



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Didelės galios elektromobilių įkrovimo stotelių plėtros Lietuvoje tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Gytis Nadvaravičius

Projekto autorius

Prof. Saulius Gudžius

Vadovas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Didelės galios elektromobilių įkrovimo stotelių plėtros Lietuvoje tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (6211EX010)

Gytis Nadvaravičius

Projekto autorius

Prof. Saulius Gudžius

Vadovas

Asist. Artūras Baronas

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Gytis Nadvaravičius

Didelės galios elektromobilių įkrovimo stotelių plėtros Lietuvoje tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Gytis Nadvaravičius

Patvirtinta elektroniniu būdu

Nadvaravičius, Gytis. Didelės galios elektromobilių įkrovimo stotelių plėtros Lietuvoje tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Saulius Gudžius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): elektros inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: HDEV, EV, sunkiojo transporto elektrifikacija.

Kaunas, 2024. 50 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame projekte yra atliekamas tyrimas, kuriuo įvertinamas viešosios sunkiajam transportui skirtos įkrovimo infrastruktūros galios ir energijos poreikiai. Šiuo metu didelis dėmesys kreipiamas lengvojo transporto transformacijai, tačiau prie nulinių emisijų turės pereiti ir sunkusis transportas. Šiame tyrime įvertinama įkrovimo infrastuktūros poreikis sunkiojo transporto elektrifikacijai ir reikiama prijungimo galia bei atsinaujinančių energijos išteklių integracijos įkrovimo stoties įtaką kaštams.

Nadvaravičius, Gytis. Investigation of Optimal Development of High Power Charging Hubs for Electric Vehicles in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Saulius Gudžius; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): electrical engineering, engineering sciences.

Keywords: HDEV, EV, heavy duty vehicle electrification.

Kaunas, 2024. 50 p.

Summary

This master's final degree project aims to investigate the optimal needs of mega charging hubs for heavy duty electric vehicles. While a lot of attention is currently focused on car electrification, it is crucial to consider heavy-duty transport's transition to zero-emission operations. Hence, this analysis will focus on assessing the demand for charging infrastructure dedicated to heavy-duty transport. Additionally, it will evaluate the needed power of connection point and renewable source installation in the location could impact the hub.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Teorinė dalis.....	11
1.1. Kelių transporto emisijos Europoje	11
1.2. Kelių transporto nulinių emisijų transformacija.....	12
1.3. Sunkvežimių sustojimų vietos ir trukmė	13
1.4. Transporto elektrifikacijos sprendimai.....	14
1.4.1. Hibridinis variklis (be išorinio įkrovimo).....	15
1.4.2. Hibridinis variklis (su išoriniu įkrovimu).....	15
1.4.3. Elektromobiliai su baterija (BEV).....	15
1.4.4. Kuro cele varomi elektromobiliai (FCEV).....	15
1.4.5. Elektrinės kelių sistemos	15
1.5. HDEV įkrovimas	16
1.5.1. Įkrovimo technologijos.....	17
1.5.2. Įkrovimo stotelių plėtros planai Europoje	18
1.5.3. Įkrovimo stotelių plėtros planai Lietuvoje	20
1.5.4. Įkrovimo infrastruktūros prijungimas prie elektros tinklo	21
1.6. HDEV vandenilio pasipildymo infrastruktūra.....	24
1.6.1. Vandenilio gamyba pasipildymo stotelėje.....	25
1.7. Vandenilio ir greitų elektros įkrovos stotelių palyginimas.....	26
1.8. Sunkiojo transporto elektrifikacijos įtaka elektros sistemai.....	26
2. Metodinė dalis.....	28
2.1. Įkrovimo stoties elektros poreikis	28
2.1.1. Sunkvežimių eismo srautai.....	28
2.1.2. Vairuotojų elgesys	31
2.1.3. Sunkvežimių krovimosi infrastruktūros apribojimai.....	33
2.2. Įkrovimo stoties galios poreikio nustatymas	34
2.2.1. Tipinės paros įkrovimo stoties galios poreikiai.....	34
2.2.2. Metinis įkrovimo stoties veikimo vertinimas	37
2.3. Atsinaujinantys energijos išteklių.....	39
2.3.1. Saulės elektrinė.....	39
2.3.2. Vėjo elektrinė	40
2.3.3. Lyginamosios AEI elektros energijos kainos	41
2.4. Dienos prieš elektros rinkos kaina.....	41
2.5. Įkrovimo stoties veikimo kaštų vertinimas.....	42
Išvados	45
Literatūros sąrašas	46
Priedai.....	49
1 Įkrovimo parko vidutinė galia	49
2 Perteklinė AEI gamyba, GWh.....	50

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Dabar galiojančio ir siūlomo sunkiojo transporto emisijų reglamento palyginimas	13
2 lentelė sunkvežimių sustojimo vietų tipai [10].....	13
3 lentelė Krovimosi tipas ir infrastruktūros prieinamumas	16
4 lentelė Sunkiojo transporto įkrovimo technologijos.....	17
5 lentelė Viešai prieinamų įkrovimo stotelių skaičius pagal alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamentą	19
6 lentelė Alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamento ir ACEA įkrovos taškų skaičiaus palyginimas.....	19
7 lentelė Galios poreikis skirtingoms vandenilio gamybos ir papildymo stotelėms.....	25
8 lentelė Vandenilio ir greito įkrovimo infrastruktūros palyginimas	26
9 lentelė VMPEI skirtingais mėnesiais.....	30
10 lentelė VMPEI skirtingomis savaitės dienomis.....	30
11 lentelė Įkrovimo stotelių galia	33
12 lentelė Įkrovimo stoties įprastinės darbo dienos charakteristikos	35
13 lentelė Įkrovimo stoties įprastinės savaitgalio dienos charakteristikos	36
14 lentelė Vidutinio darbo dienos scenarijaus skirtingų sustojimų charakteristikos.....	36
15 lentelė Įkrovimo stoties metinės charakteristikos.....	37
16 lentelė Įkrovimo stoties metiniai kaštai, mln. EUR.....	43
17 lentelė Ekonomiškai efektyviausios įkrovimo stoties charakteristikos	44

Paveikslų sąrašas

1 pav. ŠESD šaltiniai pagal sektorių EU [1]	11
2 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijos EU [2].....	11
3 pav. Keleivių ir krovinių gabenimo poreikio prognozė [4]	12
4 pav. Sustojimų trukmė [10]	14
5 pav. Energijos srautai transporte (Nuo pirminės energijos iki važiavimo) [4].....	14
6 pav. Įkrovimo pantografu pavyzdys [16]	17
7 pav. Indukcinio įkrovimo infrastruktūros komponentai [17]	18
8 pav. HDEV įkrovimo infrastruktūros poreikis [21]	20
9 pav. Lietuvos EV plėtros žemėlapis [22].....	20
10 pav. Sunkiųjų transporto priemonių infrastruktūros planas 2030 m. [31].....	21
11 pav. EV stotelės prijungimo prie tinklo schema [27]	22
12 pav. Sunkiojo transporto įkrovimo taškui reikalinga tinklo jungties galia [27]	22
13 pav. Sunkiojo transporto įkrovimo taškui reikalinga tinklo jungties galia detalūs scenarijų rezultatai [27].....	23
14 pav. Kaupiklio poveikis elektros prijungimo taško galiai 4 atvejui [27]	23
15 pav. Vidutinės decentralizuoto vandenilio gamybos kainos iš AEI [29]	25
16 pav. Principinė įkrovimo stoties veikimo analizės schema	28
17 pav. Metinis eismo srautas Lietuvoje	29
18 pav. Vidutinis paros eismo srauto pasiskirstymas skirtingais mėnesiais	29
19 pav. Vidutinis eismo srautų pasiskirstymas skirtingomis savaitės dienomis	30
20 pav. Tipiniai eismo srautai darbo dieną ir savaitgalį	31
21 pav. Minimali vairuotojų elgesio tikimybė sustoti lyginant su visu eismo srautu	32
22 pav. Maksimali vairuotojų elgesio tikimybė sustoti lyginant su visu eismo srautu	32
23 pav. Sunkvežimių per parą vidutiniškai nukeliamas atstumas [35].....	33
24 pav. Įkrovimo stoties įprastinis galios poreikis darbo dieną	35
25 pav. Įkrovimo stoties įprastinis galios poreikis savaitgalį	35
26 pav. Įkrovimo galios poreikis darbo dieną vidutiniam sustojimų dažnumui ir vidutiniam atstumui skirtingiems sustojimo tipams	36
27 pav. Metinis įkrovimo stoties galios poreikis	37
28 pav. Metinio įkrovimo stoties galios poreikio ribinės vertės	38
29 pav. Saulės elektrinės generacija metų eigoje	39
30 pav. Vidutinė saulės elektrinės generacija skirtingais sezonais	39
31 pav. Vėjo elektrinės generacija metų eigoje	40
32 pav. Vidutinė vėjo elektrinės generacija skirtingais sezonais	40
33 pav. Vėjo ir saulės elektrinių LCOE [36]	41
34 pav. Elektros kainos kitimas per metus	41

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ACEA – Europos automobilių gamintojų asociacija.

AEI – atsinaujinantis energijos išteklius.

AFIR – Reglamentas dėl alternatyviųjų degalų infrastruktūros diegimo, 2023 m. liepos 25 d.

BEV – elektromobiliai su baterija.

EU – Europos Sąjunga.

EV – elektromobilis.

FCEV – kuro cele varomas elektromobilis.

HDEV – sunkusis elektromobilis.

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos.

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas.

LCOE – Lyginamoji elektros energijos kaina.

Įvadas

Europai siekiant tapti klimatui neutraliu žemynu, ieškoma efektyvių sprendimų įvykdyti žaliąją transformaciją ir sumažinti ŠESD emisijas. Vienas iš tokių sprendimų yra tarpsektorinė integracija. Tai yra įvairių sektorių tokių, kaip energetikos, transporto, pramonės ir kitų, elektrifikacija ir bendradarbiavimo didinimas. Šia integracija siekiama sinergijos tarp skirtingų sričių, plėtoti inovacijas, kurios peržengia įprastas vienos srities ribas, ir kartu planuoti skirtingų sektorių vystymąsi. Taip bandoma užtikrinti mažas emisijas, efektyvų elektros energijos panaudojimą ir tvarumo didinimą. Tarpsektorinė integracija atneša ne tik daug naudos, bet ir tam tikrus iššūkius. Sunku suderinti įvairių suinteresuotų šalių siekius, įveikti teisinius barjerus, užtikrinti tinkamus duomenų mainus ir sąveiką tarp sektorių. Norint nugalėti kylančius iššūkius, svarbu, kad visos suinteresuotos šalys aktyviai įsitrauktų į integracijos procesą. Dėl to šiame darbe bus analizuojama transporto sektoriaus elektrifikacijai reikalinga elektros perdavimo tinklo infrastruktūra Lietuvoje, didžiausią dėmesį atkreipiant į sunkiųjų transportą. Nepaisant to, kad šiuo metu šalyje elektromobilių skaičius nėra didelis, bet jis auga eksponentiškai ir siekiant įgyvendinti „Žaliojo kurso“ įsipareigojimus ateityje šių priemonių skaičius didės dar labiau. Augantis EV skaičius reikalauja naujų įkrovimo stotelių, kurioms reikalingi ne tik keliai, bet ir elektros sistemos infrastruktūra. Manoma, kad EV įkrovimo stotelės turės nemažai įtakos elektros tinklams. Ypač daug įtakos turės šalia pagrindinių kelių įrengtos didelės galios įkrovimo stotelės. Kol tokios stotelės planuojamos lengvajam transportui, bet ateityje jų reikės ir elektriniam sunkiajam transportui. HDEV reikės galingesnio nei dabar numatomo kelių šimtų kilovatų galios įkrovimo taško, joms reikės poros megavatų galios įkrovimo taško. Vienoje įkrovimo stotelėje įrengiant daugiau tokių galingų įkrovimo taškų, susidaro nemažas galios poreikis, kurio skirstomasis tinklas gali nepatenkinti. Todėl megavatų eilės HDEV įkrovimo stoteles teks jungti prie perdavimo tinklo. Perdavimo tinklas nėra toks platus kaip skirstomasis, dėl to plėtojant megavatų eilės įkrovimo stoteles labai svarbu atsižvelgti į jų vietą. Šiame darbe bus vertinama, kaip efektyviausiai išnaudoti jau esamą perdavimo elektros tinklą tokių įkrovimo stotelių vystymui ir įvertinti jo plėtros poreikius.

Darbo tikslas: Nustatyti viešosios didelės galios sunkiojo elektrifikuoto transporto įkrovimo infrastruktūros prijungimo taško galios poreikius.

