

České vysoké učení technické
v Praze,
Fakulta elektrotechnická



Diplomová práce
Elektromobilita v Praze

Štefan Kecskes

Oldřich Starý, vedoucí práce

Katedra obhajoby:

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kecskes** Jméno: **Štefan** Osobní číslo: **422652**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Elektromobilita v Praze

Název diplomové práce anglicky:

Electromobility in Prague

Pokyny pro vypracování:

Popište očekávaný vývoj elektromobility v Praze
Zjistěte nároky na distribuční síť
Proveďte ekonomicko technickou studii pro zvolené scénáře
Navrhněte kroky pro realizaci cílů elektromobility

Seznam doporučené literatury:

T. Altenburg, E. W. Schamp, a A. Chaudhary, „The emergence of electromobility: Comparing technological pathways in France, Germany, China and India“, Sci. Public Policy, roč. 43, č. 4, s. 464–475, 2016.
International Energy Agency, „Global EV Outlook 2017: Together Secure Sustainable“, IEA Pub, s. 1–71, 2017.
INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, „CHINA'S NEW ENERGY VEHICLE MANDATE POLICY (FINAL RULE)“, 2018.
L. Joller a U. Varblane, „Learning from an electromobility living lab: Experiences from the Estonian ELMO programme“, Case Stud. Transp. Policy, roč. 4, č. 2, s. 57–67, čer. 2016.
E. Figenbaum, T. Assum, a M. Kolbenstvedt, „Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities“, Res. Transp. Econ., 2015.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

prof. Ing. Oldřich Starý, CSc., katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **13.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2020**

prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 22.5.2019

Štefan Kecskes

Abstrakt

Tato diplomová práce se nejprve zabývá popisem rozvoje elektromobility ve světě, v ČR a v Praze. Důraz je kladen na země, jejichž rozvoj elektromobility by mohl ovlivnit nebo predikovat budoucí rozvoj v ČR (např. Německo, Estonsko, Norsko). Dále jsou popsány očekávané scénáře rozvoje elektromobility v ČR a v Praze, včetně místních specifik ovlivňujících tento rozvoj. V práci jsou poté rozvedeny nároky na distribuční soustavu v Praze v podobě nároků dobíjecích stanic. Konkrétněji jde o technická specifika dobíjecích stanic a připojení k distribuční síti, vývoj počtu dobíjecích stanic v Praze a vývoj jejich výkonových nároků. V další části je vytvořen a popsán technickoekonomický model rozvoje elektromobility v Praze. Jeho výstupem jsou hodnoty kritérií NPV a RCF. V závěru jsou navrženy kroky k realizaci cílů elektromobility reflektující výsledky modelu.

Klíčová slova: EV, elektrická vozidla, dobíjecí stanice, vývoj elektromobility, elektromobilita v Praze, distribuční síť, cena elektromobility

Abstract

This thesis deals with the description of electromobility development in the world, in the Czech Republic and in Prague. Emphasis is placed on countries whose development of electromobility could influence or predict future development in the Czech Republic (eg Germany, Estonia, Norway). Furthermore, the expected scenarios of electromobility development in the Czech Republic and Prague, including local specifics affecting this development, are described. Then the demands on the distribution system in Prague (charging station requirements) are elaborated. More specifically, it concerns the technical specifics of charging stations and connection to the distribution network, the development of the number of charging stations in Prague and the development of their performance requirements. In the next part a technical-economic model of electromobility development in Prague is created and described. Its outputs are the values of the NPV and RCF criteria. In conclusion, steps are proposed to realize the electromobility goals reflecting the results of the model.

Keywords: EV, electric vehicles, charging station, development of electromobility, electromobility in Prague, distribution network, price of electromobility

Obsah

Abstrakt.....	7
Seznam použitých zkratk 11	11
Rozvoj elektromobility v Praze 13	13
Popište očekávaný vývoj elektromobility v Praze..... 14	14
Dosavadní vývoj elektromobility ve světě a v ČR..... 14	14
Historie..... 14	14
Očekávání a národní podmínky. 15	15
Příklady implementací elektromobility..... 15	15
Podmínky pro elektromobilitu v ČR..... 17	17
Cena EV. 18	18
Další faktory ovlivňující zákazníky. 18	18
Státní podpora. 18	18
Provozovatelé DS..... 19	19
Zvláštní postavení Prahy..... 19	19
Očekávané scénáře vývoje..... 20	20
Predikce počtu EV..... 20	20
Zjistěte nároky na distribuční síť 22	22
Typy dobíjecích stanic a jejich příkony 22	22
Připojování k dobíjecích stanic k DS..... 24	24
Projekce počtu dobíjecích stanic..... 25	25
Projekce nárůstu zatížení a jeho rozložení v DS..... 25	25
Řízené dobíjení 27	27
Proveďte ekonomicko-technickou studii pro zvolené scénáře 28	28
Popis modelu..... 28	28
Elektrická vedení. 28	28

Distribuční transformátory.....	28
Dobíjecí stanice.....	28
Ztráty.....	29
Výběr scénářů.....	30
Projekce vstupů.....	31
Technické vstupy.....	31
Ekonomické vstupy.....	32
Výpočet a výsledky.....	33
Technické výpočty.....	33
Ekonomické výpočty.....	34
Výsledky.....	35
Citlivostní analýza.....	35
Navrhnete kroky k realizaci cílů elektromobility.....	37
Cíle elektromobility.....	37
Podpora seskupování DoS.....	37
Omezení ztrát.....	38
Závěr.....	39
Přílohy.....	41
Bibliografie.....	42

Seznam použitých zkratek

(řazeno chronologicky)

ČR – Česká republika

PSA – francouzský koncern automobilek „Groupe PSA“

EV – elektrické vozidlo

BEV – bateriové elektrické vozidlo

PHEV – hybridní elektrické vozidlo s možností nabíjení ze sítě

NEV – new energy vehicle

ZEV – zero emissions vehicle

LSEV – nízkorychlostní elektrické vozidlo

EU – Evropská unie

NEVA – norské asociace pro elektromobilitu

DPH – daň z přidané hodnoty

VIP – very important person

MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu

NAP ČM – Národní akční plán Čistá mobilita

PPDS – Pravidla provozování distribučních sítí

MD – Ministerstvo dopravy

PDS – provozovatel(é) distribuční(ch) sítě(sítí)

DS – distribuční soustava

HDP – hrubý domácí produkt

ERÚ – Energetický regulační úřad

NAP SG – Národní akční plán pro Smart grids

OA – osobní automobily

NN – nízké napětí

VN – vysoké napětí

SO ORP – správní obvod obce s rozšířenou působností

DoS – dobíjecí stanice

V2G – vehicle to grid

HDO – hromadné dálkové ovládání

CF – hotovostní tok

WACC – vážená cena kapitálu

ERÚ – Energetický regulační úřad

- dTR – distribuční transformátor
- DDZ – denní diagram zátěže
- NS – nízký scénář
- ČNB – Česká národní banka
- PXE – Pražská energetická burza
- NPV – čistá současná hodnota
- RCF – ekvivalentní roční hotovostní tok
- PID – Pražská integrovaná doprava

Diplomová práce
Elektromobilita v Praze

Elektromobilita se v současnosti těší velkému zájmu široké veřejnosti. Hlavním důvodem jsou zřejmě chystaná omezení pro automobilový průmysl. Očekává se, že půjde o náhradu stávajících automobilů ve výhledu příštích desítek let. Alternativy sice jsou např. auta na vodík, ale jejich vývoj je převážně ve stadiích prototypů a uvažované technologie nejsou dostatečně prověřené. Naproti tomu elektrická vozidla stojí na prověřené technologii elektromotorů a jejich hlavní slabinou se zdá být cena baterií (a potažmo ekologická stopa při jejich výrobě). Bez ohledu na to, zda jsou elektrická vozidla efektivní cestou, je v zájmu všech zúčastněných být připraveni na jejich možný příchod. Já se přitom zaměřím na dvě hlediska.

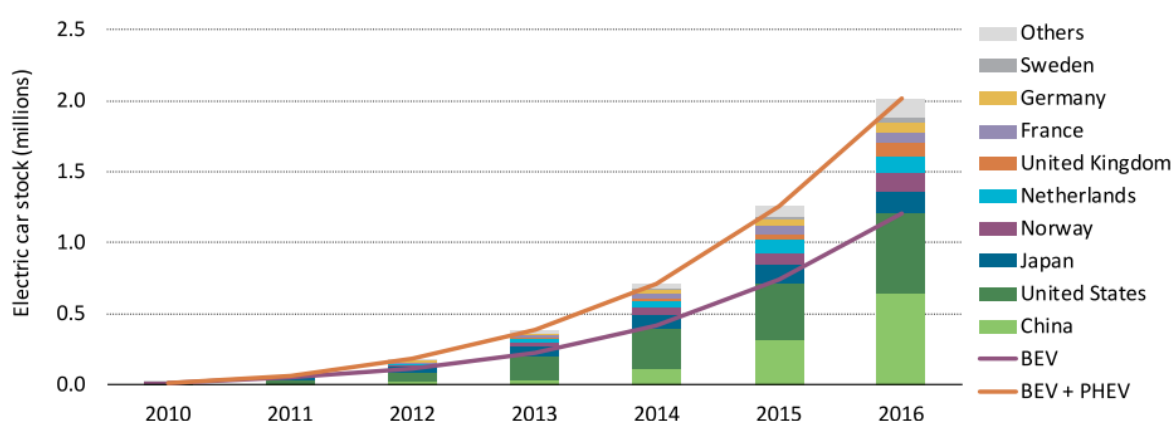
Prvním je vliv rozvoje elektromobility na distribuční síť. Distribuční síť se vyvíjí pomalu a její rozvoj je nákladný. Je třeba plánovat ve velmi dlouhých horizontech, protože skokové změny jsou často jak ekonomicky, tak technicky a byrokraticky neuskutečnitelné. Prudký, nevhodně řízený rozvoj elektromobility by mohl provoz a rozvoj distribuční sítě velmi prodražit a dokonce i samotnou síť poškodit. A je podstatné říci, že zvýšené náklady nebudou trápit jen distributory, ale i všechny ostatní odběratele elektřiny v podobě její vysoké ceny.

Druhým hlediskem je odhadnout celkovou cenu, jakou za rozvoj elektromobility v Praze dle plánovaných scénářů zaplatíme. Elektromobilita je často prezentována jako samospasné řešení, ale její cena je, ať už úmyslně, či neúmyslně, opomíjena. Přitom vzhledem k částkám, s jakými distributoři elektřiny běžně operují, může jít o řády miliard korun. Proto se budu věnovat odhadu ceny dobíjecí sítě, včetně připojení na stávající distribuční síť, pro elektromobilitu v Praze.

Popište očekávaný vývoj elektromobility v Praze

Dosavadní vývoj elektromobility ve světě a v ČR

Historie. První vlna rozvoje elektromobilů současného druhu přišla v 90. letech minulého století. V Evropě šlo konkrétně o koncern PSA a jeho sériově vyráběné modely Peugeot 106 Électrique a Citroën Saxo Électrique. Seriózní nástup elektromobility však můžeme sledovat až od roku 2009 a současnou hlavní motivaci, snižování emisí, lze vyčíst už např. z francouzského „Low Carbon Vehicle Plan“ (2009). Spolu s Francií se pustily do výroby bateriových elektrických vozidel (BEV) a hybridních elektrických vozidel s možností dobíjení ze sítě (PHEV) i japonské a americké automobilky. V roce 2014 se k nim pak přidaly automobilky německé. Jak dokumentuje obrázek níže (Obrázek 1), od roku 2009 narůstá počet prodaných elektrických vozidel (EV) celosvětově prudkým tempem. Za posledních deset let vzrostlo toto číslo z několika tisíc (2007) na více než 3 milióny (2017). Největší absolutní přírůstky zaznamenávají pochopitelně nejsilnější ekonomiky, Čína a USA. Z relativního národního pohledu jsou lídry evropské země v čele s Norskem, na jehož trhu měla EV v roce 2017 podíl 39 %. [1], [2]



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolutions.

