DC nabíjecí stanice v České republice s výkonem nad 150 kW [97]
- Obrázek B8: Matrix Charging společnosti Easelink [104]

Seznam tabulek

- Tabulka B1: Počty nabíjecích stanic a bodů dle MPO k 31. 12. 2022 [93] [94]
- Tabulka B2: Nabíjecí body dle Evropské observatoře alternativních paliv ke Q4 2022 [96]

Seznam grafů

- Graf B1: Závislost nabíjecího výkonu na míře nabití baterie [109]
- Graf B2: Plošná projekce počtu osobních automobilů v jednotlivých scénářích [65]
- Graf B3: Očekávaná potřeba počtu a struktury nabíjecích stanic ve vysokém scénáři [65]
- Graf B4: Maximální potřebný současný výkon při vysokém scénáři (všechny segmenty) [65]
- Graf B5: Denní průběh potřebného výkonu (rok 2040, vysoký scénář, všechny segmenty) [65]
- Graf B6: Nárůst výkonu v roce 2040 (vysoký scénář, všechny segmenty, 95. percentil) [65]
- Graf B7: Mapa výkonového deficitu v síti nízkého napětí (rok 2040, vysoký scénář) [68]
- Graf B8: Řešení požadavků na elektrický výkon velkého dálničního nabíjecího centra [68]
- Graf B9: Projekce počtu osobních automobilů v jednotlivých scénářích po aktualizaci [116]
- Graf B10: Projekce počtu BEV a PHEV po aktualizaci [116]
- Graf B11: Počet a struktura nabíjecích stanic v aktualizovaném vysokém scénáři [116]
- Graf B12: Maximální potřebný současný výkon vysokém scénáři [116]
- Graf B13: Denní průběh potřebného výkonu (rok 2045) [116]
- Graf B14: Nárůst výkonu v roce 2045 (vysoký scénář, střední hodnota) [116]
- Graf B15: Potřebný výkon při neřízeném nabíjení na sídlišti s 25 000 obyvateli a 8 000 elektromobily [117]
- Graf B16: Potřebný výkon při dynamickém nespojitém nabíjení na sídlišti s 25 000 obyvateli a 8 000 elektromobily [117]
- Graf B17: Měsíční spotřeba elektřiny nabíjecího hubu Vulkan v Oslu [118]