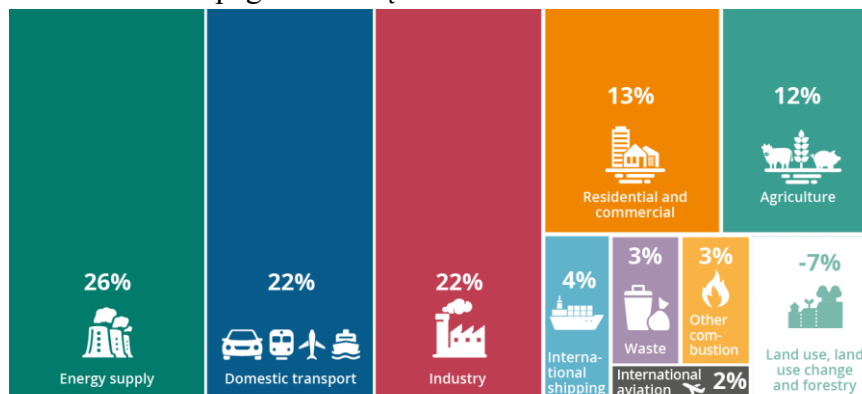
Darbo uždaviniai:

1. Išnagrinėti literatūrą susijusią su transporto elektrifikacija
2. Nustatyti, kokios infrastruktūros reikia sunkiojo transporto elektrifikacijai
3. Įvertinti sunkiojo elektrifikuoto transporto viešosios įkrovimo vietos galios poreikius
4. Įvertinti atsinaujinančių energijos išteklių poveikį viešajai įkrovimo vietai

1. Teorinė dalis

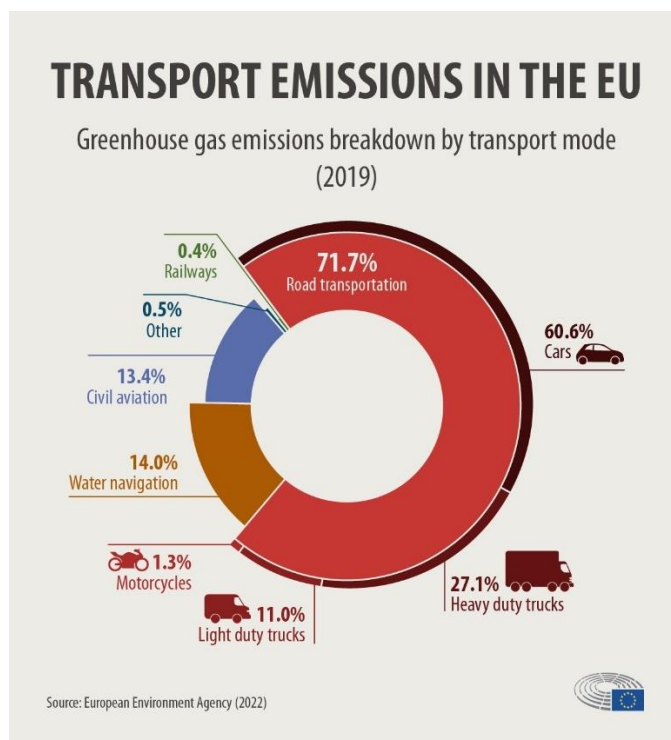
1.1. Kelių transporto emisijos Europoje

Anot Europos aplinkosaugos agentūros 2022 m. pateikiamų duomenų transporto sektorius (vietinis ir tarptautinis) sudarė apie 30% EU ŠESD emisijų [1]. Tai yra daugiau nei bet koks kitas sektorius, todėl šiam sektoriui reikės didžiausio pokyčio siekiant klimato neutralumo. Visos EU ŠESD emisijos parodytos 1 pav. ŠESD šaltiniai pagal sektorių EU.



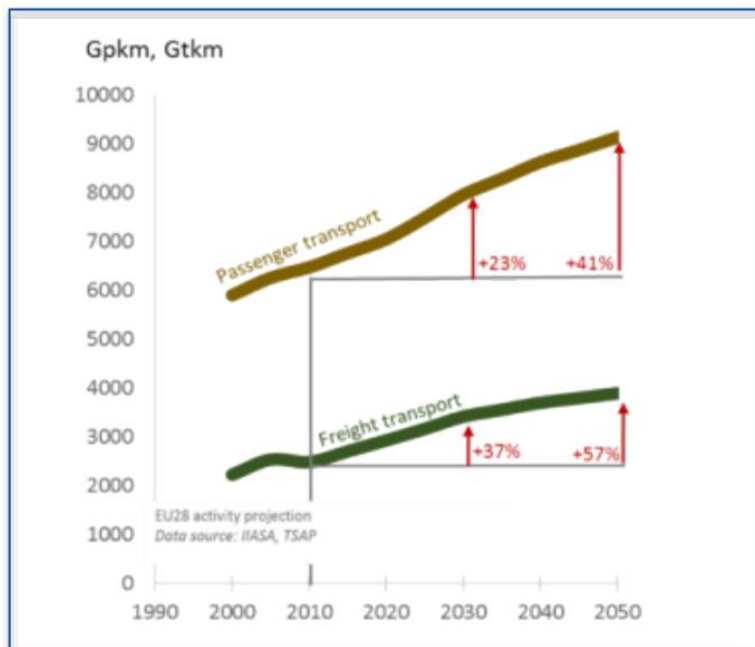
1 pav. ŠESD šaltiniai pagal sektorių EU [1]

O transporto sektoriuje Europos aplinkosaugos agentūra 2019 m. nurodė, kad kelių transporto sektoriaus sudarė apie 72 % visų šio sektoriaus emisijų [2]. Detalus transporto sektoriaus emisijų pasiskirstymas pateikiamas 2 pav. Kelių transporte didžiąją dalį emisijų sudarė lengvieji automobiliai (~60.6 %). Bet iš visų 2019 m. EU registruotų kelių transporto priemonių (~279 mln.), sunkvežimiai sudarė tik apie 12.7 % (~35.4 mln.) [3]. Todėl ženkliai mažesnis sunkvežimių skaičius regione sudaro palyginti itin dideles emisijas (~ 38.1 % visų kelių transporto emisijų).



2 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijos EU [2]

Negana to, kad dabartinis transportas sudaro didelę dalį EU emisijų, prognozuojama, kad keleivių ir krovinių gabenimo poreikis regione išaugs, poreikio augimas vaizduojamas 3 pav. [4]. Dėl didelių ŠESD emisijų ir augančio sektoriaus poreikio, kyla iššūkių pasiekti EU transportui keliamus CO₂ tikslus. Norint juos pasiekti reikės naujų transporto priemonių technologijų, naujos infrastruktūros ir daugiau elektros energijos. Šiame darbe didesnis dėmesys bus kreipiamas į sunkiojo transporto transformaciją.



3 pav. Keleivių ir krovinių gabenimo poreikio prognozė [4]

1.2. Kelių transporto nulinių emisijų transformacija

Pagal „Žaliąjį kursą“ EU sudarė nuoseklius planus, kuriais apibrėžiama, kaip per kelis ateinančius dešimtmečius transformuosis bendrijos ekonomika ir visuomenė. Transporto dekarbonizacijos siekius Europos komisija aiškiai įvardijo pirmame „Darnaus ir išmanaus judumo strategijos“ skirsnyje „Darnus judumas. Negrįžtamas perėjimas prie netaršaus judumo“ [5]. Ten nurodoma, kad:

- iki 2050 m. transporto sektoriaus išmetamųjų teršalų kiekis turi būti sumažintas 90 %, o beveik visos naujos sunkiosios transporto priemonės bus nulinės emisijos.
- Kelių transportui energijos vartojimo efektyvumas yra pagrindinis kriterijus nustatyti pirmenybę pasirenkant ateityje tinkamiausias taikomas technologijas.
- Oro ir vandens transportas susiduria su didesniais dekarbonizacijos iššūkiais, nes dabar neegzistuoja nulinės emisijos technologijos. Šioms priemonėms reikia papildomų AEI technologijų ir mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančių skystųjų ir dujinių degalų, nes artimiausiu metu trūkta tinkamų alternatyvių variklių.

Europos komisija yra tvirtai pasiruošusi skatinti nulinės emisijos transporto plėtrą, pripažindama, kad alternatyvūs degalai bus leidžiami tik tada, kai nebus tinkamų alternatyvių sprendimų, tai pagrinde liečia oro ir jūrų transportą bei žemės ūkio ir statybos sektorius. Kol kas Europos komisija mato, kad alternatyviojo kuro gamyba yra mažesnė nei prognozuojamas jo poreikis, todėl apie sintetinio ar biokuro pritaikymą kelių transporte nėra svarstoma.

Sunkiajam transportui 2019 m. EU įvedė pirmuosius CO₂ emisijų standartus 2019/1242 reglamentui, jie taikomi naujai parduodamoms sunkiosios transporto priemonėms. O 2023 m. vasario mėn.

Europos komisija pasiūlė peržiūrėti šį reglamentą ir nustatyti griežtesnius ŠESD reikalavimus, į juos įtraukti autobusus ir kitas šio segmento transporto priemones [6]. 1 lentelė palyginami dabar galiojančio reglamento ir naujai siūlomas 2023/0042 pakeitimas.

1 lentelė. Dabar galiojančio ir siūlomo sunkiojo transporto emisijų reglamento palyginimas

EU reglamentas 2019/1242		Naujas pasiūlymas: 2023/0042	
Metai	CO ₂ emisijų sumažinimas*	Metai	CO ₂ emisijų sumažinimas *
2025	-15%	2025	-15%
2030 ir vėliau	-30%	2030	-45%
		2035	-65%
		2040 ir vėliau	-90%
*lyginant su 2019 m. liepos 1 d. – 2020 birželio 31 d. emisijomis			
<ul style="list-style-type: none"> Specialus skatinimo mechanizmas nulinės ir mažos emisijos transporto priemonėms 		<ul style="list-style-type: none"> Nuo 2030 m. panaikinti šiuo metu galiojantį nulinės ir mažos emisijos transporto priemonių skatinimo mechanizmą (nes griežtesni CO₂ tikslai turėtų savaime padidinti tokių transporto priemonių skaičių) Nevertinama galima AEI ir į aplinką mažai anglies dioksido išskiriančio kuro nauda. Nuo 2030 m. nauji miesto autobusai privalo turėti 100 % nulines emisijas. 	

1.3. Sunkvežimių sustojimų vietos ir trukmė

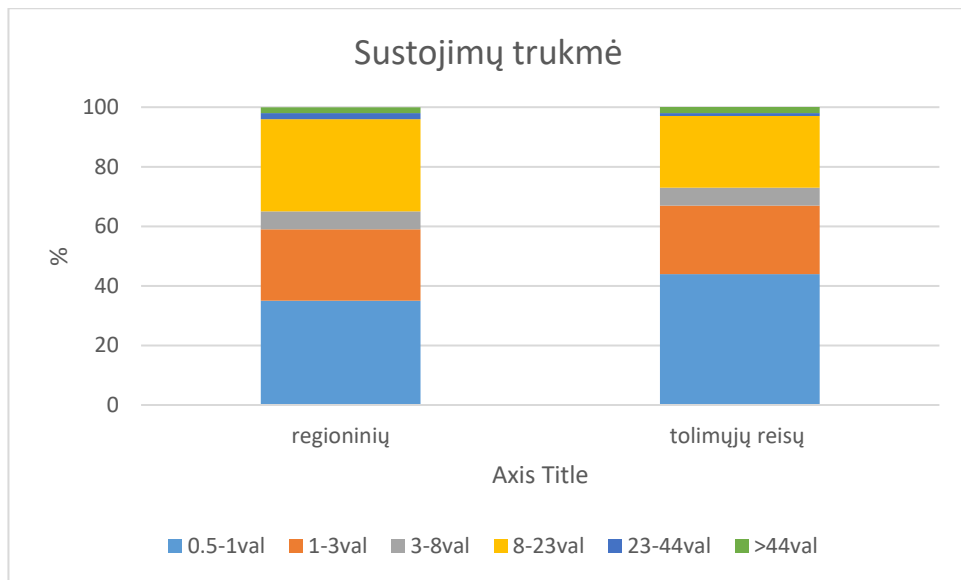
Pagal Europos komisijos reglamentą 561/2006 nustatytos vairavimo ir poilsio trukmės. Po 4.5 val. vairavimo, yra privaloma turėti bent 45 min. pertrauką, po kurios vėl galima vairuoti ne ilgiau nei 4.5 val., iš viso ne daugiau nei 9 val. per parą. Taip pat vairuotojam privaloma per parą suteikti bent 11 val. poilsio periodą. [23]

Sunkiojo transporto elektrifikacijai svarbu nustatyti šiuo metu naudojamas poilsio vieta, nes jos gali būti tinkamiausios vietos pradėti diegti jų transformacijai reikiamą infrastruktūrą. 2 lentelė pateikiama 10 % lankomiausių Europos sunkvežimių sustojimo vietų pagal tipą [10].

2 lentelė sunkvežimių sustojimo vietų tipai [10]

Kategorija	Atstumas iki kelio	Apytikslė dalis
Poilsio vieta	50 m – 5 km	30 – 50 %
Įmonės ir logistikos centrai	1 km – 5 km	25 – 45 %
Uostai	–	1 – 5 %
Kita	–	< 50 %

Svarstant apie HDEV infrastruktūros plėtrą svarbu atsižvelgti ne tik į sustojimų vietą, bet ir į sustojimų trukmę. Vidutinė regioninių ir tolimųjų reisų sunkvežimių sustojimo trukmė parodyta 4 pav.