Sources: IEA analysis based on EVI country submissions, complemented by EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017).

Obrázek 1 Vývoj celosvětového počtu elektromobilů 2010-2016 [2]

Očekávání a národní podmínky. Různá očekávání a národní podmínky se projevují ve vytyčení cílů i způsobech podpory elektromobility. Například čínská vláda a municipality si od EV slibují úlevu od smogu ve velkoměstech. Podle posledních úprav „New energy vehicle mandate policy“ počítají s nařízeným 10% podílem NEV¹ na prodejích automobilů v roce 2019 a 12% podílem v roce 2020. [3] Tento přístup kopíruje kalifornský „ZEV mandate“. Díky silnému průmyslovému zázemí si Čína může dovolit vyrábět levná nízkorychlostní elektrická vozidla (LSEV) (i když minimální rychlost dle NEV¹ je nyní 100 km/h) i za využití starších technologií. Při použití na krátké trasy (pro bateriová vozidla je dle NEV stanoven minimální dojezd 100 km) jsou čínská LSEV dostačující, nevytváří lokální smog a přesouvají emisní zátěž na elektrárny. Je však nutné poznamenat, že často využívají olověných baterií, které nejsou příliš ekologické. V Evropě jsou očekávání odlišná. Z pohledu EU jde především o dekarbonizaci dopravy (viz např. směrnice 2014/94/EU), ovšem občané očekávají vozidla s obvyklou mírou komfortu, dlouhým odjezdem, rychlým čerpáním energie a za přijatelnou cenu. U zemí, jako je Norsko, jejichž palivový mix obsahuje velký podíl obnovitelných zdrojů energie, pak jde i o možnost významného absolutního snížení produkovaných emisí. [1]

Příklady implementací elektromobility. V příkladech se omezím na evropské státy, protože jejich vývoj elektromobility by mohl do jisté míry predikovat vývoj v ČR.

Německo. S Německem jakožto sousední zemí máme velmi provázanou ekonomiku i elektroenergetiku. Je to země se silně exportně zaměřeným a tradičním automobilovým průmyslem. Německo se svými ambicemi v elektromobilitě a obecně v ekologii se jeví jako země, jejíž vývoj elektromobility by mohl ovlivňovat, a do jisté míry i predikovat vývoj u nás. Německo samotné začalo s implementací elektromobility se značným zpožděním (2014) oproti ostatním Francii a dalším mimoevropským státům (2009). Jeho výchozí pozice byla zatížena orientací na výkonné, a tím pádem i vysokoemisní motory (Mercedes-Benz, Audi, BMW), a zanedbaným výzkumem a vývojem v oblasti baterií. Pro srovnání: průměrné emise automobilů byly v Německu v roce 2012 nejvyšší v Evropě. Díky tradičně dobrému zázemí v inovacích a vývoji však začaly německé automobilky své konkurenty brzy dohánět. Zvolily strategii implementovat elektromobilitu nejprve do kategorií nadstandardních vozů, kde využily své dřívější zkušenosti k vývoji hybridních vozů. Dále se také soustředily na standardizaci a modularizaci technologií pro PHEV i BEV. V rámci mezioborové spolupráce se také v Německu objevil nový podnikatelský model e-carsharing, založený na sdíleném využívání

¹ „New energy vehicle“ označuje několik typů elektromobilů s vymezenými parametry (např. dojezd, max. rychlost, ...) viz. [3]

elektromobilů. Ten umožňuje přenést vysoké počáteční investice do elektromobilu na podnikatelský subjekt, který svým zákazníkům vůz pronajímá na jednotlivé jízdy, většinou v rámci velkoměsta. [1], [4]

Estonsko. Estonská elektromobilizace začala v roce 2011, kdy uzavřela estonská vláda obchod s japonskou automobilkou Mitsubishi. Mitsubishi výměnou za nevyužité emisní povolenky v letech 2012-2013 dodala přes 500 BEV pro estonské sociální pracovníky. Zároveň byla vybudována celonárodní síť veřejných rychlonabíjecích stanic. Během řádově měsíců se EV rozšířila po celém Estonsku. Tento program byl proveden jako „living lab“, tedy se zaměřením na rychlý vývoj designu v celonárodním měřítku, a Estonsko i zapojené firmy získaly cenné zkušenosti s EV. Na to navázal štedrý dotační program pro soukromé zájemce, který trval do roku 2014 a týkal se okolo dalších 500 EV. Po skončení dotačního programu se nárůst EV zpomalil a v současné době stagnuje. Zkušenosti estonských veřejných i soukromých uživatelů EV byly v rámci pilotního programu hodnoceny jako pozitivní a Estonsko získalo stabilní počáteční zázemí pro případ, že potřebné technologie zlevní a EV se stanou cenově konkurenceschopnými. Za klíčové faktory byly na základě pilotního programu označeny: aktivní role vlády a politiků, systémový přístup, příprava podpůrných opatření a možnosti projekt opustit, nové byznysové modely nevyžadující soukromé vlastnictví EV, využití zpětné vazby z pilotních projektů. [5]

Norsko. Norská elektromobilita začala již v sedmdesátých letech minulého století. V první fázi šlo o dotovaný výzkum, který záhy, již v devadesátých letech, přešel do testovací fáze. Díky úspěšnému lobby norských výrobců EV byla EV přiznána značná státní podpora ve formě osvobození např. od registračního poplatku, dálničního mýtného, a poté i parkování ve městech zdarma nebo snížení daní. Bez podpory by tehdejší malá dráhá a ne příliš komfortní EV neměla na trhu žádnou šanci. Přes tato i další přidávaná podpůrná opatření však na trhu až do roku 2011 neuspěly ani domácí firmy, ani např. americká automobilka Ford. V letech 2010/11 vstoupily na norský trh velké automobilky Mitsubishi, Peugeot, Citroen a Nissan a prodeje jejich BEV prudce rostly. Za podpory norské asociace pro elektromobilitu NEVA i státní organizace Transnova se z téměř čtyřicet let připravovaného podhoubí začala rodit norská elektromobilita, jak ji vidíme dnes. Za klíčové faktory úspěchu EV v Norsku se považují dlouhodobá podpora politiků, aktivní lobby organizací pro elektromobilitu a zřejmě jedna ze světově nejdražších finančních státních podpor. Mezi nejdůležitější podpůrná opatření patří osvobození od DPH, které pro automobily v Norsku činí 25 %. Dalším důležitým opatřením je i osvobození od mýtného. V oblastech okolo města Oslo to může činit roční úsporu 600-1000€, ale v některých oblastech až 2500 €. Třetím klíčovým opatřením se ukázalo umožnění jízdy

EV v pruzích pro autobusy. Kombinací těchto opatření uživatelé EV získali jak jednorázovou úsporu na investičních nákladech, tak značnou úsporu na provozních nákladech, ale i větší komfort při jízdě v dopravní špičce a sociální kredit ve formě „VIP vstupu do města”. [6], [7] Tato podpůrná opatření se ukázala jako opravdu účinná. Poptávka po EV v Norsku stále roste a podle aktuálních zpráv vysoce převyšuje nabídku. Na EV jsou čekací seznamy a v listopadu 2018 na nich bylo okolo 40 000 čekatelů. Doba čekání na nová EV může být delší než jeden rok. Podobnou situaci musí Norové řešit i ohledně dobíjecích stanic. Například v Oslu chybí nabíjecí stanice desítkám tisíc domácností. Přesto současné cíle počítají se 100% podílem bezemisních vozidel² na norském trhu v roce 2025. [8], [9]

Podmínky pro elektromobilitu v ČR

I přes rychlý globální rozvoj jsou v ČR EV okrajovou záležitostí. V nabídce je u nás několik desítek modelů EV, ale aktuální odhad registrovaných vozidel je okolo 2000. Když to porovnáme s celkovým stavem vozového parku osobních automobilů, což představuje přibližně 5,8 mil. vozidel, jde o zanedbatelnou část. Hlavními technickoekonomickými důvody jsou vysoká cena EV, nedostatečná nabíjecí infrastruktura, ale i nízký dojezd standardních modelů EV [10]. Dalšími důvody mohou být nízká informovanost zákazníků o důvodech zavádění EV a s nimi související angažovanost v environmentálních problémech, které mají EV řešit. Těmito sociálními a environmentálními důvody se však nebudu zabývat, protože nejsou předmětem této práce.

² Termínem „bezemisní vozidla“ se pro potřeby této práce rozumí vozidla nevytvářející lokální emise při své práci. Tato vozidla nemusí být bezemisní v konečném globálním důsledku.

Cena EV. Pro potřeby mé práce budu porovnávat standartní modely vozidel (kategorie malé a střední), protože jejich cílová skupina zákazníků je nejširší. V tabulce níže (Tabulka 1) vidíme, že cena standartního modelu EV se pohybuje okolo 800–1 000 tis. Kč. Při srovnání s konvenčními automobily zjistíme, že jde o cenové pásmo nadstandartních modelů. Např. u v ČR stále nejprodávanější značky Škoda [11] se ceny standartních modelů pohybují okolo 300 tis. Kč (Fabia, Rapid). [12]

Model EV	Cena dle [13]
Nissan Leaf	926 000 Kč
KIA Soul EV	869 980 Kč
VW e-Golf	981 900 Kč
Model automobilu	Cena dle [12]
Škoda Fabia Active	254 000 Kč
Škoda Rapid Active	258 900 Kč

Tabulka 1 Porovnání ceny EV a automobilů

Další faktory ovlivňující zákazníky. Dalším faktorem, který české zákazníky odrazuje, je nízký dojezd. U EV se pohybuje okolo 200 km, zatímco u obdobných automobilů je skoro čtyřnásobný. Nevýhoda nízkého dojezdu je však ještě znásobena délkou nabíjení baterie, která je i v případě použití rychlonabíječky 30 minut.

Posledním významným faktorem, z pohledu zákazníků, který bych chtěl zmínit, je dostupnost nabíječek. Základní náhled poskytnou seznamy nabíjecích a čerpacích stanic vydávané Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO). [14], [15] K 26. 6. 2018 bylo v ČR registrováno necelých 3900 veřejných čerpacích stanic pohonných hmot, oproti tomu veřejných nabíjecích stanic pro elektromobily bylo registrováno 131³. Z těchto dobíjecích stanic je zhruba 76, tedy více jak polovina, na území hl. m. Prahy. Tato data dobře ilustrují stav dobíjecích stanic v ČR. Mimo Prahu je jejich síť na úrovni dostačující pouze pro lokální využívání EV ve vybraných městech.

Státní podpora. Ze strany státu je zájem o elektromobilitu přejat ze směrnic EU (např. směrnice 2014/94/EU nařizuje jednotlivým státům přijmout legislativní rámec pro podporu ...) a implementován v podobě Národního akčního plánu Čistá mobilita (NAP ČM). [16] NAP ČM

³ Toto srovnání není úplné, protože jako čerpací stanice má více stojanů, tak i dobíjecí stanice může mít více dobíjecích bodů. Bohužel pro čerpací stanice není v seznamu [14] počet stojanů uveden, a porovnání tedy můžu provést jen na úrovni stanic.

byl vypracován v roce 2016 a obsahuje mnoho podpůrných opatření. Jejich realizace je však dosti pomalá. Legislativní úpravy a návazné dokumenty jako Pravidla provozování distribuční sítě (PPDS) zatím jen vymezují základní pojmy. Podpora koncových uživatelů EV by podle současných návrhů na změnu legislativy mohla zahrnovat osvobození od poplatku za vydání registrační značky či od poplatku za dálniční známku. [17] To by znamenalo investiční úsporu ve výši přibližně 500 Kč a provozní úsporu ve výši 1500 Kč ročně. Ve světle výše uvedených příkladů podpor elektromobility v Evropě toto nelze označit za dostatečnou pobídku ke koupi EV. Podpora rozvoje infrastruktury dobíjecích stanic je realizována formou dotačního programu Ministerstva dopravy (MD). Dotační program je spuštěn pro páteří síť rychlodobíječek i pro doplňkové sítě. Výše spolufinancování je 70 % pro rychlodobíječky a 25 % pro doplňkové sítě. Alokováno je 850 mil. Kč. V prvních výzvách bylo zatím rozdáno jen 78 mil. Kč na rychlodobíječky a 26 mil. Kč na doplňkové sítě. V plánu jsou ještě další dvě kola výzev.