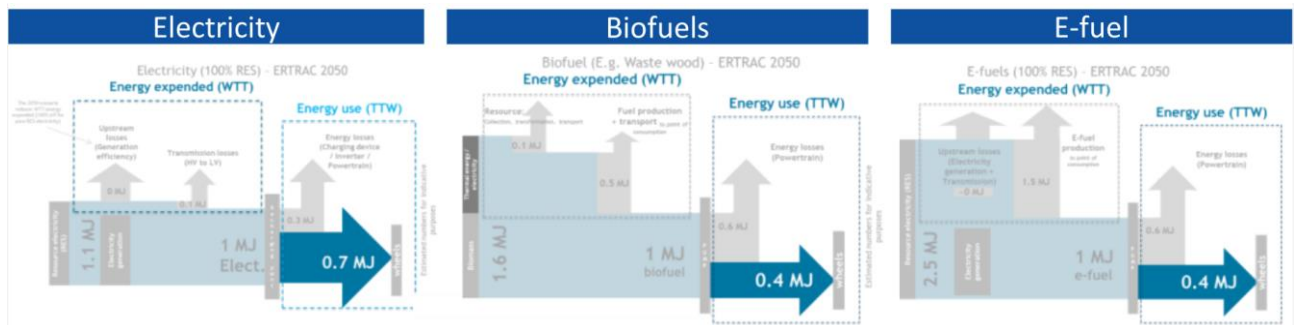


4 pav. Sustojimų trukmė [10]

Dauguma sustojimų yra trumpi (iki 3 val.) arba ilgi (daugiau nei 8 val.) tiek regioninio, tiek ir tolimųjų reisų atveju. Iš sustojimų trukmės galima daryti išvadą, kad sunkiajam transportui reikės didelės galios įkrovos taškų trumpiems sustojimams ir mažos galios taškų ilgiems sustojimams.

1.4. Transporto elektrifikacijos sprendimai

Kaip prieš tai minėta EU sieks kelių transportą tiesiogiai elektrifikuoti ir netaikyti sintetinio ar biokuro. Toks sprendimas primamas dėl to, kad reikia daug mažiau ~0,6 MJ elektros energijos norint panaudoti ~0.4 MJ energijos transporto priemonės judėjimui, lyginant su 1.6 MJ pradinės energijos reikiamos iš biokuro ar 2.5 MJ reikalingų iš sintetinio kuro, energijos srautai vaizduojami 5 pav.



5 pav. Energijos srautai transporte (Nuo pirminės energijos iki važiavimo) [4]

Todėl detalčiau bus apžvelgiamos elektrifikacijos galimybės. Transporto priemonių technologijos, kurios į aplinką išskiria mažai ŠESD, jau yra komerciškai prieinamos. Hibridas sujungia vidaus degimo variklį su elektros varikliu, maitinamu iš akumulatoriaus, kuris, priklausomai nuo dydžio, gali pasiūlyti skirtingą funkcionalumą (energijos regeneraciją stabdant ar pilną veikimą elektra). Akumuliatoriumi ir kuro celėmis varomos elektrinės transporto priemonės yra laikomos perspektyviausiomis, nes jos nesukuria anglies dioksido. Žemiau pateikiama, kaip galima elektrifikuoti transporto priemones.

1.4.1. Hibridinis variklis (be išorinio įkrovimo)

- Šią transporto priemonę pagrinde varo vidaus degimo variklis. Dekarbonizacijos atveju tokia priemonė naudotųsi biokuru ar sintetiniu kuru. Mažas elektrinis variklis (5-20 kW [7]) padeda vidaus degimo varikliui, kai jo veikimas yra mažai efektyvus, pavyzdžiui, kai transporto priemonė važiuoja mažu greičiu ar jai pradedant judėti iš vietos.
- Nedidelė baterija (2-5 kWh) maitina elektros variklį.
- „Mikro-hibridas“ suteikia tik „stop-start“ funkciją. „Vidutinis-hibridas“ leidžia ribotą elektrinio variklio veikimą esant mažam greičiui ir suteikia ribotą stabdžių regeneraciją.
- Šiai transporto priemonei reikia papildyti tik kuro baką, o maža baterija įsikrauna kol veikia vidaus degimo variklis.
- Manoma, kad tokių transporto priemonių pritaikymas tinkamas tik žemės ūkio ir statybų sektoriaus priemonėms, kurioms neįmanoma tiesioginė elektrifikacija.
- Jos neturi įtakos elektros tinklui.[24]

1.4.2. Hibridinis variklis (su išoriniu įkrovimu)

- Tokią transporto priemonę sudaro baterija maitinamas elektros variklis su lygiagrečiai ar nuosekliai sujungtu vidaus degimo varikliu.
- Šių priemonių elektros pavara gali suteikti visą ar didžiąją dalį reikiamos energijos transporto priemonei valdyti 50 – 80 km atstumui [7]. Didelė energijos dalis susigrąžinama į bateriją stabdant.
- Baterija dažniausiai pakraunama iš elektros tinklo, bet ji taip pat gali krauti ir nuo vidaus degimo variklio.
- Šios priemonės neturės daug įtakos elektros tinklui, nes jos pagrinde varomos iškastiniu kuru, o elektros variklio panaudojimas yra ribotas.[24]

1.4.3. Elektromobiliai su baterija (BEV)

- Transporto priemonę varo elektros variklis.
- Visą elektros energiją varikliui suteikia didelės talpos baterija (100-900 kWh [8])
- Norint įkrauti bateriją reikalinga įkrovimo infrastruktūra. Šiuo metu tokios priemonės įkraunamos nuo 7 kW iki 375 kW galios stotelės, o ateityje jų galia sieks iki 3,5 MW
- Šios priemonės neturi emisijų, jeigu jų įkrovimui naudojama AEI pagaminta elektra.
- Jos turės įtakos elektros tinklui.[24]

1.4.4. Kuro cele varomi elektromobiliai (FCEV)

- Transporto priemonę varo elektros variklis .
- Varikliui elektros energiją suteikia kuro celė, kuri generuoja elektros energiją iš vandenilio ir deguonies.
- Vandenilis turi būti laikomas dujinėje būsenoje aukštame slėgyje (350 arba 700 bar).
- Reikalinga speciali kuro pasipildymo infrastruktūra, kuri gali tiekti aukšto slėgio vandenilį.
- Šios priemonės neturi emisijų, jeigu jų įkrovimui naudojama AEI pagaminta elektra.
- Jos gali turėti įtakos elektros tinklui.[24]

1.4.5. Elektrinės kelių sistemos

- Tokiose sistemose transporto priemonę varo elektros variklis.
- Transporto priemonei elektra perduodama judant per indukcinės rities arba per laidžias jungtis tarp transporto priemonės ir kelio, arba per kontaktines oro linijas.

- Transporto priemonėse yra maža baterija, kurią galima įkrauti, kai transporto priemonei elektra tiekama iš elektrinės kelių sistemos.
- Tokioms priemonėms reikalinga speciali infrastruktūra ir norint ja pasinaudoti tarp skirtingų šalių ar regionų, infrastruktūra turi būti suderinta.
- Mažas įkrovimo poreikis, kai transporto priemonė nevažinėja, nes joje įrengta tik maža baterija.
- Šios priemonės neturi emisijų, jeigu jų naudojimui tiekama AEI pagaminta elektra.
- Elektrinių kelių sistemų diegimo tikimybė nėra didelė, nes šios technologijos nėra išsivysčiusios ir pritaikytos rinkai. Dabar jos yra tik tyrimų fazėje ir infrastruktūros įrengimo kainos yra labai didelės. Bet jeigu šios sistemos būtų įdiegtos, jos turėtų poveikį elektros tinklui.

1.5. HDEV įkrovimas

Svarbu atskirti skirtingus krovimosi atvejus, nes jie skiriasi pagal reikiamą įkrovos greitį ir galią. Nors sunkiojo transporto darbo grafikai gali būti labai skirtingi, įkrovimo vietas galima suskirstyti pagal jų prieinamumą ir krovimosi tipą, informacija pateikiama 3 lentelė.

3 lentelė Krovimosi tipas ir infrastruktūros prieinamumas

Krovimosi tipas	Infrastruktūros prieinamumas	
	Viešas	Privatus
Trumpas pakelės	Šalia greitkelių	-
Vidutinės trukmės	Prieigos gyvenvietėse	Logistikos centrai, verslo zonos, depai
Per naktį	Stovėjimo aikštelės	Depai

Kiekviena 3 lentelė kombinacija parodo skirtingą krovimosi atvejį, daugiau informacijos apie kiekvieną iš jų:

- Trumpas pakelės sustojimas šalia greitkelio – vairuotojai dažniausiai sustoja šalia greitkelių įrengtose sustojimo vietose trumpoms pertraukoms (dažniausiai iki 1 val.). Šis laiko tarpas gali būti išnaudotas baterijos įkrovimui, kurio gali prireikti norint tolimoms kelionėms.
- Vidutinės trukmės sustojimas gyvenvietėje įrengtoje krovimosi prieigoje – tai tokie sustojimai įrengti šalia gyvenamųjų vietų, skirti pakrauti ar iškrauti prekes. Elektromobilį galima įkrauti kol pakraunamos prekės. Tokiose vietose sustojimai dažniausiai trunka apie 2 val.
- Vidutinės trukmės sustojimai logistikos centruose – tai panašūs sustojimai į gyvenviečių, juose vairuotojai užtrunka iki 2 val. kol iškraunamos ar pakraunamos prekės.
- Per naktį stovėjimo aikštelėse – tokiose vietose vairuotojai sustoja permiegoti, bet jose galėtų būti įrengtos įkrovimo vietos, kurios per naktį galėtų pilnai įkrauti bateriją. Šie sustojimai trunka apie 8 val.
- Per naktį depuose – po darbo dienos ar kelių autobusai ar sunkvežimiai sugrįžta į savo depus, kuriuose per naktį jų akumulatoriai galėtų būti pilnai įkrauti. [25]

1.5.1. Įkrovimo technologijos

Sunkiojo transporto įkrovimui taikomos technologijos pateikiamos 4 lentelė.

4 lentelė Sunkiojo transporto įkrovimo technologijos

Krovimo technologija	Įkrovimui tinkamas transportas	Įkrovimo gaminių pavyzdžiai
Įkrovimas su kabeliu	Visam sunkiajam transportui	DAF [11], Siemens [33]
Įkrovimas su pantografu	Autobusai, demonstraciniai projektai su sunkvežimiais	ABB [12], Siemens [13]
Bevielis (indukcinis) įkrovimas	Autobusai	IPT Technology [14], Electreon [15]

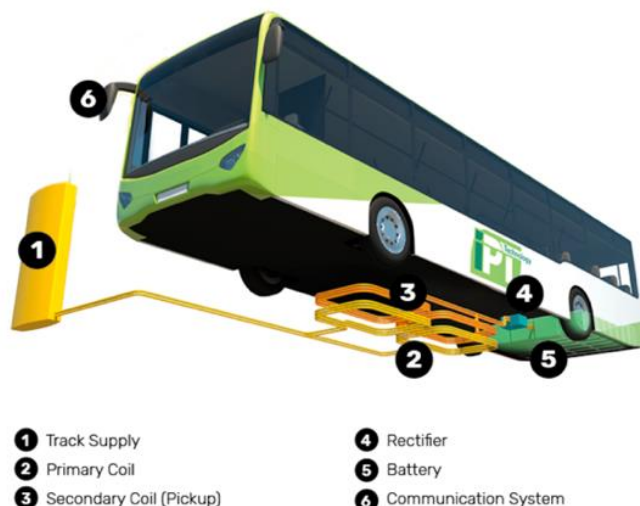
Apie kiekvieną krovimosi technologija plačiau:

- Sunkiojo elektrinio transporto įkrovimas su kabeliu technologiškai nesiskiria nuo lengvojo transporto įkrovimo ir dažniausiai naudojama CCS2 jungtis. Bet, dėl to, kad sunkusis transportas turi didesnes baterijas ir jam reikia daugiau vietos įkrovimo aikštelėje, šiam transporto segmentui reikalingi atskiri įkrovimo taškai. Norint šias priemones įkrauti per priimtina laiką, reikalinga didesnė galia nei lengviesiems automobiliams. Juos krauti per naktį reikalingi 50 – 150 kW įkrovos taškai, vidutinio ilgumo sustojimui 100 kW – 1 MW ir trumpiems pakele sustojimams 1 – 3.75 MW galios įkrovos taškas.
- Įkrovimas su pantografu taikomas elektriniams autobusams ir yra itin tinkamas trumpoms įkrovoms tarp keleivių stotelių. Galimos dvi pantografo konfigūracijos, kai ant transporto priemonės stogo nuleidžiamas pantografas arba kai prie oro linijų prijungiamas iš transporto priemonės pakeliamas pantografas. Šie įrenginiai gali būti taikomi vidutinės trukmės sustojimams, naudojami 150 – 600 kW galios įrenginiai arba nakties sustojimams, tuomet naudojami 50 – 150 kW galios pantografai.



6 pav. Įkrovimo pantografu pavyzdys [16]

- Bevielis (indukcinis) įkrovimas pagrįstas didelės galios perdavimu indukcijos pagalba tarp gatvėje esančių įrenginių ir transporto priemonėje esančios energijos priėmimo įrangos. Šiuo metu tokia technologija taikoma autobusams Londone ir Turine[14].
- Dar yra galimybė pakeisti baterijas, kai iš transporto priemonės išimam išsikrovusi baterija, o jį jos vietą įdedama kita pilnai įkrauta. Šiuo metu tokia galimybė nėra taikoma, nes reikalauja daug papildomų baterijų. Tokia technologija taikoma tik bandomojoje stadijoje. Kinijoje šią technologiją išbando tokios įmonės kaip: CATL, Foton New Energy Vehicle, Geely [18] ir kitos.



7 pav. Indukcinio įkrovimo infrastruktūros komponentai [17]

Iš apžvelgtų technologijų labiau išsivysčiusi ir plačiausias pritaikymo galimybes turi įkrovimas su kabeliu, todėl darbe didžiausias dėmesys bus skiriamas šiai įkrovimo technologijai.

1.5.2. Įkrovimo stotelių plėtros planai Europoje

Pagal alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamentą apibrėžiama, kad:

- Visos EU šalys įsipareigoja įrengti viešosios prieigos įkrovimo stoteles TEN-T pagrindiniuose keliuose pritaikytas sunkiajam transportui ne didesniu nei kas 60 km atstumu:
 - Iki 2025 m. pabaigos reikia įrengti bent 1400 kW suminės galios stotelę su bent vienu 350 kW įkrovos tašku.
 - Iki 2030 m. pabaigos reikia įrengti bent 3500 kW suminės galios stotelę su bent dviem 350 kW įkrovos taškais.
- Visos EU šalys įsipareigoja įrengti viešosios prieigos įkrovimo stoteles TEN-T visuotiniuose keliuose pritaikytas sunkiajam transportui ne didesniu nei kas 100 km atstumu:
 - Iki 2030 m. pabaigos reikia įrengti bent 1400 kW suminės galios stotelę su bent vienu 350 kW įkrovos tašku.
 - Iki 2035 m. pabaigos reikia įrengti bent 3500 kW suminės galios stotelę su bent dviem 350 kW įkrovos taškais.
- Iki 2030 m. pabaigos įrengti per naktį pasinaudoti tinkamas sustojimo vietas su bent vienu sunkiajam transportui pritaikytu nemažesniu nei 100 kW galios įkrovos tašku.
- Iki 2025m. pabaigos kiekviename miesto mazge įrengti viešai prieinamas stoteles pritaikytas sunkiajam transportui, kurių suminė galia siektų bent 600 kW, iš kurių bent vienas įkrovos taškas būtų bent 150 kW galios. O iki 2030 m. suminė stotelės galia turėtų būti bent 1200 kW. [26]

Pagal šio reglamento skaičius galima nustatyti, koks yra minimalus planuojamas įkrovos taškų skaičius, jis pateikiamas 5 lentelė.

5 lentelė Viešai prieinamų įkrovimo stotelių skaičius pagal alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamentą

Įkrovos vieta	Kelio ilgis (km)	Įkrovos stotelės	Minimali suminė stotelės galia 2030 (kW)	Įkrovos taško galia (kW)	Įkrovos taškų skaičius stotelėje	Minimalus įkrovos taškų skaičius
TEN-T pagrindiniai keliai	35969[19]	1.199 (kas 60 km)	3500	350	10	11990
TEN-T visuotiniai keliai	46763[20]	975 (kas 100 km)	1400	350	4	3901
Nakties sustojimo vietos	-	719 (kas 100 km pagrindinių TEN-T kelių)	100	100	1	719
Miesto mazgai	-	88[20]	1200	150	8	704

Iš viso numatyta, kad turi būti įrengta apie 17000 viešosios prieigos įkrovimo taškų iki 2030 m. 6 lentelė palyginama šio reglamento siūlymo infrastuktūros poreikis su ACEA numatomu poreikiu.

6 lentelė Alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamento ir ACEA įkrovos taškų skaičiaus palyginimas

Šaltinis	Visų įkrovos taškų skaičius (2030 m.)	Šalia greitkelio įrengtų įkrovos taškų skaičius	Miesto mazguose įrengtų įkrovos taškų skaičius	Nakties sustojimo vietos įrengtų įkrovos taškų skaičius
Alternatyviojo kuro infrastruktūros reglamento siūlymas	17314	15891 (350 kW)	704 (150 kW)	719 (100 kW)
ACEA [21]	50000-85000	30000 (500 kW+)	15000 (350 kW)	5000-40000 (<350 kW)

Iš lentelės matyti, kad automobilių gamintojai išreiškia ženkliai didesnį viešosios elektromobilių įkrovimo taškų poreikį nei numatyta Europos komisijos reglamento siūlyme. Ypač ryškus skirtumas pastebimas miesto mazgų ir nakties sustojimų infrastruktūroje. Taip pat matoma, kad išreiškiamas didesnės galios įkrovimo taškų poreikis. 8 pav. ACEA pateikia Europos komisijos reglamento pataisos ir agentūros numatomo infrastruktūros poreikio palyginimą.



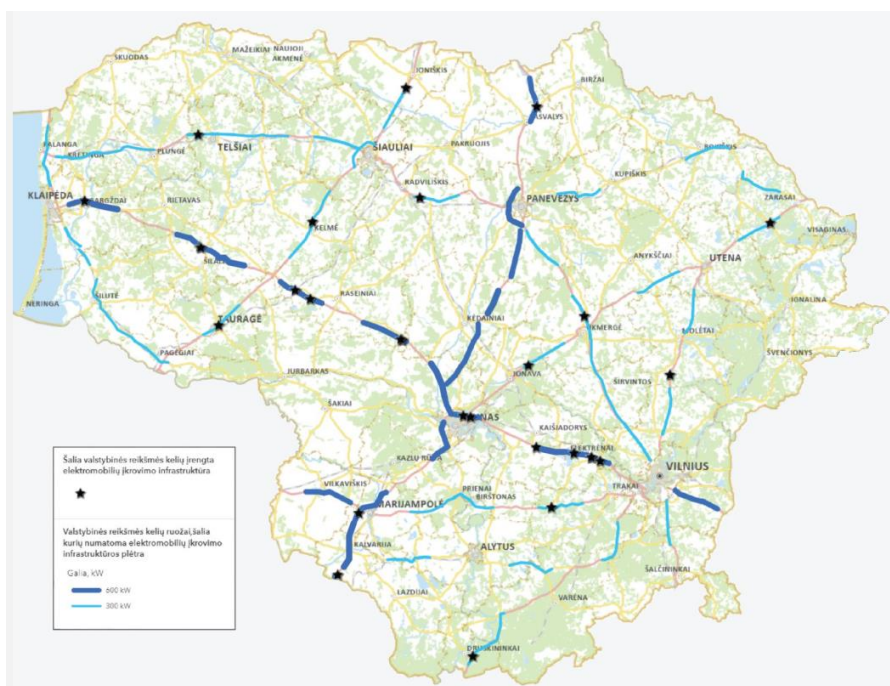
ELECTRIC CHARGING INFRASTRUCTURE

	COMMISSION PROPOSAL			NEEDED IN REALITY			
	31 Dec 2025	31 Dec 2030	31 Dec 2035	1 July 2025	1 July 2027	1 July 2030	1 July 2035
TEN-T core network							
Power output per recharging pool	≥1,400kW	≥3,500kW		≥5,000kW		≥6,500kW	
Number/power of recharging stations	1 x 350kW	2 x 350kW		4 x 350kW 4 x 800kW		4 x 1,200kW	
TEN-T comprehensive network							
Power output per recharging pool		≥1,400kW	≥3,500kW		≥1,400kW	≥3,000kW	≥5,000kW
Number/power of recharging stations		1 x 350kW	2 x 350kW		2 x 350kW	2 x 800kW	2 x 1,200kW
Safe and secure parking areas							
		1 x 100kW		4 x 100kW			
Urban nodes							
Aggregated power output	≥600kW	≥1,200kW				≥1,600kW	
Individual power output	≥150kW	≥150kW				All ≥150kW + 2 x 350kW	

8 pav. HDEV įkrovimo infrastruktūros poreikis [21]

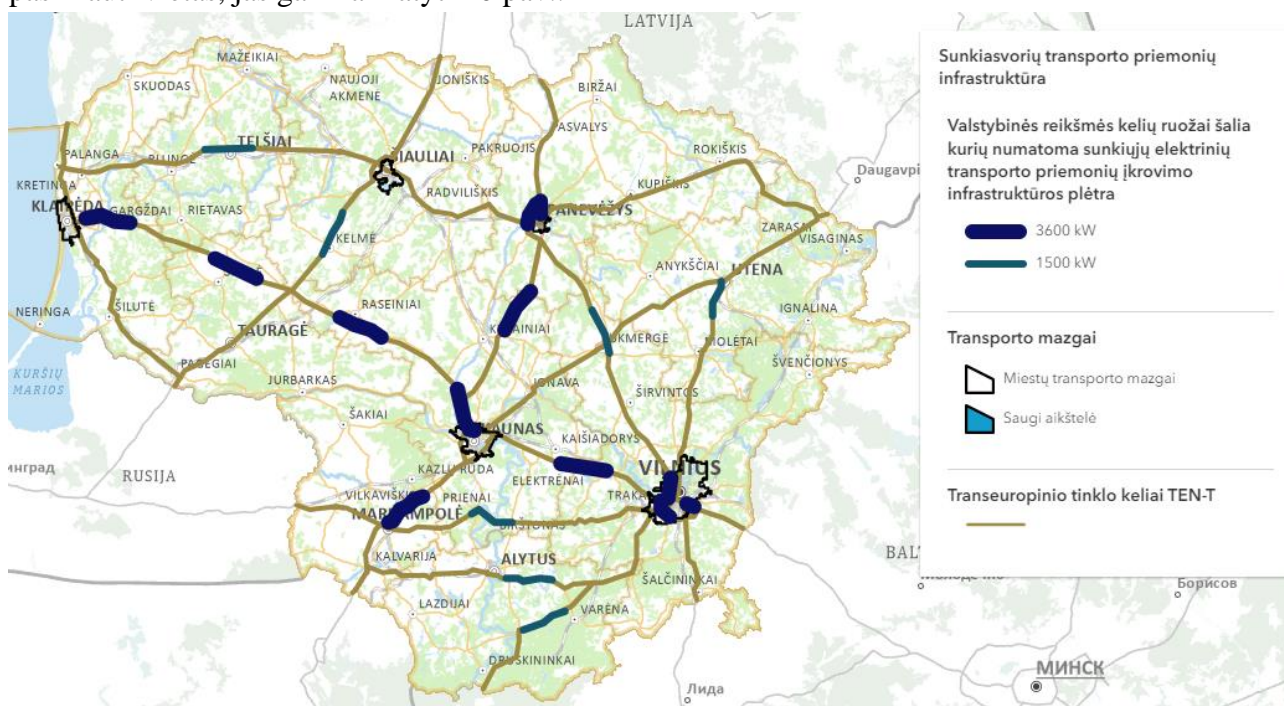
1.5.3. Įkrovimo stotelių plėtros planai Lietuvoje

Lietuva yra išsikėlusį tikslą iki 2030 m. įrengti 60000 EV įkrovimo taškų, iš kurių 6000 viešo arba pusiau viešo naudojimo [22]. Lietuvos vyriausybė yra sukūrusi elektromobilių infrastruktūros plėtros gaires, pagal kurias parengtas žemėlapis, jis parodytas 9 pav.



9 pav. Lietuvos EV plėtros žemėlapis [22]

2023 m. liepos pab. Europos Vadovų Tarybai pavirtinus AFIR Lietuvos automobilių kelių direkcija papildė elektromobilių įkrovimo infrastruktūros planą, į jį įtraukdama sunkiajam transportui skirtas pasikrauti vietas, jas galima matyti 10 pav..



10 pav. Sunkiųjų transporto priemonių infrastruktūros planas 2030 m. [31]

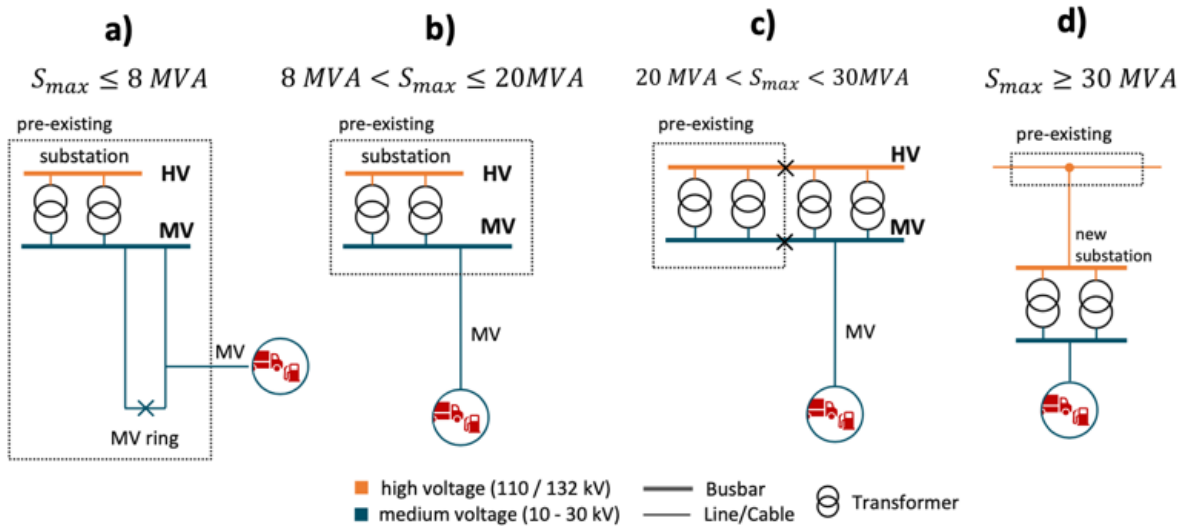
Pagal parengtą planą galima matyti, kad Lietuvoje minimaliai bus įrengtos bent 19 vietų kiekvienoje kelio pusėje ir 5 vietos miesto mazguose skirtos tik sunkiajam transportui pasikrauti. Iš šių 19 vietų, 12 prie pagrindinių TEN-T kelių ir 7 prie papildomų TEN-T kelių [31]. Pagal šį planą matyti, kad šalyje turės būti įrengta bent 116.4 MW suminės galios stotelių 2030 m. Taip pat svarbu atkreipti dėmesį, jog patvirtinus naujus megavatinės galios įkrovimo stotelių standartus, bus atnaujinami AFIR reikalavimai, ko pasekoje ši minimali galia gali išaugti.