Provozovatelé DS. Provozovatelé distribučních sítí (PDS) jsou významnými účastníky trhu s elektřinou. Zvýšený zájem o elektromobilitu mají zejména z důvodu možných negativních vlivů rychlého rozvoje elektromobility. Nekontrolovaný růst počtu domácích nabíječek, ale i nekoordinovaný rychlý rozvoj sítě veřejných dobíjecích stanic by si mohl vyžádat vysoké investice do navýšení přenosové schopnosti DS. Jelikož činnost PDS je regulována státem, jeho možnosti dlouhodobé přípravy na podobné scénáře jsou omezeny na vytváření projekcí a strategických plánů. Velkou hrozbou pro PDS je závislost úspěchu elektromobility na výši státní podpory, která je jasně viditelná u evropských států s rozvinutější elektromobilitou. V případě, že by se elektromobilita ukázala být jen dočasným trendem, velká část s ní spojených investic do infrastruktury by byla prodělečná, a to by se projevilo hlavně příslušným zdražením cen elektřiny pro koncové zákazníky. [18], [19]

Zvláštní postavení Prahy

Praha je hlavní a největší město ČR. Žije v ní okolo 1,2 mil. obyvatel (tedy 12 % obyvatel země) a je krajem s 20% příspěvkem k hrubému domácímu produktu (HDP) [20]. Praha je také, díky svému umístění uprostřed Čech, potažmo i uprostřed Evropy, dopravním uzlem mezinárodního významu. Lze očekávat, že rozvoj elektromobility bude v Praze nejrychlejší. Příchod elektromobility podporuje i magistrát města, v současné době podporuje elektromobilitu osvobozením od poplatku za parkování na zónách v centru Prahy. V listopadu 2018 magistrát vypsali miliardovou zakázku na carsharing elektromobilů a další na výstavbu až 150 dobíjecích stanic po celém městě. [21] Kromě toho probíhá i projekt výměny části městských autobusů za elektrobusy.

Na území Prahy se dnes pro představu nachází okolo 76 veřejných nabíjecích stanic, z toho asi jedna třetina rychlonabíječek. PDS pro Prahu, společnost PREdistribuce, se intenzivně na příchod elektromobility připravuje. Jedním z hlavních úkolů příprav byly projekce nárůstu počtu veřejných dobíjecích stanic, intenzity jejich využívání a chování zákazníků při dobíjení. Počet dobíjecích stanic úzce souvisí s počtem elektromobilů v Praze a s využíváním neveřejného dobíjení. PREdistribuce vychází ze studie „Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR“ [22], která mapuje možný vývoj elektromobility v ČR právě z pohledu počtu elektromobilů, počtu dobíjecích bodů a očekávaného navýšení výkonu neveřejného dobíjení. Z této studie vyplývá, že v případě prudkého růstu elektromobility bude nejvíce a jako první zasažena Praha. Praha tedy pravděpodobně bude indikovat rozvoj české elektromobility a zkušenosti z její elektromobilizace budou klíčové pro celou zemi.

Praha je také specifická z pohledu distribuční sítě. Jsou pro ni určeny přísnější požadavky na spolehlivost, jež kontroluje Energetický regulační úřad (ERÚ). Může za to přítomnost klíčových složek státní správy, obchodu či zmíněná vysoká koncentrace obyvatelstva i jiné důvody. Dále je podstatné, že dodávka elektřiny do Prahy je závislá na přenosové soustavě, protože Praha nemá žádné vlastní velké zdroje. Bezpečnost dodávek elektřiny je proto pro pražského distributora významně podstatnější než v jiných krajích a distribuční síť je třeba stavět velmi robustní a udržovat stabilní v širší škále scénářů, než je obvyklé.

Očekávané scénáře vývoje

V projekcích vývoje počtu EV, dobíjecích stanic a nárůstu potřebného výkonu pro dobíjení budu vycházet z Dílčí studie [22], kterou jsem již zmínil výše. Jde o oficiální dokument vytvořený pro realizaci opatření A25 z Národního akčního plánu pro Smart grids (NAP SG). Plošné projekce byly provedeny ve třech scénářích: Nízký, Střední, Vysoký. Vozový park ČR byl dále rozdělen na čtyři segmenty: Osobní automobily (OA), Lehká užitková vozidla, Nákladní automobily, Autobusy a vozidla MHD.

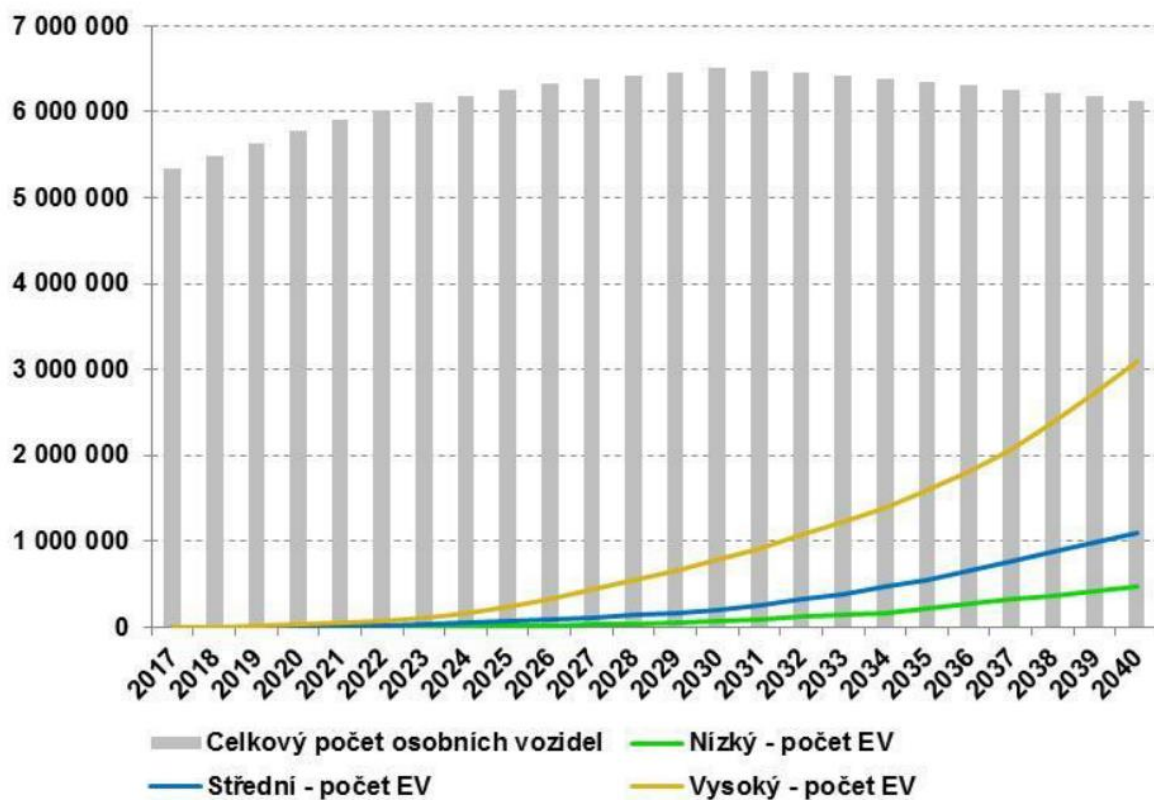
Predikce počtu EV. Predikce počtu EV je založena na tržním podílu EV na všech prodaných osobních vozidlech v ČR (tržní podíl EV) a míře obnovy vozového parku.

Střední scénář. Střední scénář vychází z NAP ČM do roku 2030. Poté se očekávalo nasycení trhu, avšak v současnosti se tlak EU na snižování emisí stupňuje a směřuje k úplnému přechodu k nízkoemisním a bezemisním vozidlům a ambice výrobců OA nezůstávají pozadu. Proto je růst od roku 2030 navýšen tak, aby reflektoval očekávané ambice a požadavky. Dovoz ojetých EV se uplatňuje od roku 2030.

Vysoký scénář. Vysoký scénář vychází z kampaně EV30@30, tedy 30% tržní podíl EV do roku 2030. Po roce 2030 počítá se zrychleným růstem tržního podílu až na 90 % v roce 2040. Tomu odpovídá 50% podíl EV na vozovém parku v roce 2040. Dovoz ojetých EV se uplatňuje od roku 2025.

Nízký scénář. V nízkém scénáři se předpokládá zpoždění v plnění požadavků na rozvoj elektromobility o 5 let oproti střednímu scénáři. To je uplatněno do roku 2030, poté je růst tržního podílu EV určen jako průměrný růst za posledních 5 let. Dovoz ojetých EV se uplatňuje od roku 2035.

Výsledná predikce počtu osobních EV je na obrázku níže (Obrázek 2). Dle informací, které zazněly na workshopu MPO [23], se za současných podmínek jako nejpravděpodobnější jeví Nízký scénář.



Obrázek 2 Predikce vývoje počtu osobních vozidel a osobních EV [22]

Zjistěte nároky na distribuční síť

Typy dobíjecích stanic a jejich příkony

V ČR jsou od roku 2018 definovány 3 základní typy dobíjecích stanic (DoS). Definice jsou zakotveny v PPDS. [24] Podobné definice jsou používány i v jiných státech viz. [25].

- DoS1: dobíjecí stanice s výkonem do 3,7 kW, určené pro dobíjení jednostopých elektrických vozidel (implicitně sem patří i dobíjecí stanice ostatních EV do 3,7 kW vyloučené z kategorie DoS2)
- DoS2: běžná dobíjecí stanice s výkonem do 22 kW (s výjimkou zařízení o výkonu 3,7 kW nebo nižším, jež jsou umístěna v domácnostech nebo jejichž hlavním účelem není dobíjet elektrická vozidla a jež nejsou veřejně přístupná)
- DoS3: vysoce výkonná dobíjecí stanice, která umožňuje přenos elektřiny do elektrického vozidla s výkonem vyšším než 22 kW

Vzhledem k efektu na DS podléhají instalace DoS2 a DoS3 administrativnímu řízení. Současně se pro ně také vyžaduje průběhové měření a možnost vzdáleného řízení provozovatelem DS (s obousměrnou komunikací). V tabulce níže (Tabulka 2) jsem shrnul základní informace o připojení a využití uvedených typů dobíjecích stanic. Rychlost dobíjení uvádím orientačně (reálně je pro každý z vozů odlišná v závislosti na efektivní kapacitě baterie a počátečním stavu nabití) ve formátu kapacity baterie nabitě za jednu hodinu (např. 0,5C znamená dobítí na polovinu kapacity za jednu hodinu).

Typ dobíjecí stanice	Typ připojení do sítě	Napěťová hladina	Max. výkon	Max. proud, max. výkon	Orientační rychlost dobíjení	Využití
DoS1	běžná 1f zásuvka	NN	1x16A, 3,7 kW		0,2C a méně	soukromé nabíjení
DoS2	3f pevné připojení	NN	3x16A/3x32A, 22 kW		0,5C – 1C	veřejné nabíjení
DoS3	pevné připojení	NN, VN	omezeno parametry dob. stanice a kapacitou daného uzlu DS		2C a více	veřejné rychlonabíjení

Tabulka 2 Typy dobíjecích stanic

Na tomto místě je také vhodné zmínit definice dobíjecí stanice a dobíjecího bodu. Dobíjecí bod je zařízení schopné dobíjet v určitém časovém okamžiku pouze jedno vozidlo. Dobíjecí stanice označuje jeden nebo více dobíjecích bodů.

V návaznosti na dílčí studii [22] uvažují příkony DoS dle tabulky níže (Tabulka 3). Pro domácí dobíjení a dobíjení v zaměstnání jsou určeny příkony od 3,7 kW do 22 kW. Nejčastějšími příkony pro tato dobíjení jsou rovnocenně 3,7 kW, 6,9 kW a 11 kW. Ostatní příkony se uvažují v zastoupení pod 10 % a nepředpokládá se vývoj v čase. Další kategorií je komerční dobíjení. U něj se uvažuje poloviční podíl příkonu 22 kW s nárůstem o 10 % do roku 2040. Dále významný 25% podíl příkonu 50 kW (DC) s mírným 4% nárůstem. Zbýlý podíl připadá na nízké příkony AC, u nichž se očekává pokles až na 11 % v roce 2040. Kategorie veřejného dobíjení je rozdělena na pomalé a rychlé DoS. V kategorii pomalých DoS (do 22 kW) převažuje příkon 22 kW (65 % v roce 2020) s postupným nárůstem až na 77 % v roce 2040. V kategorii rychlých DoS nejprve převažuje příkon 50 kW (DC) s 82 %, ale očekává se výrazný nárůst příkonu 135 kW až na konečné rozdělení příkonů 42 % 50 kW, 17 % 120 kW a 41 % 135 kW.

Příkon	Typ	Podíl větší nebo roven 5 % v kategoriích
3,7 kW (1x16 A – AC)	DoS1	Domácí, zaměstnání, komerční, veřejné pomalé
6,9 kW (3x10 A – AC)	DoS2	Domácí, zaměstnání, komerční, veřejné pomalé
11 kW (3x16 A – AC)	DoS2	Domácí, zaměstnání, komerční, veřejné pomalé
17,25 kW (3x25 A – AC)	DoS2	Zaměstnání
22 kW (3x32 A – AC)	DoS2	Zaměstnání, komerční, veřejné pomalé
50 kW (DC)	DoS3	Komerční, veřejné rychlé
120 kW (DC)	DoS3	Komerční, veřejné rychlé
135 kW (DC)	DoS3	Komerční, veřejné rychlé

Tabulka 3 Uvažované příkony dobíjecích stanic [22]

Připojování k dobíjecích stanic k DS

Připojování nových zařízení k DS se řídí PPDS, kde jsou sdruženy všechny potřebné požadavky a standardy. Pro připojování dobíjecích stanic je podstatná především již citovaná příloha 6 [24]. Ta určuje, že pro všechny DoS s výkonem nad 3,5 kVA (1f) a nad 11 kVA (3f) je nutné, aby byly posouzeny PDS z hlediska zpětných vlivů na DS.

Úroveň sítě (napěťová hladina, způsob připojení), na níž je DoS připojována, se určuje na základě výše rezervovaného příkonu (Tabulka 4). Pro hladinu NN je nejvyšší připojovaný příkon 200 kW (350 kW)⁴, což plně dostačuje pro uvažované příkony jednotlivých DoS.

Úroveň sítě	Rezervovaný příkon
NN – napěťová soustava 3x400/230 V	do 60 kW
NN – napěťová soustava 3x400/230 V, vývod z distribuční transformovny 22/0,4 kV	nad 60 kW do 200 kW (350 kW)
VN – napěťová soustava 22 kV, distribuční úroveň	nad 350 kW (200 kW) do 2 000 kW

Tabulka 4 Úroveň sítě pro připojení [26]

Nicméně lze předpokládat, že DoS nebudou vždy instalovány pouze po jednom kuse. Proto jsem spočetl maximální počet DoS na jeden vývod z každé úrovně distribuční sítě. Výsledky jsem shrnul v tabulce (Tabulka 5) níže. Tyto výsledky dále využiji při sestavování scénářů pro seskupování více dobíjecích bodů do jedné DoS v podkapitole „Výběr scénářů“ (str. 30). Je ale pravděpodobné, že nebudou seskupovány pouze DoS o shodném příkonu.

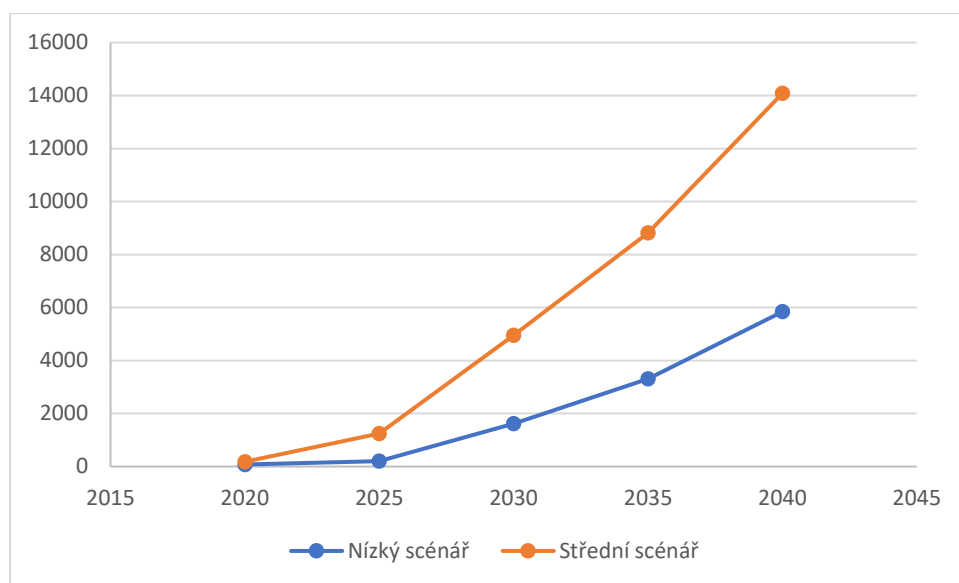
		Úroveň sítě		
		NN	NN z distribučního transformátoru	VN
Max. rezerv. P [kW]		60	350	2000
Výkon DoS [kW]	3,7	16	94	540
	6,9	8	50	289
	11	5	31	181
	17,25	3	20	115
	22	2	15	90
	50	1	7	40
	120	0	2	16
	135	0	2	14

Tabulka 5 Maximální počty DoS daného výkonu na jeden vývod DS

⁴ Vyšší hodnota příkonu platí pro přípojku v mědi. PDS PREdistribuce standardně preferuje připojení v hliníku (nižší hodnota příkonu).

Projekce počtu dobíjecích stanic

Projekci počtu veřejných dobíjecích stanic opět čerpám z dílčí studie [22]. Ta rozděluje DoS na páteřní síť a doplňkovou síť. Dále pro rozprostření stanic po ČR používá dělení na správní obvody obcí s rozšířenou působností (SO ORP). Rozdělení veřejných rychlodobíjecích stanic⁵ do jednotlivých SO ORP bylo provedeno podle váženého (váhou je významnost komunikace) počtu významných silničních komunikací v daném SO ORP. Tím je vymezena páteřní síť dobíjecích stanic, kromě ní se počítá i s doplňkovou sítí pomalejších dobíjecích stanic, které byly rozděleny do SO ORP poměrně dle lidnatosti. Na obrázku níže (Obrázek 3) je vidět očekávaný vývoj počtu dobíjecích stanic v Praze.



Obrázek 3 Vývoj počtu veřejných dobíjecích stanic na území hl. m. Prahy

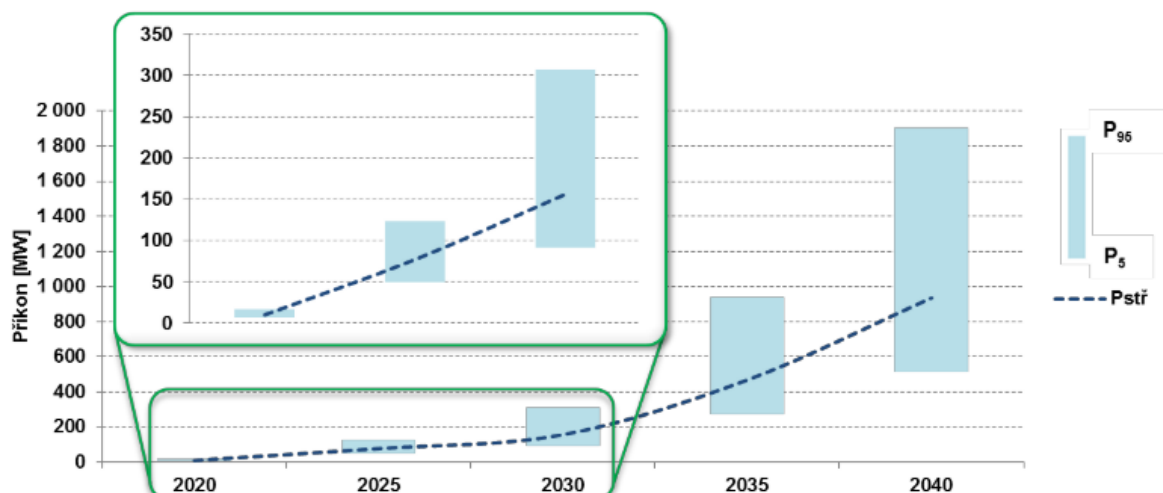
Projekce nárůstu zatížení a jeho rozložení v DS

Nárůst zatížení je podstatným vstupem pro technickoekonomický výpočet v následující kapitole. Výkonové dopady jsou v dílčí studii [22] projektovány pomocí simulačního modelu. Hlavními vstupy tohoto modelu jsou nájezd EV, možnosti dobíjení, technická omezení EV a čas zahájení dobíjení. Nájezd EV je určen potřebami uživatele (nejčastější nájezd v ČR je 10-20 km) a spotřebou EV (v průměru 20 kWh/100 km). Dále byly brány v úvahu účinnost dobíjení i minimální zůstatek kapacity baterie. Možnosti dobíjení jsou ovlivněny hlavně dostupností jednotlivých typů DoS a jejich technickými parametry (příkon). Možnosti dobíjení vycházely z projekce počtu DoS (dle typů: domácí, firemní, komerční, veřejné pomalé

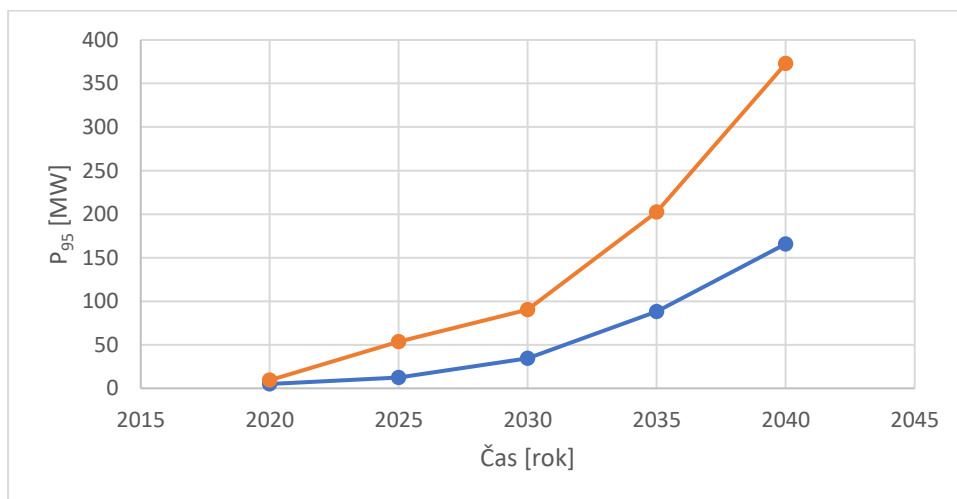
⁵ Pro potřeby dílčí studie [22] se uvažuje: jedna dobíjecí stanice má jeden dobíjecí bod, rychlodobíjecí stanice pro páteřní síť mají výkon vyšší než 40 kW (DC)

a rychlé) v jednotlivých SO ORP, tzn. z dostupnosti jednotlivých typů DoS a z jejich příkonu. Technickými omezeními EV jsou kapacita baterie daného modelu a maximální podporovaný dobíjecí příkon. S technickými omezeními souvisí i skutečnost, že dobíjení maximálním výkonem je možné pouze do cca 84 % kapacity baterie. Poté nabíjecí výkon rychle klesá, s čímž roste čas potřebný k nabití každé další jednotky kapacity. Proto se u rychlodobíjecích stanic předpokládá nabíjení pouze na úroveň 80 % kapacity. Posledním vstupem modelu je čas zahájení dobíjení. Ten určuje výsledný diagram zatížení a soudobost dobíjecích příkonů.