1.5.4. Įkrovimo infrastruktūros prijungimas prie elektros tinklo

Skirtingiems krovimosi atvejams reikalingas ne tokia pati galia, todėl reikalingi prisijungimai prie skirtingų įtampos lygių ir skirtingos prijungimo schemas. Anot [27], įtampos lygio pasirinkimas ir EV stotelės prijungimo schema priklauso nuo šių kriterijų:

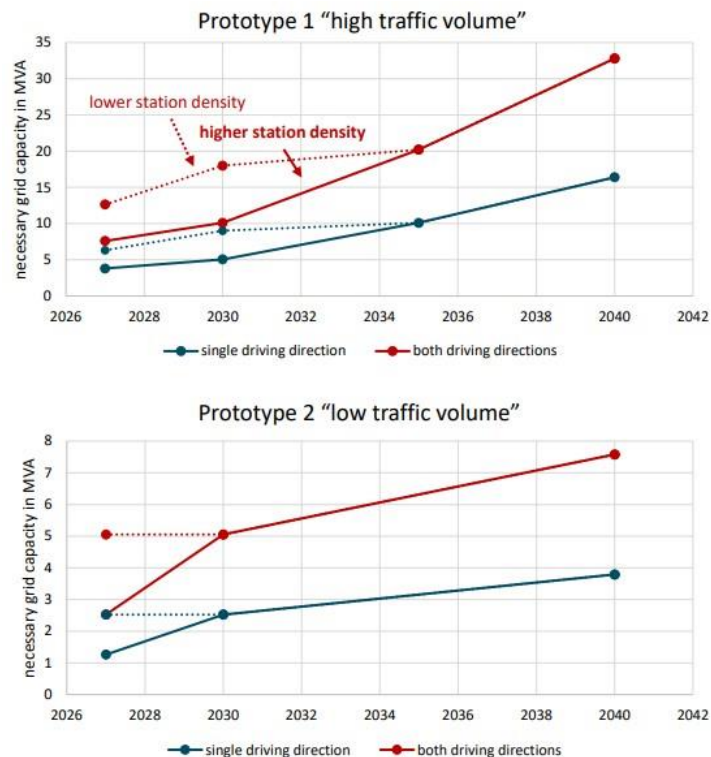
- Esamas tinklo pajėgumas pasirinktoje vietoje.
- Kitų prisijungimo prie tinklo alternatyvų kaina.
- Aplinkosauginiai ir teritorijų veiksniai.
- Potenciali vieta įrengti pastotę.
- Būsimų galios pikų įvertinimas.

[27] autorius siūlo taikyti skirtingas prijungimo schemas pagal vardinę EV stotelės galią. Prijungimo schemas parodytos 11 pav. Vertinamos galių ribos ir įtampos lygiai yra atitinkantys Vokietijoje taikomiems tinklo nuostatams ir nebūtinai atitinka kitose šalyse elektros tinklams taikomoms sąlygoms.



11 pav. EV stotelės prijungimo prie tinklo schema [27]

Pagal Vokietijos elektros tinklų nuostatus, mažesnės nei 8 MVA galios EV įkrovimo stotelės jungiamos į esamą vidutinės įtampos tinklą. Didesnės EV stotelės iki 20 MVA jungiamos pastotėje, jei joje yra pakankamas pajėgumas. O esant didesnei nei 20 MVA galiai reikia įrengti papildomą vidutinės/aukštos įtampos transformatorių. Kai galia dar didesnė (>30 MVA), EV stotelė jungiama tiesiai į aukštos įtampos tinklą įrengiant naują pastotę. [27] atliktame tyrime buvo modeliuojama, kad 2040 m. sunkusis transportas pilnai elektrifikuosis ir pagal tai buvo atliktos simuliacijos, kurios įvertino, kokia minimali elektros jungtis bus reikalinga, simuliacijų rezultatai pateikiami 12 pav. ir 13 pav.

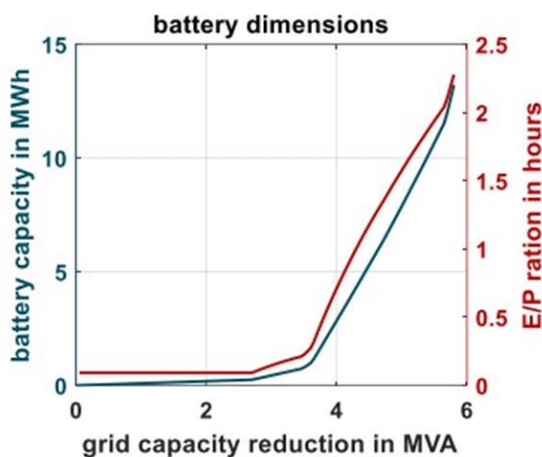


12 pav. Sunkiojo transporto įkrovimo taškui reikalinga tinklo jungties galia [27]

Prototype	Scenario #	Year	Station density km	Share BE-LH %	peak power MCS (1 dir.) MW	over-night chargers (1 dir.) #	peak NCS (1 dir.) MW	sum of peak powers MW	grid capacity incl. charging management (1 direction) MVA	consumed energy MCS (1 dir.) GWh	consumed energy NCS (1 dir.) GWh	consumed energy total (1 dir.) GWh	full load hours h	max. queue length MCS #
Prototype 1 "high traffic volume"	1	2027	100	7.5	3.8	41	6.8	10.6	3.8	3.8	9.1	13.0	3,409	11
	2		200	7.5	6.3	81	13.4	19.7	6.3	7.6	18.0	25.6	4,059	23
	3	2030	50	20	5.1	54	8.9	14.0	5.1	5.1	12.0	17.1	3,386	14
	4		100	20	8.8	108	17.8	26.7	9.0	10.2	24.0	34.2	3,802	27
	5	2035	50	50	10.1	136	22.4	32.5	10.1	12.7	30.2	42.9	4,250	31
	6	2040	50	80	16.4	217	35.8	52.2	16.4	20.3	48.7	69.0	4,208	31
Prototype 2 "low traffic volume"	7	2027	100	2.6	1.3	4	0.66	1.9	1.3	0.27	0.88	1.16	916	2
	8		200	2.6	2.5	8	1.32	3.8	2.5	0.54	1.77	2.31	915	2
	9	2030	50	7.0	2.5	5	0.82	3.4	2.5	0.36	1.11	1.46	579	2
	10		100	7.0	2.5	10	1.65	4.2	2.5	0.73	2.21	2.94	1,164	3
	11	2040	50	60.0	3.8	43	7.09	10.9	3.8	3.11	9.50	12.61	3,328	8

13 pav. Sunkiojo transporto įkrovimo taškui reikalinga tinklo jungties galia detalūs scenarijų rezultatai [27]

13 pav. parodo, kad įkrovimo vietos prijungimo galiai daug reikšmės turi eismo intensyvumas. Didelio intensyvumo keliai 2030 m. reikalaus beveik du kartus didesnės prijungimo galios, 2040 m. jau daugiau nei 4 kartus. Scenarijai 3 ir 10 yra itin artimi AFIR reikalavimams 2030 m., trečiasis scenarijus atitiktų pagrindinių TEN-T kelių, o dešimtas papildomų TEN-T kelių įkrovimo taškus. Šių simuliacijų rezultatai poreikiui rodo, kad AFIR nurodytos galios taške gali nepakakti ir kad itin judriuose keliuose jungties prie skirstymo tinklo neužteks. Protingas įkrovimo valdymas simuliacijose parodė, kad įkrovimo vietoje instaliuota stotelių galia (peak power MCS ir peak power NCS) yra mažesnė nei jungties su tinklu galia. Tai yra vienas iš būdų sumažinti prijungimo taško galios poreikį. Taip pat šių scenarijų rezultatai rodo, jog įkrovimo infrastruktūros jungtys su elektros tinklu didelę dalį laiko metuose nebus pilnai išnaudojamos, intensyvaus eismo vietose, jos bus išnaudojamos tarp 3000 ir 4250 val., o mažo kelių užimtumo vietose jos bus išnaudojamos nuo 600 iki 3500 val. metuose. Dėl tokio savo išnaudojimo jungtys sunkiojo transporto įkrovimui gali būti brangios ir ilgą laiką neatsipirkti. Kad šie taškai būtų efektyviau išnaudojami ar būtų mažesnės galios reikėtų įverti papildomų priemonių tokių, kaip elektrolizės įrenginių, kaupiklių ar atsinaujinančių energijos išteklių prijungimą šiuose taškuose.



14 pav. Kaupiklio poveikis elektros prijungimo taško galiai 4 atveju [27]

14 pav. parodo, kaip ir nedidelis 1MWh kaupiklis smarkiai sumažina prijungimo taško galią, nagrinėjamu atveju daugiau nei trečdaliu, 9 MW prijungimo galia sumažinama apie 4 MW.

1.6. HDEV vandenilio pasipildymo infrastruktūra

Vandenilio pasipildymo stotys gali būti įrengtos įvairiai, tai priklauso nuo to, kaip vandenilis gaminamas, perduodamas ir saugomas. Tačiau kiekvienoje stotyje turi būti bent:

- Žemo slėgio saugojimo sistema: kur vandenilis laikomas skystu arba dažniau kaip suslėgtos dujos (40-200 bar) vamzdinėse saugyklose.
- Suspaudimo sistema: ji paima vandenilį iš žemo slėgio saugyklos ir jį dar labiau suspaudžia, kad papildytų aukšto slėgio kaupimo sistemą.
- Aukšto slėgio kaupimo sistema: paprastai įrengiamos kaskadinės sistemos iki 950 bar, kai automobiliai pildomi 700 bar vandeniliu, arba 500 bar, kai pildoma 350 bar.
- Aušintuvas: juo vandenilis atšaldomas iki minusinės temperatūros, kad būtų galima greitai ir efektyviai užpildyti automobilį ir kad būtų išvengtas sistemos perkaitimas.
- Degalų dozatorius: vandenilis tiekiamas per antgalį, valdomą vožtuvu, kuris reguliuoja dujų srautą, kad transporto priemonė būtų užpildyta iki reikiamo slėgio.[25]

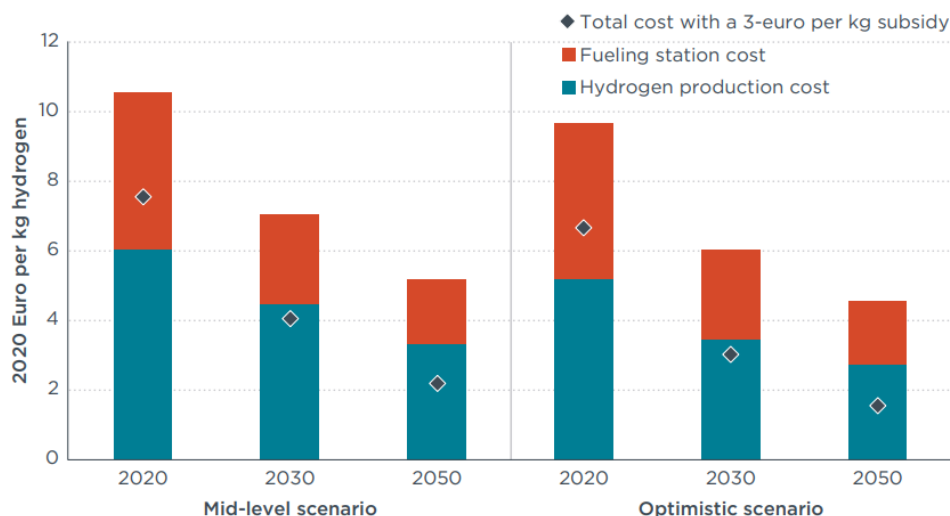
Vandenilio pasipildymo stotyje gali būti gaminamas dviem būdais. Jis gali būti gaminamas centrinėje vandenilio gamykloje vykdant metano garų reformavimą arba elektrolizę ir vėliau jis pristatomas į pasipildymo stotį. Vandenilis paprastai transportuojamas dujiniu pavidalu.