V dílčí studii jsou pro jednotlivé SO ORP uvedeny výkonové dopady na hladině spolehlivosti 95 %. To prakticky znamená, že jde o nejvyšší očekávané hodnoty. Jak je vidět na obrázku č. Obrázek 4, který popisuje vývoj celkových výkonových dopadů v ČR, rozptýl se s rostoucím časem významně zvyšuje. Hodnota P_{95} je u středního scénáře od roku 2030 více než dvojnásobná oproti $P_{stř}$, tzn. nejpravděpodobnější hodnotě. U nízkého scénáře je P_{95} mírně nižší než dvojnásobek $P_{stř}$. Veškeré důsledky vycházející z hodnot P by tedy měly být chápány v uvedeném kontextu. Půjde o důsledky vzniklé za nepříznivých, přesto reálných podmínek.



Obrázek 4 Výkonové dopady včetně rozptylu a stř. hodnoty pro ČR v segmentu osobních automobilů - střední scénář



Obrázek 5 Celkové výkonové dopady pro Prahu

Řízené dobíjení

Řízené dobíjení (také nazývané chytré dobíjení) je v současnosti považováno za jednu z hlavních podmínek ekonomicky efektivní integrace elektromobilů v národním měřítku. Jeho přínosy pro DS jsou značné [22]. Pro řízené dobíjení lze rozlišit tři gradující stupně integrace.

Prvním je řízení dobíjecího výkonu pro zamezení přetížení DS. Vysoký nárůst dobíjecího výkonu při zapojení velkého množství neregulovaných dobíjecích stanic do DS představuje jedno z hlavních úskalí elektromobility. Řešením může být nějaký typ dálkového spínání. V jednoduché a ozkoušené formě jde např. o hromadné dálkové ovládání (HDO).

Druhým stupněm je řízení dobíjecího výkonu pro zvýšení flexibility DS. Jde tedy o zlepšení stability a efektivity sítě pomocí vhodně spínaných dobíjení. Tato možnost už vyžaduje více než dálkové spínání. Je zapotřebí oboustranná komunikace zákazníka a PDS.

Třetím stupněm je využití akumulátorů v elektromobilech pro zvýšení flexibility DS. Počítá se s používáním nevyužité kapacity baterií elektromobilů připojených do sítě. Tento koncept se také nazývá V2G (Vehicle-to-Grid). Je zde však mnoho nevyřešených otázek od samotného technického provedení po ekonomicko-sociální aspekty.

Uvedené tři stupně v ČR definuje akční plán pro chytré sítě [27]. Na základě jeho opatření A25 je již PPDS implementováno pravidlo, které nařizuje, že všechny dobíjecí stanice kategorií DoS2 a DoS3 musí být vybaveny komunikačním rozhraním pro sledování dobíjení, které může PDS umožňovat dálkové ovládání dobíjení[24]. Přes všechny snahy je však řízené dobíjení zatím jen hudbou budoucnosti. Nyní je jediný využitelný stupeň jedna v podobě HDO, který je již dosti zastaralý [19]. Byl vytvořen ve zcela jiné době a pro jiné účely. Pro navazující stupeň je třeba vyvinout a sjednotit vhodná zařízení. Dále zde také zůstává nevyřešená otázka vhodného obchodního modelu. Proto s řízeným dobíjením nebudu ve svých úvahách a výpočtech pracovat.

Proved'te ekonomicko-technickou studii pro zvolené scénáře

Popis modelu

Očekávaným hlavním výstupem této ekonomicko-technické studie je současná hodnota výdajů na rozvoj elektromobility v Praze. U těchto výdajů lze identifikovat čtyři zásadní složky: investiční výdaje na nová kabelová vedení, na nová distribuční trafo/trafostanice, na dobíjecí stanice a výdaje na ztráty elektřiny. V následujících odstavcích jednotlivě proberu jejich specifika. Pro tyto složky budu modelovat hotovostní toky (CF) po následujících 21 let, tedy do roku 2040. Tento časový horizont vychází z NAP ČM a odráží současný standard plánování v oblasti českých státních strategických plánů. Cenu peněz bude reprezentovat vážená cena kapitálu pro regulovaná odvětví elektroenergetiky (WACC). Tato hodnota je pravidelně určována a uveřejňována ERÚ.

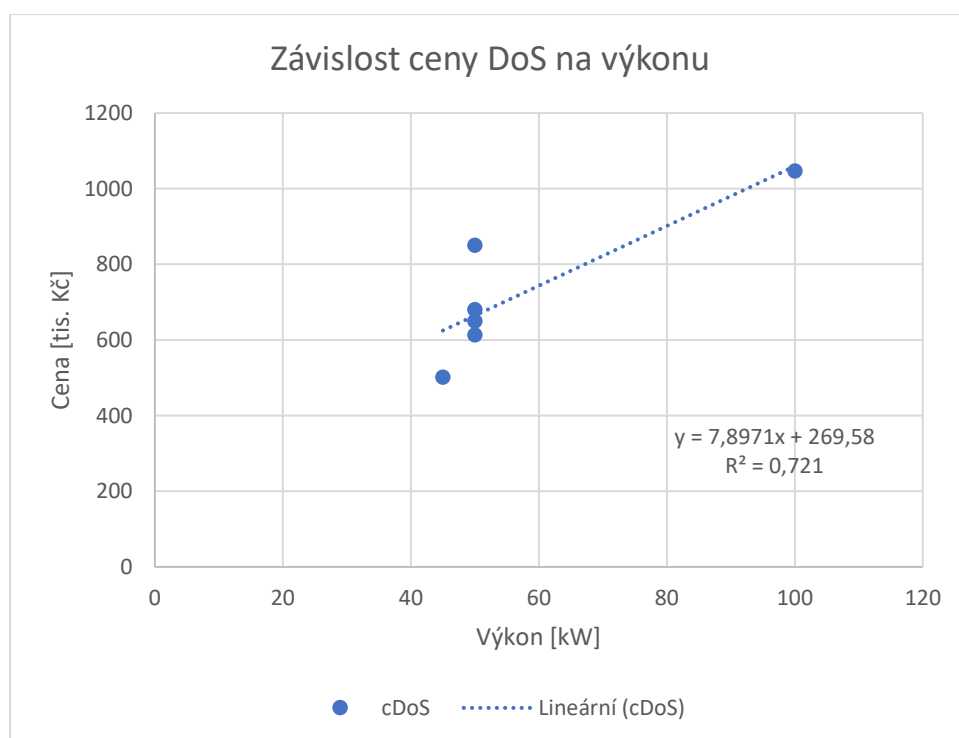
Elektrická vedení. Elektrická vedení na území Prahy jsou ve většině případů kabelová a současný trend je jasně prokabelový. Nejčastěji užívané kabely pro distribuční síť jsou 4 x 240 mm² 1-AYKY a snaha je používat tento průřez jako standard. Průměrné ceny kabelových tras jsou dokumentovány a publikovány Ústavem územního rozvoje z Ministerstva pro místní rozvoj, je však nutné brát v úvahu, že jde o průměr celorepublikový. Pro Prahu je třeba počítat s adekvátním navýšením vlivem drahých zemních prací. Já jsem cenu s navýšením na základě konzultací s vedoucím práce zvolil 3500 Kč/m. Délku tras jsem zvolil jednotně jako polovinu průměrné vzdálenosti mezi distribučními trafy. Tato hodnota představuje maximální délku průměrné kabelové trasy. Dle konzultace se spol. PREDistribuce mohou počítat s hodnotou 0,8 km.

Distribuční transformátory. Nová distribuční trafo (dTR) v Praze jsou výhradně 22/0,4 kV s typickým jmenovitým výkonem 630 kVA. Zde je významnou otázkou: bude každé nové trafo potřebovat novou trafostanici? Jako aproximaci jsem použil poměr 80/20. [18] Pro pozvolný nástup elektromobility v prvních letech bude platit, že 80 % traf nebude stanici potřebovat (v modelu platí pro rok 2020) a směrem k rychlejšímu rozvoji v pozdějších letech naopak pouze 20 % traf nebude potřebovat novou trafostanici (v modelu platí pro rok 2040). Abych získal konkrétní poměry pro jednotlivé roky, proložil jsem tyto dvě hodnoty exponenciálou.

Dobíjecí stanice. Investice do dobíjecích stanic jsou zatíženy nejvyšší nejistotou. Jde o nezavedenou technologii, která zatím čeká před hranicí masové výroby. Lze tedy očekávat, že jejich současná cena není vypovídající pro celé sledované období. Proto se cenám DoS a jejich vývoji budu podrobněji věnovat v podkapitole

Projekce vstupů (str. 31). Dále je u nich třeba uvážit vliv seskupování více dobíjecích bodů do jedné DoS. Až doposud jsem v souladu s dílčí studií [22] předpokládal, že jedna DoS se rovná jednomu dobíjecímu bodu. Toto zjednodušení je pro potřeby modelování počtu DoS i nárůstu zatížení udržitelné. V kontextu ekonomického modelu by však mohlo vést ke značné chybě. Například jde o kabelové trasy. Jejich nejdražší složkou jsou výkopové práce. Při seskupení více dobíjecích bodů do jedné DoS jsou všechny kabely uloženy současně, a dojde tak k významné úspoře peněz. Jelikož dnes nelze jednoznačně určit, jaké strategie budou při seskupování DoS použity, rozhodl jsem se připravit tři scénáře.

Cenu DoS jsem zjistil průzkumem veřejně dostupných ceníků. Cena stanic o výkonu do 7 kW se pohybuje okolo 14 tis. Kč. [28], [29] Cena stanic o výkonu od 11 do 22 kW se pohybuje okolo 18 tis. Kč pro soukromé užití a okolo 80 tis. Kč pro veřejné dobíjení. Cenu DoS o vyšších výkonech jsem stanovil podle empiricky určeného vzorce (Obrázek 6) z dostupných ceníků a odhadů. [30]–[32]



Obrázek 6 Závislost ceny DoS na výkonu

Ztráty. Posledními podstatnými výdaji jsou výdaje na ztráty. Pro svůj model budu uvažovat ztráty na kabelových vedeních a distribučních trafecích. Jde z principu o proměnné výdaje závislé na míře dobíjení a jejich vliv bude stoupat s rostoucí rychlostí rozvoje elektromobility.

Výběr scénářů

Z původních třech scénářů rozvoje elektromobility jsem se z důvodů, které nyní vysvětlím, při modelování omezil na nízký a střední scénář. Střední scénář vychází z koncepce NAP ČM a zohledňuje deklarované ambice průmyslového sektoru i politický tlak ze strany EU v letech 2017-2018. Přestože byl koncipován jako realistický, dle reálných dat jde spíše o scénář optimistický. Za realistický se nyní považuje scénář nízký, který vychází ze středního scénáře, ale je za ním opožděn zhruba o 5 let. V současné době se počtem EV a DoS pohybujeme mezi scénářem nízkým a středním. Scénář vysoký, vycházející z ambiciózní kampaně EV30@30, je za současných podmínek, pro ČR, považován za nereálný. [23]

Jak jsem již nastínil výše, kvůli nejistotě vycházející z různých možných strategií seskupování DoS, jsem se rozhodl vytvořit tři scénáře seskupování. Jejich strategie se odvíjejí od maximálních výkonů běžně připojovaných na distribučním území PRE distribuce. Vycházím z tabulky (Tabulka 5), kterou jsem sestavil v podkapitole „Projekce počtu dobíjecích stanic“ (str. 25). Tu jsem níže doplnil o hodnocení jednotlivých možností, odhadnul jsem v ní pravděpodobné varianty a označil je zeleně (Tabulka 6). Dále jsem žlutě označil varianty, které se uplatní pouze při velmi rychlém rozvoji elektromobility, a červeně jsou označeny varianty velmi nepravděpodobné. Z tabulky je vidět, že pravděpodobné varianty seskupování se pohybují mezi čísly jedna a třicet jedna. Na základě konzultace s vedoucím jsem proto zvolil scénáře seskupování po pěti, patnácti a třiceti DoS.