Nepaisant to, yra vandenilio stotelių, kur tiekiamas skystas sušaldytas vandenilis. Peršalęs skystas vandenilis turi žymiai didesnę tūrinę energijos tankį, palyginti su dujiniu vandeniliu. Ši savybė leidžia turėti daugiau vandenilio, kai yra ribotas saugojimo vietos dydis ir be degalų papildymo galima nuvažiuoti iki 1000 km/d. Šiuo metu ši technologija yra mokslinių tyrimų stadijoje. Vandenilio saugojimas kriogeninėje temperatūroje yra didelis iššūkis, nes sutrumpėja komponentų eksploatavimo laikas ir atsiranda skysto vandenilio virimo nuostolių rizika. Dėl to, atsiranda didesni tuščiosios veikos vandenilio nuostoliai. Taigi, skystasis vandenilis labiau tinka vandenilio pasipildymo stotelėms, kurios yra didelės ir įrengtos pagrindiniuose keliuose.

Skystą vandenilį palyginus su dujiniu vandeniliu, tikimasi, kad skystojo stotelės pėdsakas bus žymiai mažesnis, nes skysčio bakams nereikės anglies pluošto dangos, o skysto vandenilio siurbliams reikia tik dalies panašaus dujų kompresoriaus galios poreikio. Skysto vandenilio technologiją šiuo metu į priekį veda Daimler Truck ir Linde. „Daimler Truck“ testuoja skystu vandeniliu varomus sunkvežimius ir ruošiasi pradėti jų gamybą ateityje [30]. Numatoma, kad skysto vandenilio papildymas vyks maždaug -247°C temperatūroje, prie maždaug 16 bar slėgio, todėl energijos tankis bus ~ 2.2 kWh/l.

Vandenilį taip pat galima pasigaminti ir pasipildymo stotelėje elektrolizės būdu. Taip nelieka vandenilio transportavimo iš centrinės gamyklos nuostolių. Tokia vandenilio gamyba gali būti ekonomiškai nenaudinga dėl elektrolyzerio įrengimo kainos ir galimo elektros tinko rekonstrukcijos poreikio. Vertinama, kad stotelės, kurios pajėgumas yra 120 kg/d yra apie 3.2 mln. dolerių. Palyginimui vieno sunkvežimio bako talpa gali būti apie 50 kg H_2 . Dėl mažesnių gamybos pajėgumų decentralizuota vandenilio gamyba dažniausiai būna brangesnė nei centralizuota. 15 pav. parodo vidutinę decentralizuotą vandenilio gamybos kainą iš AEI EU [29]. Prognozuojama, kad vandenilio gamybos iš AEI kaina sumažės dėl technologijos išsivystymo. Bet pagrindinė priežastis dėl ko sumažės decentralizuoto vandenilio gamybos ir pasipildymo stotelių kaštai, yra didesnis jų

išnaudojimas. 2030 m. tikimasi 50 % išnaudojimo, o 2050 m. 70 %. Net įvertinant visus šiuos kainos sumažėjimus, galima tikėtis, kad vandenilis kainuos apie 6 EUR/kg, kas yra žymiai daugiau nei 1.8 EUR/kg tikslas. Norint pasiekti vandenilio kainos tikslą, reikalingos subsidijos.



15 pav. Vidutinės decentralizuoto vandenilio gamybos kainos iš AEI [29]

Be papildomų priemonių ir politinio įsikišimo, decentralizuota vandenilio gamyba nėra ekonomiškai perspektyvi. Reikia, kad dyzelinui būtų taikoma CO2 emisijų mokestis.

1.6.1. Vandenilio gamyba pasipildymo stotelėje

Žvelgiant iš tinklo perspektyvos, vandenilio gamyba pasipildymo stotelėse daro didelį poveikį. Tikėtina, kad bendra kompresoriaus ir elektrolaizeris apkrova pasieks galią, kuri turės įtakos tinklui. Pagrindines elektros apkrovos, kai vandenilis gaminamas pasipildymo stotelėje sudaro elektrolaizeris ir kompresorius. Jų galia gali būti įvertinta taip:

$$P_{\text{Elektrolaizerio}} = \frac{Q_{H_2} LHV_{H_2}}{\eta_{\text{electolyzer}}} \quad (1)$$

$$P_{\text{Kompresoriaus}} = \frac{Q_{H_2} c_{p_{H_2}} T (\beta^\theta - 1)}{\eta_{\text{compressor}}} \quad (2)$$

Čia:

P – galia, W

Q_{H_2} – vandenilio gamybos greitis, kg/h

LHV_{H_2} – žemutinė vandenilio šilimo riba, J

η – efektyvumas

$c_{p_{H_2}}$ – vandenilio savitoji šiluma, J/kgK

β – suslėgimo faktorius

T – aplinkos temperatūra, K

θ – diatominių dujų koeficientas, J/mol

7 lentelė pateikiamos keletos skirtingų vandenilio gamybos ir pasipildymo stotelių galios poreikiai.

7 lentelė Galios poreikis skirtingoms vandenilio gamybos ir pasipildymo stotelėms

Vandenilio pasipildymo	Elektrolaizerio galia (MW)	Kompresoriaus galia (MW)	Suminė stotelės galia (MW)

stotelės dydis (kg/d)			
500	3.0	0.1	3.1
1000	6.0	0.3	6.3
2000	12.1	0.6	12.7
3000	18.2	0.8	19.0

Skaičiavimuose priima prielaidą, kad elektrolaizerio efektyvumas 65 %, kompresorius vandenilį suslegia iš 30 bar į 500 bar, kompresoriaus efektyvumas 50 %, o sistema vandenilį gamina 10 val. per parą. Kuro celėmis varomoms priemonėms reikia didelių pajėgumų, bent 500 kg/d vandenilio pasipildymo stotelių, jos įrengimas reikalauja apie 3.1 MW elektros prijungimo taško pajėgumo. Tokių stotelių plėtra turės daug įtakos elektros tinklams.

1.7. Vandenilio ir greitų elektros įkrovos stotelių palyginimas

Pagrindiniai vandenilio pasipildymo infrastruktūros pranašumai prieš greitas elektros įkrovimo stoteles:

- Vandenilio infrastruktūra su elektrolaizeriu gali padėti balansuoti tinklą ir teikti vietinio lankstumo paslaugas, be išmaniojo krovimo sprendimų ar tik krovimosi ar degalų pasipildymo metu. Bet toks elektrolaizerio panaudojimas gali būti ribotas dėl mažo apkrovos kitimo greičio ar didelių kaštų. Vandenilio pasipildymo stotelėje yra įrengta energijos kaupiklis (vandenilio saugykla), kuri leidžia energiją gaminti ir vartoti skirtingu metu. Taip galima gaminti vandenilį, kai elektra tinkle yra perteklinė ir pigi. Apkrovos perkėlimas galimas ir greitoje elektros įkrovimo stotelėje, tačiau tam reikia įrengti papildomą baterijų kaupiklį.
- Šiuo metu vandenilio papildymas užtrunka ženkliai trumpiau. Tai reiškia, kad ši infrastruktūra gali aptarnauti tokį patį transporto priemonių skaičių su žymiai mažesniu stotelės plotu. Bet besivystanti itin didelės galios elektros įkrovimo infrastruktūra priartėja įkrovos laiku prie bako pasipildymo vandeniliu greičio.
- Vienas vandenilio pasipildymo taškas gali aptarnauti apie 10-15 kartų daugiau transporto priemonių per tą patį laiką, kaip greitas kroviklis. Tai leidžia lengviau plėtoti šią infrastruktūrą.

8 lentelė Vandenilio ir greito įkrovimo infrastruktūros palyginimas

Vandenilio infrastruktūra	Greito įkrovimo infrastruktūra
<ul style="list-style-type: none"> • Greitas kuro pasipildymas (10-15 min). • Vandenilis neturi būti gaminamas, kai jis yra vartojamas. • Nėra išvystyta vandeniliui pritaikyta infrastruktūra. • Didelės pradinės investicijos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ilgesnis įkrovos laikas >45 min su esamomis technologijomis. Ateityje įkrovimas turėtų užtrukti 15-30 min. • Elektra iš tinklo yra vartojama, kai prijungiamas elektromobilis. • Galima pasinaudoti esančiu elektros tinklu. • Mažesnės pradinės investicijos.

1.8. Sunkiojo transporto elektrifikacijos įtaka elektros sistemai

Manoma, kad 2030 m. didžioji dalis HDEV bus naudojami miestuose ar regionuose ir jie pagrįde krausis grįžę į savo depus. Nauji elektriniai autobusai turi dideles baterijas (>400 kWh) ir gali dirbti

visą dieną be papildomo įkrovimo. Sutelkta depų krovimosi apkrova gali siekti iki 5-6 MW, kai transporto priemonių parką sudaro 150 HDEV. Toks galios poreikis gali reikalauti išplėsti elektros prijungimo tašką.

Logistikos centrai taps svarbūs tiek trumpų, tiek ir ilgų reisų transportams, nes juose bus galima pasikrauti elektromobilį, kol bus iškraunami ar įkraunami kroviniai. Reikalinga elektros galia gali svyruoti tarp 0.5-1MW/ha. Vidutinis logistikos centras užima apie 125ha plotą, tai reiškia apie 60MW galios poreikį HDEV krovimui [27]. Svarbu, kad prie šių vietų būtų įrengti stiprūs aukštos įtampos tinklai.

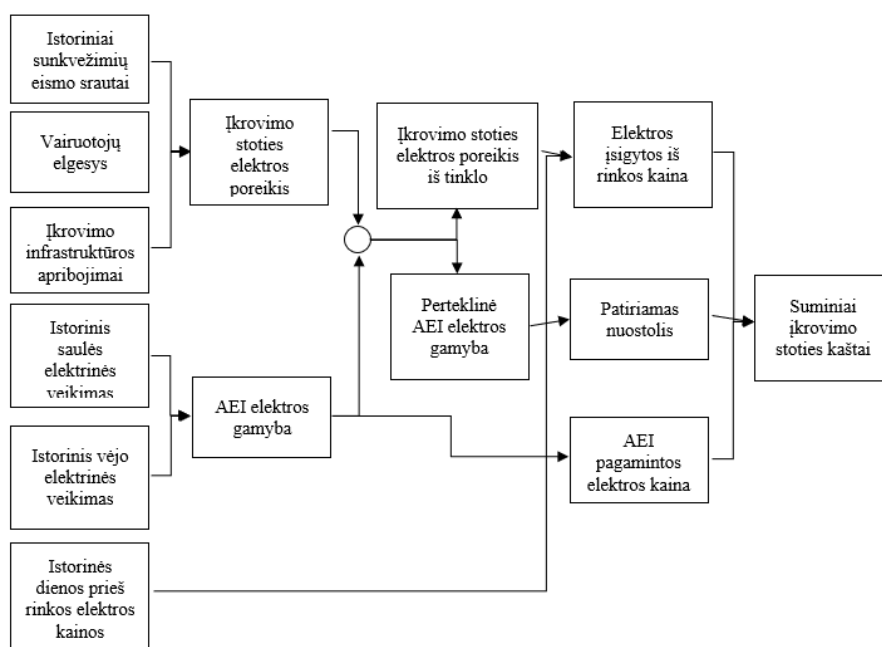
BEV pagrindu krausis pakeliui įrengtose stotelėse ir jiems reikės tarp 5 GW galios, pagal alternatyviųjų degalų infrastruktūros reglamentą iki 11 GW 2030 m. Priklausomai nuo poreikio didelės galios įkrovimo stotelės prie pagrindinių kelių reikalaus 15-35 MVA galios prijungimo taškų. Kadangi tokios stotelės dažniausiai jungiamos prie aukštos įtampos tinklų, svarbu, kad perdavimo operatoriai įvertintų tinkamas prisijungimo vietas prie greitkelių, o esant poreikių planuotų tinklų plėtrą.

Vandenilio gamybos ir papildymo stotelių plėtra priklausys nuo jų poreikio, bet 3.1 MW galios vandenilio elektrolizės sistema dirbdama apie pusę paros gali aprūpinti apie 10 sunkvežimių.

Šiuo metu sunku pasakyti, kiek ir kokių technologijų bus panaudota sunkiojo transporto elektrifikacijoje. Bet tiek vandenilio, tiek ir greitos įkrovos stotelių plėtra turės nemažai įtakos elektros tinklui.

2. Metodinė dalis

Projekte tyrinėjama, kaip veiktų viešoji didelės galios elektrinių sunkvežimių įkrovimo stotis Lietuvoje, kai šis transportas šalyje bus pilnai dekarbonizuotas. Vertinama, kad ši stotis skirta tik baterija varomoms sunkiosioms transporto priemonėms ir ji turi patenkinti sunkvežimių mažos trukmės (30-60 min.) bei ilgų (>4 val.) sustojimų įsikrovimo poreikį. Vidutinės trukmės (1-4 val.) sunkvežimių vairuotojų sustojimai įsikrauti BEV įtraukti į vertinimą, tačiau šioje stotyje jie nėra pagrindiniai. Vertinant įkrovimo stoties elektros poreikius atsižvelgiama į sunkvežimių eismo srautus, vairuotojų elgesį ir įkrovimo infrastruktūros apribojimus. O įkrovimo stoties veikimo kaštai nustatomi pagal dienos prieš elektros rinkos kainas. Siekiant sumažinti stoties veikimo kaštus, analizuojamas saulės ir vėjo elektrinių panaudojimas aprūpinti dalį ar visą stoties elektros poreikį. Elektrinių pagaminta energija turi būti suvartota lokaliai – stotyje, o nesuvartotas AEI elektros kiekis vertinamas, kaip patiriami nuostoliai. Principinė projekte analizuojamo sprendinio veikimo schema pavaizduota 16 pav. Principinė įkrovimo stoties veikimo analizės schema.