		Úroveň sítě		
		NN	NN z distribučního transformátoru	VN
Max. rezerv. P [kW]		60	350	2000
Výkon DoS [kW]	3,7	16	94	540
	6,9	8	50	289
	11	5	31	181
	17,25	3	20	115
	22	2	15	90
	50	1	7	40
	120	0	2	16
135	0	2	14	

Tabulka 6 Pravděpodobné seskupování DoS

Projekce vstupů

Nyní se budu věnovat projekcím důležitých vstupních parametrů.

Technické vstupy. Nejprve krátce k proměnným technickým parametrům. Proměnné technické parametry jsou dva, očekávaná potřeba DoS a očekávané výkonové nároky dobíjení. Vývoji obou těchto parametrů jsem se již věnoval dříve (str. 25 a 25). V dílčí studii [22] se pro tyto parametry uvádějí hodnoty za pětiletá období. Pro potřeby svého modelu jsem tyto pětileté hodnoty lineárně rozložil do jednotlivých let. Co se týká konstantních tech. parametrů, uvádím v tabulce níže (Tabulka 7) použité hodnoty a v případě, že jsem je převzal, jejich zdroje. Roční dobu provozu DoS uvažuji plných 8760 hodin ročně⁶. Doby využití maxima a plných ztrát jsem spočetl na základě DDZ pro nízký scénář z dílčí studie [22]. Pro střední scénář půjde o hodnoty velmi blízké, jak lze zjistit porovnáním DDZ. Soudobost jsem uvažoval vždy rovnu jedné, protože plný výkon dobíjecích stanic musí být neustále k dispozici⁶.

Konstanta	Jednotky	Použitá hodnota	Zdroj
Průměrná vzdál. mezi dTR	Km	0,8	[18]
Typický výkon dTR	kVA	630	[18]
Výkon dTR naprázdno	kW	0,6	[33]
Výkon dTR nakrátko	kW	6,5	[33]
Max. proud 1-CYKY 4x240 mm ²	A	473	[34]
Max. proud 1-AYKY 4x240 mm ²	A	364	[34]
Koeficient navýšení ztrát na hl. NN o ztráty na hl. VN v DS	-	1,0003	
Roční doba provozu	hod	8760	
Roční doba využití maxima	hod	3930	vypočteno dle DDZ [22]
Roční doba plných ztrát	hod	2372	vypočteno dle DDZ [22]

Tabulka 7 Konstantní technické parametry

⁶ Stejně jako je tomu dnes u samoobslužných čerpacích stanic. Musí být vždy připravené obsluhovat na všech stojanech současně.

Ekonomické vstupy. Druhou skupinou parametrů jsou ekonomické parametry. Jde hlavně o ceny jednotlivých komponent. Ceny kabelů, distribučních trafostanic a dobíjecích stanic. Dále pak cena elektřiny použitá k ohodnocení ztrát a související kurz CZK/EUR.

Ceny kabelů a dTR počítám po celou dobu porovnání konstantní. Důvodem je, že jde o ustálené technologie, u nichž se z povahy odvětví energetiky nepředpokládají náhlé výkyvy a jejichž cena je v posledních deseti letech stabilní. [35]

Naproti tomu u cen DoS očekávám značný vývoj. Jde o zařízení, jež zatím nejsou masově vyráběna. Scénáře rozvoje emobility počítají s takovým nárůstem potřeby DoS, že masová výroba bude nevyhnutelná. Je proto jasné, že současné ceny nejsou pro potřeby modelu s dvacetiletým horizontem vypovídající. Konkrétně jsem odhadl, pokles cen DoS do 25 kW o 25 % a DoS vyšších výkonů o 50 %. Myslím si, že jde o konzervativní odhad, v němž se opírám o zkušenosti s cenami produktů v oblasti elektroenergetiky (PV články). [36], [37] Tím jsem určil ceny jednotlivých výkonů DoS. Pomocí podílů dobíjecích výkonů na celkové skladbě DoS (Tabulka 8), zadaných v dílčí studii [22], jsem poté spočítal váženou cenu průměrné DoS (Tabulka 9). Vývoj cen mezi krajními hodnotami v letech 2019 a 2040 uvažuji lineární.

Podíl na celkové skladbě DoS pro NS					
Výkon DoS	2020	2025	2030	2035	2040
3,7	0,07	0,06	0,12	0,13	0,13
6,9	0,07	0,06	0,12	0,13	0,13
11	0,07	0,06	0,12	0,13	0,13
17,25	0,20	0,18	0,17	0,15	0,16
22	0,20	0,18	0,17	0,15	0,16
50	0,13	0,13	0,08	0,07	0,08
120	0,13	0,13	0,08	0,07	0,08
135	0,14	0,22	0,14	0,14	0,13

Tabulka 8 Podíly dobíjecích výkonů na celkové skladbě DoS

Rok	Cena DoS 3,7 a 6,9 kW	Cena DoS 11, 17 a 22 kW	Cena DoS 50 kW	Cena DoS 120 kW	Cena DoS 135 kW	Vážená cena průměrné DoS NS $C_{DoS,\phi,NS}$
	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]	[Kč/ks]
2019	14 000	18 000	664 435	1 217 232	1 335 688	432 029
2040	10 500	13 500	332 217	608 616	667 844	175 792

Tabulka 9 Uvažované ceny DoS v letech 2019 a 2040

Dalšími ekonomickými parametry, jejichž vývoj jsem musel vzít v úvahu, jsou cena elektřiny a související kurz eura. Predikce těchto dvou parametrů je však velmi obtížná, ne-li nemožná. Proto jsem se rozhodl, že budu oba parametry uvažovat konstantní po celou dobu porovnání a provedu pro ně místo predikce citlivostní analýzu. Výchozí hodnoty jsem převzal z [38], [39], pro elektřinu jako vážený průměr z měsíčních futures na peak load a base load na rok 2019 na burze PXE (váhy dle DDZ pro nízký scénář z dílčí studie [22]) a pro kurz eura jako roční průměr historických kurzů vyhlášených ČNB (9.4.2018-8.4.2019).

Cena elektřiny	Kurz CZK/EUR
[EUR/MWh]	[CZK/EUR]
55,19	25,719

Tabulka 10 Použitá cena elektřiny a kurz eura

Výpočet a výsledky

Následující výpočty krok po kroku popisují technické a ekonomické výpočty, které jsem provedl jednotlivě každý rok. Jejich konečným výsledkem jsou roční hotovostní toky.

Technické výpočty. Nejprve jsem pro jednotlivé roky určil přírůstek nových DoS Δn_{DoS} a výkonových nároků ΔP . Vycházel jsem z dílčí studie, kde jsou uvedeny pětileté hodnoty. Na roční hodnoty jsem je přepočtl rovnoměrným rozložením do jednotlivých let. Počet nových přípojek $\Delta n_{příp}$ v daném roce jsem spočetl jako

$$\Delta n_{příp} = \text{ZAOKR. NAHORU} \left(\frac{\Delta n_{DoS}}{n_{DoS,skup}}; 1 \right),$$

kde $n_{DoS,skup}$ je průměrný počet DoS umístěných na jednom místě (ve skupině).

Průměrný příkon nové přípojky $P_{příp}$ je

$$P_{příp} = \frac{\Delta P}{\Delta n_{příp}}.$$

Z toho jsem určil napěťovou hladinu průměrné přípojky U_s

$$U_s = \text{KDYŽ}(P_{příp} < P_{\max,1-CYKY}; 0,4; 22)$$

a typ kabelu AlCu (1-CYKY nebo 1-AYKY)

$$\text{AlCu} = \text{KDYŽ}(\text{NEBO}(P_{kab} < P_{\max,1-AYKY}; P_{kab} > P_{\max,1-CYKY}); \text{"Al"}; \text{"Cu"}).$$

Dále jsem spočetl délku všech nových kabelů l_{kab} jako

$$l_{kab} = \frac{l_{dTR,\Phi}}{2} * \Delta n_{příp},$$

kde $l_{dTR,\phi}$ je průměrná vzdálenost mezi dTR

a průměrný proud tekoucí novým kabelem I_{kab}

$$I_{kab} = \frac{P_{příp}}{U_s * \sqrt{3} * \cos\varphi}.$$

To mi umožnilo vypočítat roční ztráty na vedení položeném v daném roce jako

$$W_{rz,ved} = KDYŽ(U_s = 0,4; k_{nVN}; 1) * T_z * \Delta n_{příp} * 3 \\ * KDYŽ(AICu = "Al"; r_{1-AYKY}; r_{1-CYKY}) * I_{kab} * I_{kab}^2,$$

kde T_z je doba plných ztrát a k_{nVN} je koeficient navýšení ztrát na hl. NN o ztráty na hl. VN

a následně celkové ztráty na všech vedeních v roce t_i $W_{z,ved}$

$$W_{z,ved} = \sum_{t=0}^{t_i} W_{rz,ved}(t).$$

Dále jsem počítal počet nových dTR Δn_{dTR}

$$\Delta n_{dTR} = ZAOKR.NAHORU \left(\frac{\frac{\Delta P}{\cos\varphi}}{S_{dTR}}; 1 \right)$$

a počet nových trafostanic Δn_{TRst}

$$\Delta n_{TRst} = \Delta n_{dTR} * 0,1866 * e^{0,0693*t}$$

(jejich potřeba se exponenciálně zvedá z 20 % v $t = 1$ na 80 % v $t = 21$).

To mi umožnilo vypočítat ztráty na dTR instalovaných v daném roce

$$W_{rz,dTR} = \Delta n_{dTR} * \left(T_{pr} * P_0 + T_z * P_{kn} * \left(\frac{\left(\frac{\Delta P}{\cos\varphi * \Delta n_{dTR}} \right)^2}{S_{dTR}^2} \right) \right)$$

a následně celkové ztráty na všech dTR v roce t_i $W_{z,dTR}$

$$W_{z,dTR} = \sum_{t=0}^{t_i} W_{rz,dTR}(t).$$

Ekonomické výpočty. Nejprve jsem si spočítal investiční výdaje na kabely V_{kab} , na dTR a trafostanice V_{dTR} a na DoS V_{DoS}

$$V_{kab} = l_{kab} * c_{kab},$$

kde c_{kab} je měrná cena kabelu,

$$V_{dTR} = \Delta n_{dTR} * C_{dTR} + \Delta n_{TRst} * C_{TRst},$$

kde C_{dTR} je cena dTR a C_{TRst} je cena trafostanice,

$$V_{DoS} = \Delta n_{DoS} * C_{DoS,\phi},$$

kde $C_{DoS,\Phi}$ je průměrná cena DoS.

Dále jsem spočítal provozní výdaje na ztráty V_{ztr}

$$V_{ztr} = (W_{z,ved} + W_{z,dTR}) * c_{el} * k_{EUR},$$

kde c_{el} je cena elektřiny, k_{EUR} je kurz Kč/EUR.

Z dílčích výdajů již lze zjistit celkový hotovostní tok CF

$$CF = V_{kab} + V_{dTR} + V_{DoS} + V_{ztr}$$

a jeho diskontovanou hodnotu DCF při diskontu r_{en}

$$DCF = CF * (1 + r_{en})^{-t}.$$

Výsledky. Výsledky modelu jsou hodnoty čisté současné hodnoty projektu (NPV) a ekvivalentního ročního hotovostního toku (RCF). Jsou spočteny pro dva základní scénáře rozvoje elektromobility – nízký scénář a střední scénář a pro tři scénáře seskupování DoS – po pěti, patnácti a třiceti dobíjecích bodech. Shrnuj je se zaokrouhlením na celé milióny do tabulky níže (Tabulka 11).

Seskupování DoS	NPV		RCF	
	Nízký scénář	Střední scénář	Nízký scénář	Střední scénář
5	3 868 000 000	16 897 000 000	382 000 000	1 670 000 000
15	1 331 000 000	3 704 000 000	132 000 000	366 000 000
30	806 000 000	2 949 000 000	80 000 000	292 000 000

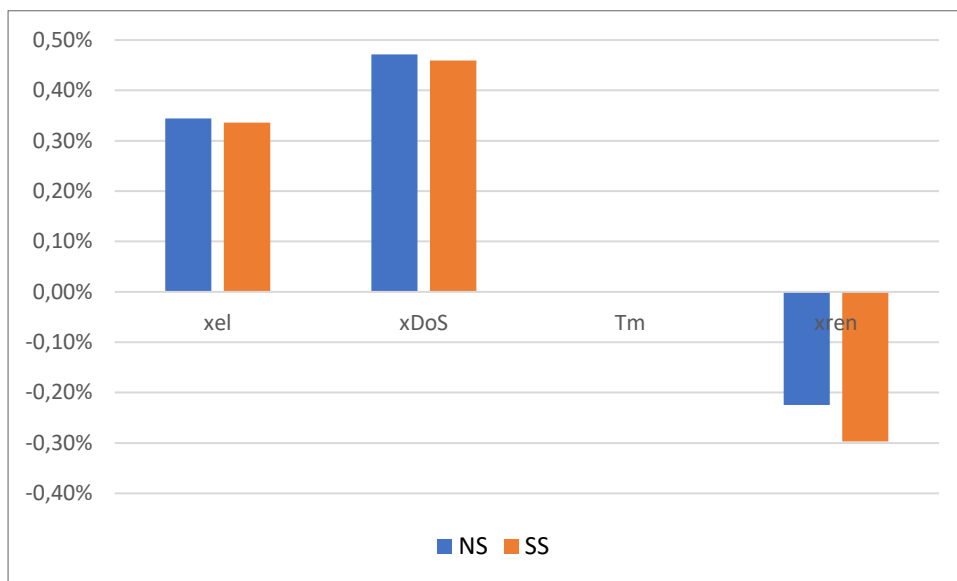
Tabulka 11 Výsledky modelu

Citlivostní analýza

Nejzajímavějším parametrem pro citlivostní analýzu je výše uvedené seskupování DoS. Rozdíly mezi jednotlivými scénáři seskupování jsou značné, a proto budu vliv tohoto parametru podrobněji rozebírat v následující podkapitole „Podpora seskupování DoS“.

Dále jsem provedl citlivostní analýzu na tři ekonomické parametry a jeden technický parametr. Analýza má tvar míry relativní změny RCF při kladné jednocentní změně parametru od výchozí hodnoty. Výsledky jsem shrnul do grafu níže (Obrázek 7) - modré sloupce jsou pro nízký scénář a oranžové pro střední scénář. Prvním parametrem je změna ceny elektřiny (x_{el}), druhým je změna počáteční ceny DoS (x_{DoS}), třetím je doba plného využití maxima (T_m) a čtvrtým je změna diskontu (x_{ren}). První dva parametry zvyšují cenu projektu méně než proporcionálně. Malá změna doby plného využití maxima nemá na cenu projektu vliv. A dle

očekávání zvýšení diskontu projekt zlevňuje a má vyšší vliv u dražšího scénáře (vliv je méně než proporcionální).



Obrázek 7 Relativní změna RCF při +1% změně parametru

Navrhňte kroky k realizaci cílů elektromobility

Cíle elektromobility

Dle NAP CM [16] je definováno pět strategických cílů pro rozvoj elektromobility. Týkají se usnadnění výstavby DoS, podpory poptávky po elektromobilech, zlepšení vnímání elektromobility na straně zákazníků, zlepšení podmínek pro podnikání související s elektromobilitou a koordinace rozvoje dobíjení a DS. Z těchto cílů jsou pro mou práci nejdůležitější první a poslední. První cíl vychází ze současné nedostatečné dobíjecí soustavy, kterou disponujeme. Ta je přímo svázaná s počtem elektromobilů ve vozovém parku a ty zase vychází ze zájmu/nezájmu potenciálních zákazníků. Nízká dostupnost DoS negativně ovlivňuje jejich vnímání elektromobility [10] a první strategický cíl vychází z předpokladu, že pokud zvýšíme dostupnost DoS, vzroste i poptávka po elektromobilech. Poslední pátý strategický cíl reflektuje nutnost racionálního rozvoje dobíjecí infrastruktury s ohledem na charakter stávající DS. Tento cíl má dlouhodobý charakter a jeho efekty se projeví až ve fázi hlavního rozvoje elektromobility, kdy začnou elektromobily představovat podstatnou část vozového parku. Právě proto je třeba mu věnovat dostatečnou pozornost již nyní. Podcenění přípravy DS na elektromobilitu by mohlo vést k závažné ztrátě důvěry veřejnosti v hlavní fázi rozvoje, a tím k jeho zpomalení, ne-li dokonce zastavení. Příkladem budiž současný stav dobíjecí infrastruktury v Norsku.

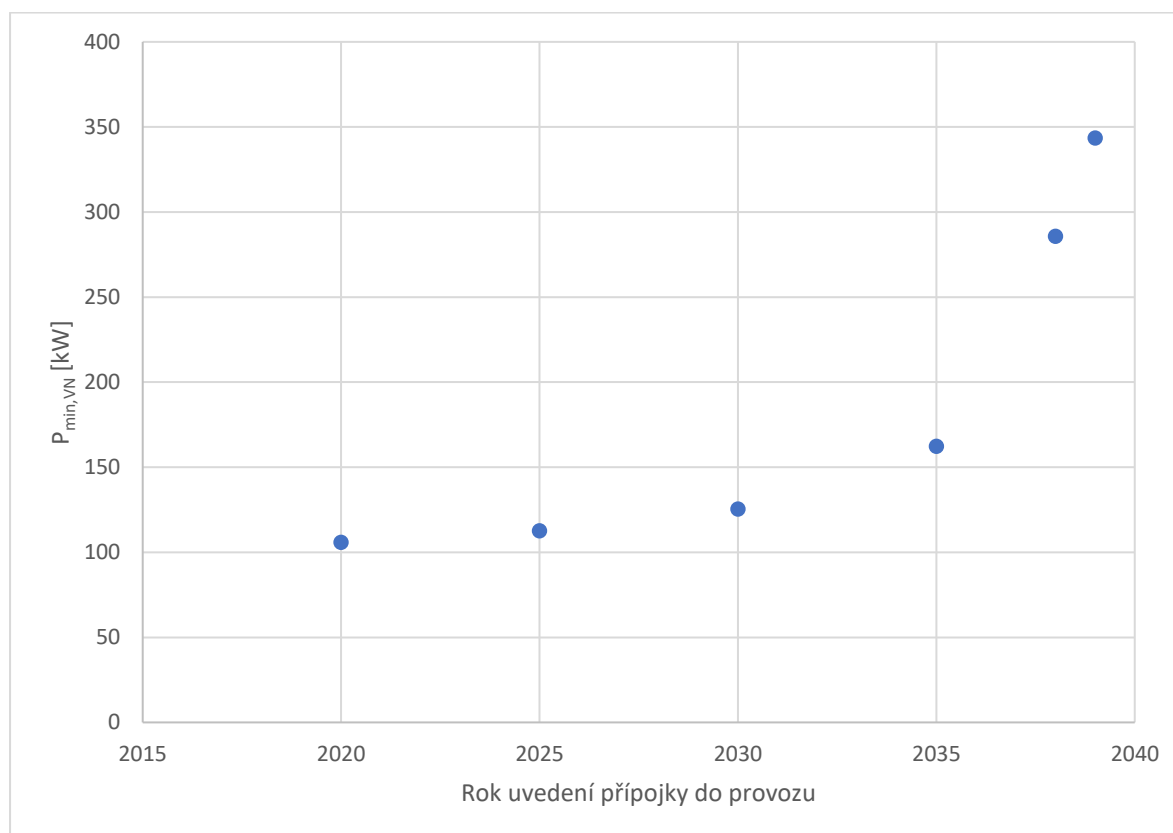
Podpora seskupování DoS

Seskupování DoS představuje významný faktor ovlivňující cenu dobíjecí infrastruktury v Praze. Jak je vidět na výsledcích modelu, správné nastavení pravidel pro seskupování může ušetřit stovky miliónů ročně v případě nízkého scénáře, nebo i více než miliardu v případě středního scénáře. Seskupování snižuje investiční náklady na výstavbu kabelových tras, navyšuje jejich míru využití. Pozitivní vliv se projevuje i v podobě snížených ztrát, protože je více skupin DoS připojeno na síť VN. Z mého modelu vyplývá, že rozdíl mezi průměrnou skupinou s pěti DoS a průměrnou skupinou s třiceti DoS pro střední scénář představuje rozdíl o 1,378 mld. Kč v ročním ekvivalentním hotovostním toku. Doporučení tedy zní, rozhodně podporovat seskupování DoS. Měřítkem pro rozhodnutí PDS, jakým finančním objemem seskupování podporovat, by mohly být náklady na nevhodně umístěné (neefektivně rozložené) DoS. Ty by měly zahrnovat náklady na nevyužité kapacity NN kabelů, dTR a také náklady související s udržením kvality a spolehlivosti DS vyvolané připojením nových DoS. Seskupování by pak mělo být distributorem podporováno maximálně do výše těchto neefektivních nákladů. Jako příklady míst s potenciálem na velké seskupení DoS se jeví např.

P+R parkoviště PID (pražské integrované dopravy) a parkovací domy, parkoviště obchodních center, parkoviště významných zaměstnavatelů apod.

Omezení ztrát

Obzvláště u středního scénáře je patrný zásadní vliv výdajů za ztráty. Nejvýznamnější jsou samozřejmě ztráty na hladině NN. Proto je třeba věnovat dostatečnou pozornost zvažování připojení na hladinu VN i v případech, když to není z hlediska výkonových omezení jednotlivých prvků nutné. Pro ukázkou jsem spočítal zlomový příkon, pro který výnosy z ušetřených výdajů na ztráty převáží výdaje na nové trafo. Výsledky jsou pro jednu přípojku DoS s časem připojení od r. 2020 do r. 2039. Nákup trafo uvažuji v roce předcházejícím roku připojení. Pro zlomový výkon $P_{\min, VN}$ platí, že NPV investice je rovno nule. Čas ukončení investice je vždy konec r. 2040. Výsledky jsem vnesl do grafu níže (Obrázek 8). Na něm je vidět, že je třeba o připojení na hladinu VN uvažovat už u přípojek o příkonu od 106 kW, přestože vlastnosti kabelu AYKY (potažmo CYKY) 240 mm² umožňují přenášet⁷ na hladině NN příkon až 200 kW (potažmo 350 kW). Tento přístup se také doplňuje s výše uvedeným seskupováním DoS a zvyšuje jeho přínosy o ušetřené výdaje za ztráty na hladině NN.



Obrázek 8 Minimální příkon přípojky DoS pro připojení hladinu VN z hlediska krit. $NPV=0$

⁷Do dále uvedených výkonů se na NN běžně připojuje, viz. str. 18.

Závěr

Úkolem této práce bylo zmapovat podmínky pro rozvoj elektromobility v Praze a na základě technické a ekonomické analýzy dobíjení na úrovni distribuční sítě zjistit očekávané náklady a navrhnout doporučení pro realizaci.

Nejprve jsem začal s uvedením souvisejícího rozvoje elektromobility ve světě. Vybral jsem tři země, jejichž rozvoj elektromobility by mohl souviset, či dokonce predikovat směr rozvoje v ČR. První zemí je Německo jakožto náš blízký soused a země významně se angažující v rozvoji elektromobility v Evropě. Druhou je Estonsko, které se rozhodlo financovat rozvoj elektromobility ze státního rozpočtu a v současnosti má rozsáhlou, rovnoměrně rozloženou síť dobíjecích stanic. Třetí zemí je Norsko, jehož úroveň elektromobilizace nemá v Evropě, ani ve světě obdoby a z jehož úspěchů i chyb se můžeme mnohému přiučit.