16 pav. Principinė įkrovimo stoties veikimo analizės schema

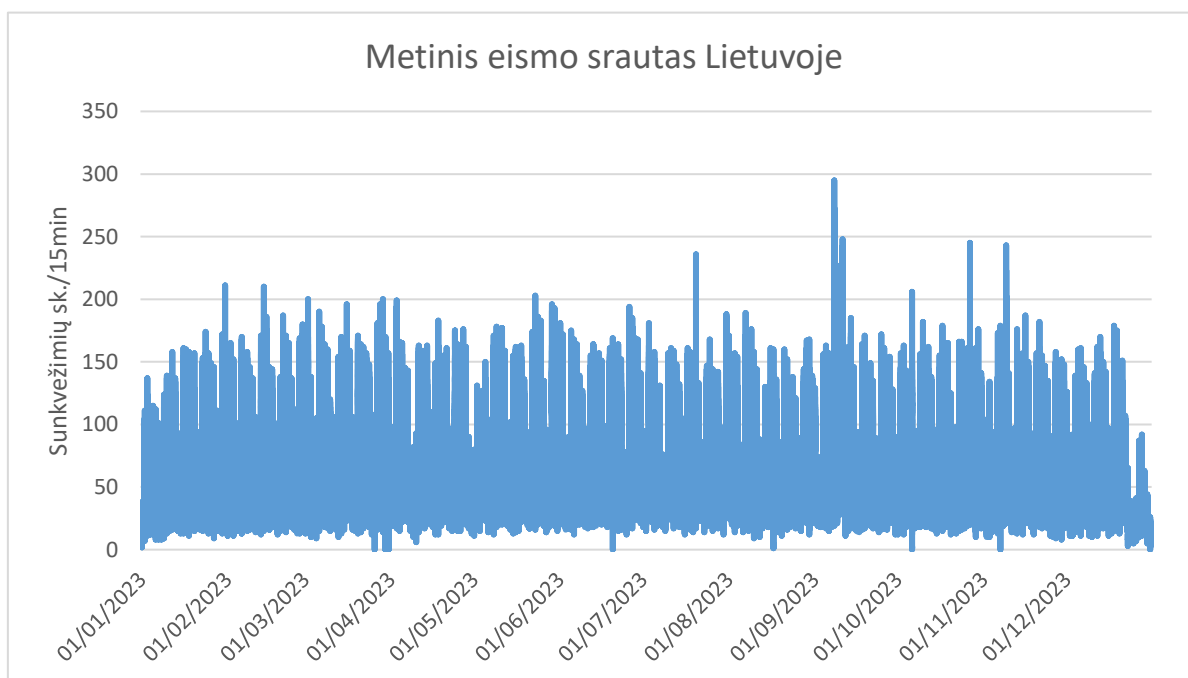
2.1. Įkrovimo stoties elektros poreikis

Analizuojant įkrovimo stoties veikimą, vertinama, jog visi pasikrauti sustoję sunkvežimiai galės įsikrauti iš karto, be papildomo laukimo, maksimalia galia. Įkrovimo stotyje sustojusių sunkvežimių kiekis vertinamas 15 min. periodiškumu, atsižvelgiant į eismo srautus ir tipinį vairuotojų elgesį paroje. Stojantys sunkvežimiai pagal vairuotojų elgesį skirstomi į atitinkamas sustojimo trukmes, kurios apibrėžia, kokią įsikrovimo stotelę bus naudojama. Kiekviena įkrovimo stoties elektros poreikio sudedamoji detaliau aprašyta kituose skyriuose.

2.1.1. Sunkvežimių eismo srautai

Pagrindinis rodiklis apibrėžiantis sunkvežimių įsikrovimo poreikį yra jų srauto kelyje pasiskirstymas paroje ir per visus metus. Įvertinti šį srautą, analizuojami 2023 metų transporto registratoriaus

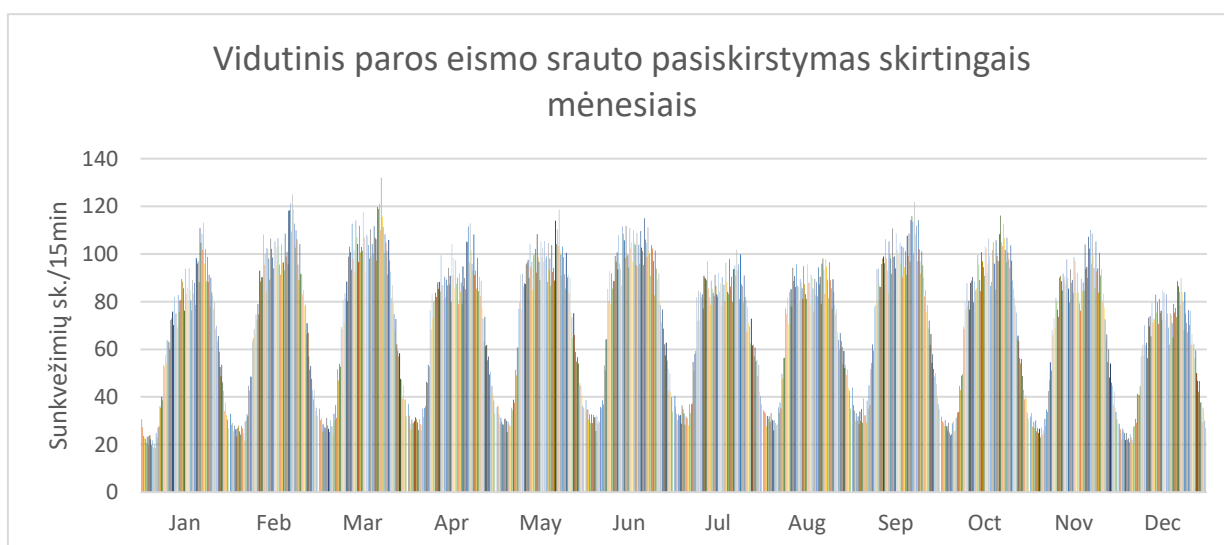
duomenys vienoje iš intensyviausių Lietuvos kelio atkarpų. Registratoriaus duomenys sugrupuojami 15 min dažnume ir pavaizduojami 17 pav. Metinis eismo srautas Lietuvoje.



17 pav. Metinis eismo srautas Lietuvoje

Iš metinių duomenų nematomas ryškus skirtumas, išskyrus tarpušvenčio laikotarpio gruodžio pabaigoje. Dėl to palyginama, kaip eismo srautas pasiskirsto skirtingais mėnesiais, rezultatai pateikiami 18 pav.ir

9 lentelė.



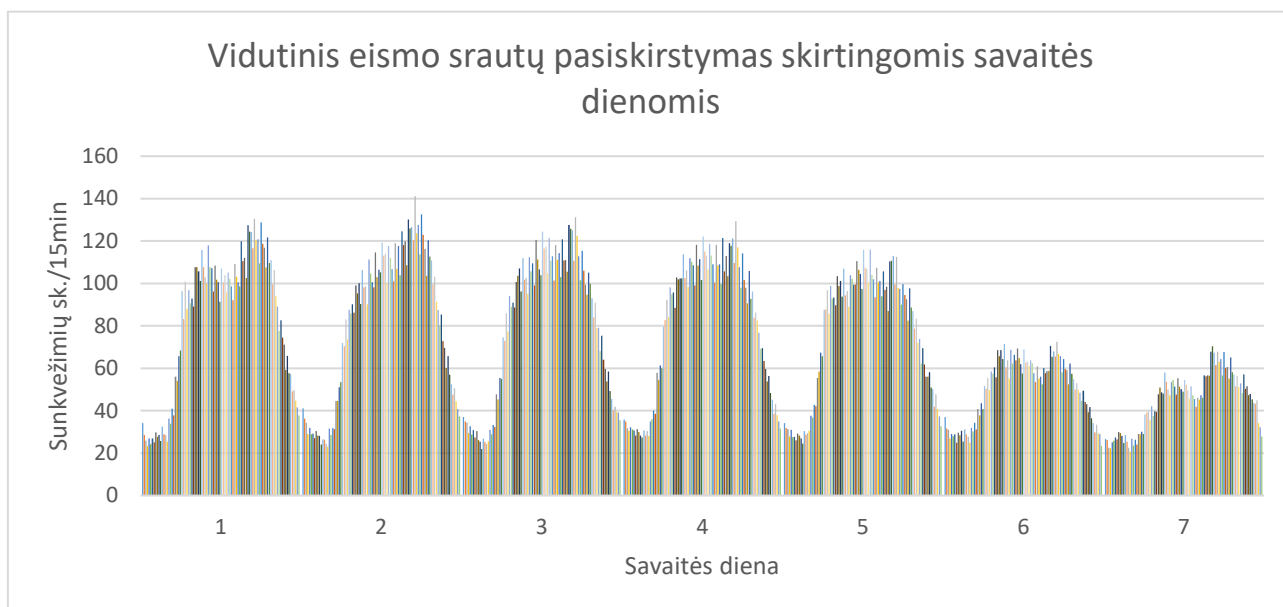
18 pav. Vidutinis paros eismo srauto pasiskirstymas skirtingais mėnesiais

9 lentelė VMPEI skirtingais mėnesiais

VMPEI kas mėnesį, sunk./parą												
Sausis	Vasaras	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	Metų vidurkis
6053	7018	7346	6737	7132	7360	6647	6564	7353	6872	6589	5510	6760

Rezultatai parodo, jog vidutinis eismo paros intensyvumas tarp intensyviausio (birželio) ir mažiausiai intensyvaus mėnesio (gruodžio) skiriasi 25.1%. Toks skirtumas atsiranda dėl ženklus kelionių sumažėjimo šventinėmis dienomis gruodžio pabaigoje. Jei šventines gruodžio dienas pašaliname iš analizės skirtumas tarp mažiausio ir didžiausio VMPEI sumažėja iki 10.6%. Todėl galima sakyti, kad sezoniškumo įtaka eismo srautams nėra didelė.

Tačiau periodiškas VMPEI sumažėjimas visais sezonais pastebimas tarp skirtingų savaitės dienų, rezultatai 19 pav.ir 10 lentelė.

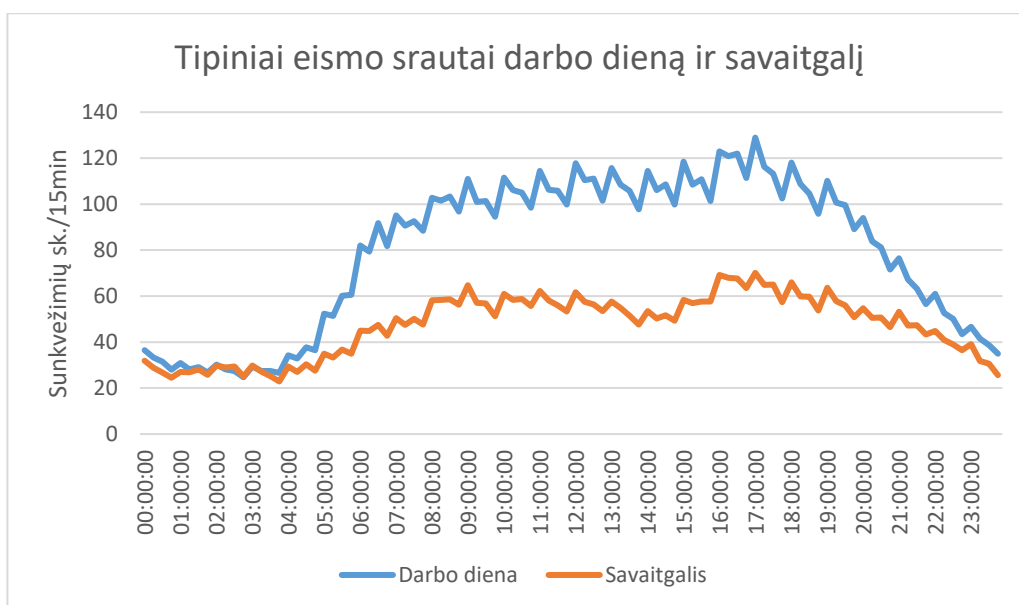


19 pav. Vidutinis eismo srautų pasiskirstymas skirtingomis savaitės dienomis

10 lentelė VMPEI skirtingomis savaitės dienomis

VMPEI skirtingomis savaitės dienomis, sunk./parą							
Pirmadienis	Antradienis	Trečiadienis	Ketvirtadienis	Penktadienis	Šeštadienis	Sekmadienis	Vidutinis metinis
7860	7833	7629	7665	7296	4801	4286	6760

Skirtingomis savaitės dienomis matomas ryškus srautų išsiskyrimas tarp darbo dienų ir savaitgalio, šis skirtumas siekia iki 45.5%. Todėl atliekant įkrovimo stoties elektros poreikio vertinimą svarbu atsižvelgti į tai. Tipinis srautų pasiskirstymas paroje pavaizduotas 20 pav.