Na to jsem navázal našimi národními podmínkami pro elektromobilitu, přístupem státního aparátu, přístupem distributorů elektřiny a také očekáváními potenciálních zákazníků. Pro potenciální zákazníky jsou prozatím zásadními překážkami vysoká cena EV a nedostatečná dobíjecí infrastruktura. Z hlediska státu elektromobilita spadá hlavně do působnosti MPO. To se prozatím spokojuje s implementací pouze na úrovni nutných reakcí na opatření EU a se základním mapováním problému. Distributoři podnikají směrem k elektromobilitě opatrné kroky, neboť zatím nejsou přesvědčení o stálosti tohoto trendu. Dalším důvodem je i fakt, že z jejich pohledu regulovaných subjektů v současné fázi nemohou do rozvoje elektromobility nijak významně investovat, a proto spíše vyčkávají a reagují na současný stav.

Při pohledu na samotnou Prahu lze říci, že bude pravděpodobně indikátorem rozvoje elektromobility v ČR. Její výlučnost jí zaručují vysoká koncentrace obyvatelstva a kapitálu i postavení jakožto dopravního uzlu evropského významu. Pražská samospráva si tento fakt dobře uvědomuje a v současnosti elektromobilitu značně podporuje.

Očekávaný rozvoj elektromobility v ČR do roku 2040 zřejmě nejlépe mapuje dílčí studie [22]. Přináší tři standardně zvolené scénáře, z nichž jsou dle odhadů zástupců průmyslu a distributorů reálné dva – scénář nízký a scénář střední. Ze studie vychází důležité vstupy mého modelu – očekávaná potřeba dobíjecích stanic a nárůst výkonových nároků.

Ve druhé části jsem se podrobněji podíval na technické aspekty připojení a provozu dobíjecích stanic. Začal jsem s v ČR používaným rozdělením DoS do výkonnostních kategorií a s požadavky, které se k jednotlivým kategoriím vážou. Poté jsem popsal způsoby a podmínky připojení DoS do distribuční sítě dle požadavků distributora. Také jsem spočetl orientační počty

DoS připadajících na jednu přípojku. Poté jsem uvedl použité projekce počtu potřebných DoS a nárůstu zatížení v průběhu sledovaného období. Současně jsem popsal předpoklady a metody výpočtu těchto projekcí. Na závěr jsem se zmínil o možnostech řízeného dobíjení a jejich vlivu na distribuční síť.

Třetí část je celá věnována ekonomicko-technické studii. Jejím hlavním výstupem je současná hodnota výdajů (NPV) na rozvoj elektromobility v Praze. Pracuje s obdobím následujících 21 let, tj. do roku 2040. Hlavními složkami jsou investiční výdaje na kabely, distribuční trafostanice a samotné dobíjecí stanice. Dále jsou zahrnuty také provozní výdaje na ztráty v kabelech a distribučních trafecích. Hlavními vstupy jsou očekávaná potřeba DoS a nárůst výkonových nároků. Pro modelování těchto vstupů jsem zvolil dva scénáře – nízký a střední. Další tři nezávislé scénáře jsem vytvořil pro míru seskupování DoS pod jednu přípojku. Je zde také popis modelu, všech vstupů a způsoby jejich získání. Celý model je také přiložen ve formátu Excel. Dále jsem shrnul výsledky jako šest hodnot NPV pro jednotlivé kombinace scénářů a také příslušné hodnoty ročních ekvivalentních hotovostních toků. Posledním bodem této části je citlivostní analýza. Z použitých proměnných jeví model zásadní citlivost na scénáře seskupování.

V poslední části jsem vzhledem k cílům české elektromobility navrhl následující opatření pro připojování DoS do distribuční sítě. Zaprvé, z modelu vyplývá, že cenu elektromobility v Praze zásadním způsobem ovlivňuje míra seskupování DoS. Proto je vhodné toto seskupování podporovat až do výše nákladů vyvolaných nevhodně umístěnými DoS. Zadruhé, model ukazuje, že ztráty tvoří významnou položku celkové ceny elektromobility. Je třeba uvažovat o připojení na hladinu VN od významně nižších výkonů, než je běžné (dle hrubých odhadů již od 100kW přípojek). Považuji tato dvě opatření za použitelná a systémově aplikovatelná a myslím si, že mohou přispět k významnému snížení výdajů na elektromobilitu v Praze.

Přílohy

1. Soubor „Data_DP_Rozvoj_elektromobility_v_Praze“ ve formátu xlsx

Bibliografie

- [1] T. Altenburg, E. W. Schamp, a A. Chaudhary, „The emergence of electromobility: Comparing technological pathways in France, Germany, China and India", *Sci. Public Policy*, roč. 43, č. 4, s. 464–475, 2016.
- [2] International Energy Agency, „Global EV Outlook 2017: Together Secure Sustainable", *IEA Pub*, s. 1–71, 2017.
- [3] International Council on Clear Transportation, „China’s New Energy Vehicle mandate (final rule)", 2018.
- [4] Q. Zhao, „Electromobility research in Germany and China: structural differences", *Scientometrics*, roč. 117, č. 1, Springer International Publishing, s. 473–493, 27-říj-2018.
- [5] L. Joller a U. Varblane, „Learning from an electromobility living lab: Experiences from the Estonian ELMO programme", *Case Stud. Transp. Policy*, roč. 4, č. 2, s. 57–67, čer. 2016.
- [6] E. Figenbaum, T. Assum, a M. Kolbenstvedt, „Electromobility in Norway: Experiences and Opportunities", *Res. Transp. Econ.*, 2015.
- [7] A. C. Mersky, F. Sprei, C. Samaras, a Z. (Sean) Qian, „Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway", *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, roč. 46, s. 56–68, čvc. 2016.
- [8] NAF, „Elbil, ventelister og rettigheter", 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.naf.no/om-naf/nytt-fra-naf/elbil-ventelister-og-rettigheter/>. [Viděno: 26-pro-2018].
- [9] NAF, „Ladepunkt for elbil bør ikke stanses av borettslagene", 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.naf.no/om-naf/nytt-fra-naf/ladepunkt-for-elbil-bor-ikke-stanses-av-borettslagene/>. [Viděno: 26-pro-2018].
- [10] P. Knap a P. Kyjonková, „Trendy a očekávání českých automobilových zákazníků při nákupu vozidel 2018", 2018.
- [11] Svaz Dovozců Automobilů, „Registrace nových OA v ČR". [Online]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?n#rok=2018&mesic=10&kat=OA&vyb=ktg&upr=&obd=r&jine=false&lang=CZ&str=nova>. [Viděno: 26-pro-2018].
- [12] ŠKODA AUTO a.s., „Nové vozy ŠKODA ihned k dodání". [Online]. Dostupné z: <https://stock-cars.skoda-auto.com/260/cs-cz/>. [Viděno: 26-pro-2018].
- [13] Carismo.cz, „Porovnávač vozů". [Online]. Dostupné z:

- <https://www.carismo.cz/porovnavac/nissan-leaf-40-kwh-acentu/554/3851/2100/kia-soul-ev-ac-elektromotor-81-kw-premium/159/1171/615/volkswagen-e-golf-100-kw-e-golf/386/2704/1555/volkswagen-e-up-60-kw-e-up/374/2634/1524/>. [Viděno: 26-pro-2018].
- [14] Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Seznam provozovaných veřejných čerpacích stanic pohonných hmot v ČR podle stavu evidence ke dni 26. 6. 2018“.
- [15] Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Seznam provozovaných veřejných dobíjecích stanic v ČR podle stavu evidence ke dni 26. 6. 2018“.
- [16] Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Národní akční plán čisté mobility (NAP CM)“, Praha, 2015.
- [17] M. J. Bezděkovský, „Elektromobilita z pohledu Ministerstva dopravy“, 2018.
- [18] V. Jelenecký, „Konzultace PREdistribuce 15.10.2018“, 2018.
- [19] S. Votruba, „Prezentace k integraci elektromobility do DS 10.12.2018“, 2018.
- [20] Krajská správa Českého statistického úřadu v hl. m. Praze, „Základní tendence demografického, sociálního a ekonomického vývoje hl. m. Prahy 2017“, Praha, 2018.
- [21] Luboš Srb, „Miliardová zakázka na pražský e-carsharing. Co všechno víme? - ElektrickéVozy.cz“. [Online]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/miliardova-zakazka-na-prazsky-e-carsharing-co-vsechno-vime>. [Viděno: 13-kvě-2019].
- [22] EuroEnergy, „Dílčí studie pro pracovní tým A25 - Predikce vývoje elektromobility v ČR“, Praha, 2018.
- [23] L. Havel, E. Muřický, J. Bezděkovský, S. Votruba, L. Folbrecht, a Z. Krebs, „Workshop MPO k Národnímu akčnímu plánu pro chytré sítě Elektromobilita 19. listopadu 2018“, 2018.
- [24] Provozovatelé distribučních soustav, *Pravidla provozování distribučních soustav Příloha 6 Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě*. 2017, s. 20.
- [25] H. Shareef, M. M. Islam, a A. Mohamed, „A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles“, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, roč. 64, s. 403–420, říj. 2016.
- [26] PREdistribuce a. s., „Připojení k distribuční soustavě | PREdistribuce, a. s.“ [Online]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/potrebuji-zaridit/zakaznici/pripojzeni-k-distribucni-soustave/#45DB4803C775DDE37C15D4F71E6A583A>. [Viděno: 19-úno-2019].
- [27] Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Národní akční plán pro chytré sítě (NAP SG)“, 2015.
- [28] PREměření, „e-shop PREměření“. [Online]. Dostupné z:

- <https://eshop.premereni.cz/inshop/scripts/shop.aspx>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [29] Alza.cz, „Příslušenství k elektromobilům | Alza.cz". [Online]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/prislusenstvi-k-elektromobilum/18862465.htm#f&cst=0&cud=0&pg=1-3&prod=>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [30] ifTECH s.r.o., „Dobíjecí stanice pro elektromobily - ifTECH s.r.o." [Online]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/55-dobijeci-stanice-pro-elektromobily>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [31] SMART-EV, „Nabíjecí stanice | SMART-EV". [Online]. Dostupné z: <http://www.smartev.cz/cz/nabijeci-stanice/>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [32] ABB, „Rychlonabíjecí stanice pro elektromobily již brzo součástí běžného provozu měst". [Online]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/cawp/seitp202/b2d9ea8d064e5303c125793d00599edb.aspx>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [33] KOČÍ - VALÁŠEK s.r.o., „EkoDesign 22 kV -vnutí Al | KOČÍ - VALÁŠEK s.r.o". [Online]. Dostupné z: <https://transformatory.cz/nove-transformatory/detail/20>. [Viděno: 02-dub-2019].
- [34] PRAKAB, „Katalog produktů", 2017. [Online]. Dostupné z: https://www.prakab.cz/upload/Download/Produktov_katalog_CZ_27.7.2018.pdf. [Viděno: 02-dub-2019].
- [35] Ústav územního rozvoje, „Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury obcí – Aktualizace 2017", 2017. [Online]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2017/04-elektro-ceny-ti-2017.pdf>.
- [36] J. Huenteler, T. S. Schmidt, J. Ossenbrink, a V. H. Hoffmann, „Technology life-cycles in the energy sector — Technological characteristics and the role of deployment for innovation", *Technol. Forecast. Soc. Change*, roč. 104, s. 102–121, bře. 2016.
- [37] David Roberts, „The falling costs of US solar power, in 7 charts - Vox", 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.vox.com/2016/8/24/12620920/us-solar-power-costs-falling>. [Viděno: 14-kvě-2019].
- [38] Power Exchange Central Europe a. s., „Oficiální kurzovní lístek". [Online]. Dostupné z: <https://www.pxe.cz/Kurzovni-Listek/Oficialni-KL/>. [Viděno: 09-dub-2019].
- [39] Kurzy.cz spol. s r.o., „EUR euro, historie kurzů měn". [Online]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/EUR-euro/>. [Viděno: 09-dub-2019].