20 pav. Tipiniai eismo srautai darbo dieną ir savaitgalį

2.1.2. Vairuotojų elgesys

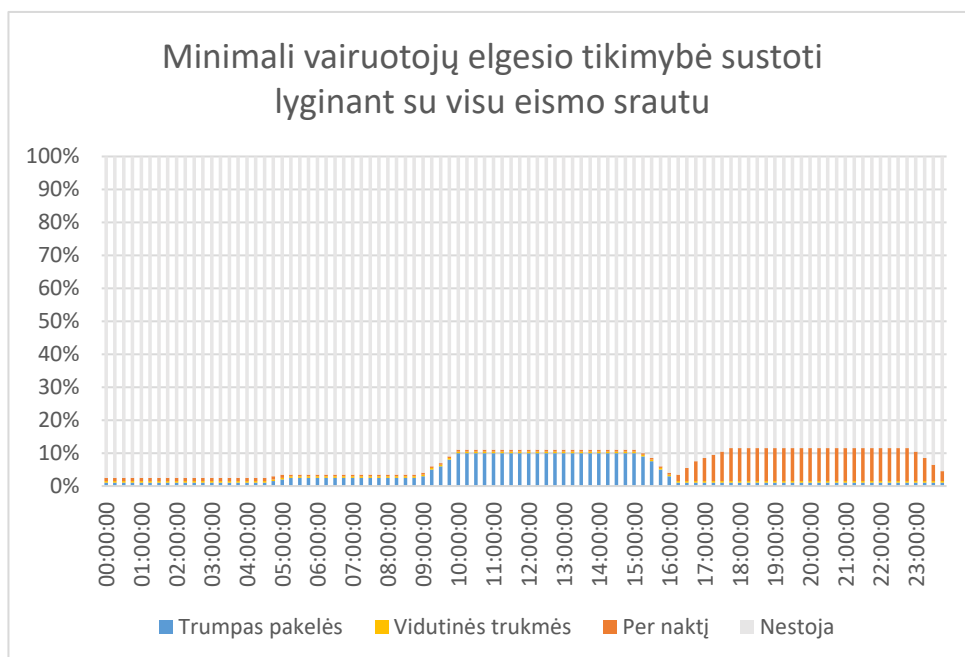
Kitas svarbus veiksnys siekiant nustatyti įkrovimo stotyje sustojančių sunkvežimių skaičių yra vairuotojų elgesys, jis apibrėžiamas privalomomis pertraukomis ir jų trukmėmis, vairuotojų įprastinių darbo pradžios ir pabaigos laikais, bei skirtingos trukmės sustojimų dažnumu.

Pagal Europos Sąjungoje galiojantį Reglamentą Nr. 561/2006 sunkvežimių vairuotojams po 4.5 val. važiavimo priklauso bent 45 min. pertrauka, per parą maksimalus vairavimo laikas ribojamas iki 9 val., o po darbo dienos vairuotojams priklauso bent 11 val. nepertraukiamo poilsio [23]. Kadangi logistikos įmonės siekia didžiausio pelno, priimama prielaida, kad visi vairuotojai važiuoja maksimalų darbo laiką iki jiems privalomų pertraukų, o pertraukos užtrunka minimalų reglamentu numatytą laikotarpį.

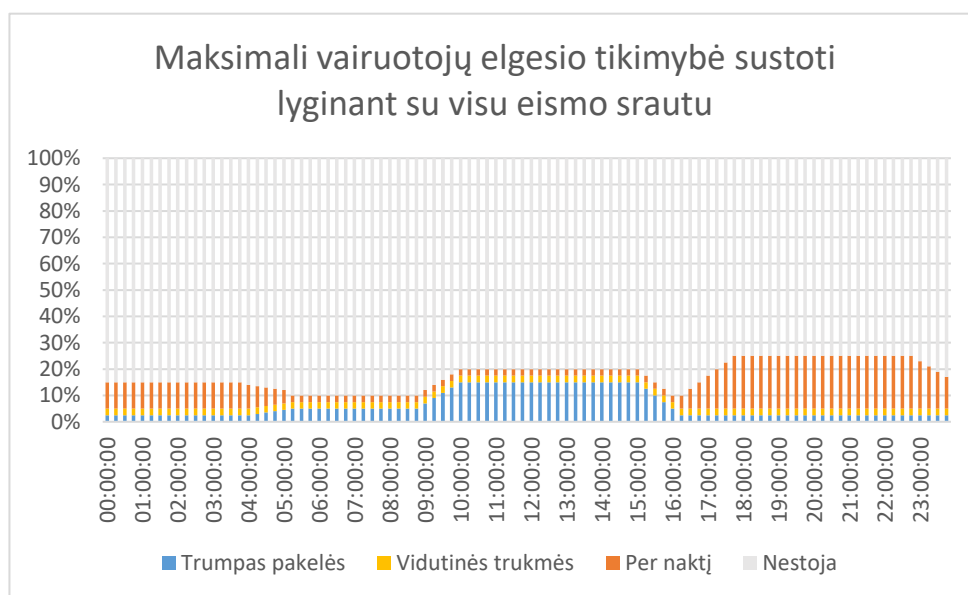
Vertinant tai, kad didesnės talpos baterija kainuoja brangiau nei mažesnės talpos baterijos įkrovimas kelis kartus paroje, priimama prielaida, jog BEV vairuotojai savo transporto priemones paroje įprastai kraunasi du kartus: pirmasis sustojimas po 4.5 val. darbo ir sunkvežimis įkraunamas didele galia greičiau nei per 45 min., o antras sustojimas dar po 4.5 val. važiavimo ir sunkvežimis įkraunamas maža galia per naktį greičiau nei per 11 val. Nepaisant tokio įprastinio vairuotojų elgesio, taip pat vertinama, kad maža dalis sunkvežimių įkrovimo stotyje sustoja vidutinės trukmės pertraukai, kuri užtrunka 1.5 val.. Paprastumo dėlei taip pat vertinama, kad iki sustojimo vairuotojas nuvažiuos pusę viso savo dienos planuoto atstumo ir bateriją pasikraus iki pilnos talpos.

Iš 20 pav. galima nustatyti, kada sunkvežimių vairuotojai įprastai pradeda ir baigia savo darbo dienas. Eismo srautas pradeda augti nuo 05:00, kol jis pasiekia pirmąjį piką paroje apie 11:00, todėl pagrindinė didelės galios krovimosi banga paroje vyksta 9:30 – 16:30, o lėto krovimosi per naktį banga vyksta 16:00 – 22:00, kuri mažesniu sustojimų dažnumu tęsiasi iki ryt 04:00.

Vairuotojų elgesiui paroje atspindėti, sudaryta skirtingo sustojimo trukmės tikimybių minimalios 21 pav. ir maksimalios 22 pav. vertės kiekvienam 15 min. periodui paroje nuo viso pro atkarpą pravažiuojančio srauto.



21 pav. Minimali vairuotojų elgesio tikimybė sustoti lyginant su visu eismo srautu

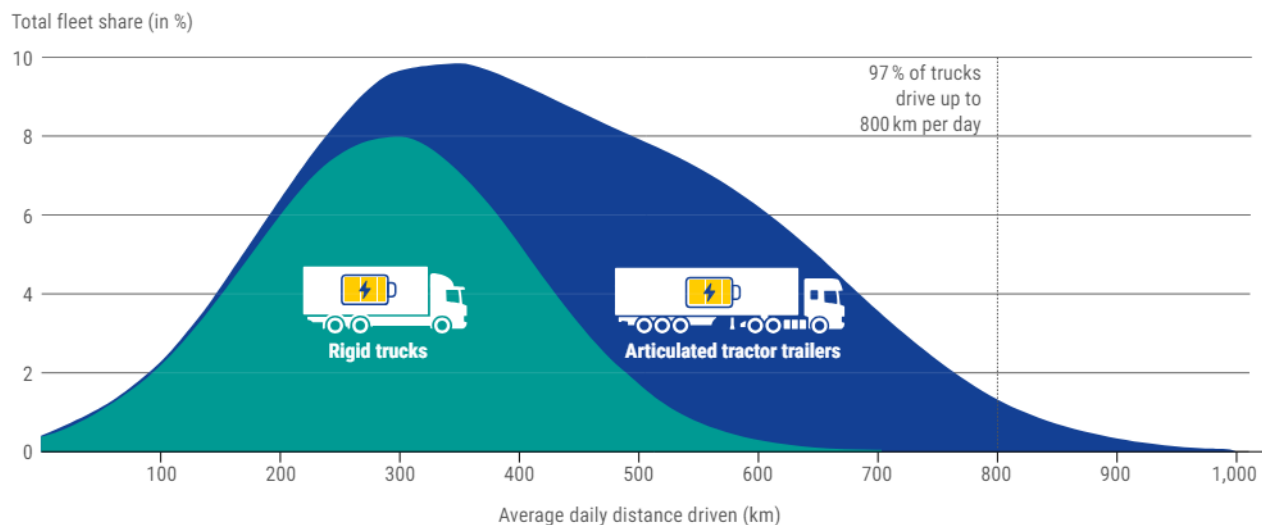


22 pav. Maksimali vairuotojų elgesio tikimybė sustoti lyginant su visu eismo srautu

Paprastumo dėlei vertinama, kad vairuotojų elgesys yra vienodas darbo dieną ir savaitgalį.

Kita svarbi vairuotojų elgesio dalis yra jų per dieną nuvažiuojamas atstumas. „Transport & Environment“ organizacijos atliktame tyrime nustatytas vidutinis sunkvežimių vairuotojų per dieną įveikimas atstumas, kuris atvaizduotas 23 pav., jis įprastai yra apie 530km. Skaičiavimuose taikomą maksimalų vairuotojo įveikiamas atstumas nustatomas atsižvelgiant į tai, kad sunkvežimio vairuotojas nepažeisdamas eismo taisyklių, važiuodamas 90km/h greičiu, visą darbo dieną - 9val.,

gali maksimaliai įveikti 810 km. Siekiant išlaikyti 530 km kaip vidutinę sunkvežimio vairuotojų įveikiamą atstumą, nustatoma minimus per parą nuvažiuojamas sunkvežimių vairuotojų atstumas, kuris tiek pat mažesnis už vidutinį atstumą, kaip maksimali riba ir yra lygus 250km.



23 pav. Sunkvežimių per parą vidutiniškai nukeliamas atstumas [35]

2.1.3. Sunkvežimių krovimosi infrastruktūros apribojimai

Įkrovimo stočiai siekiant, kad elektrinių sunkvežimių vairuotojai spėtų pasikrauti savo priemones per nustatytus sustojimų laikotarpius: 45 min., 1.5 val., 11 val., svarbu parinkti tinkamos galios krovimo stoteles.

Pirmiausia, įvertinamas elektrinio sunkvežimio keliavimo efektyvumas, Volvo bandymų metu pasiekė 1.1kWh/km efektyvumą [34]. Kadangi toks efektyvumas buvo įvertintas bandymų sąlygomis, praktiškai vatuojant elektrinį sunkvežimį jis bus prastesnis, todėl skaičiavimuose visiems sunkvežimiams vertinamas 1.2 kWh/km efektyvumas.

Atsižvelgiant į tai, kad maksimalus sunkvežimio greitis ribojamas iki 90km/h, o iki sustojimų vairuotojas keliauja 4.5 val., galima rasti maksimalų reikiamą įkrauti energijos kiekį kiekvienai sustojimo trukmei. Taip pat nuspręsta vertinti, kad trumpojo sustojimo metu sunkvežimį norima pasikrauti vieną 15 min periodą greičiau, tai yra per 30 min, nei nurodytą pagal reglamentą. Rezultatai pateikiami 11 lentelė.

11 lentelė Įkrovimo stotelių galia

	30 min. sustojimas	45 min. sustojimas	1.5 val. sustojimas	11 val. sustojimas
Reikalinga galia, kW	972	648	324	44
Pasirinkta stotelės galia, kW	1000	-	350	50

Gautoms reikalingoms galioms parinktos standartinės įkrovimo stotelių galios, kurios bus naudojamos tolimesniuose skaičiavimuose.

2.2. Įkrovimo stoties galios poreikio nustatymas

Apjungus eismo srautų duomenis su vairuotojų elgesio charakteristikomis bei atsižvelgus į sunkvežimiams naudojamas įkrovimo stoteles, kiekvienam analizuojamam laiko momentui pritaikoma formulė (3):

$$P_{HUB} = \sum_{i=1}^n Sr_i * TST_i * P_{TS} + \sum_{i=1}^m Sr_i * VST_i * P_{VS} + \sum_{i=1}^o Sr_i * NST_i * P_{NS} \quad (3)$$

čia:

P_{HUB} – įkrovimo stoties galia 15 min periode

Sr – Kelio ruožą per 15 min periodą pravažiuojančių sunkvežimių kiekis

n – trumpų sustojimų sunkvežimių įkrovimo ciklų skaičius

m – vidutinės trukmės sustojimų sunkvežimių įkrovimo ciklų skaičius

o – nakties/ilgos trukmės sustojimų sunkvežimių įkrovimo ciklų skaičius

TST – pravažiuojančio srauto dalis sustojisi trumpai sustojimui

VST – pravažiuojančio srauto dalis sustojisi vidutinės trukmės sustojimui

NST – pravažiuojančio srauto dalis sustojisi nakties ilgos/trukmės sustojimui

P_{TS} – trumpiems sustojimams naudojamos stotelės galia

P_{VS} – vidutinės trukmės sustojimams naudojamos stotelės galia

P_{NS} – nakties/ilgos trukmės sustojimams naudojamos stotelės galia

$$n = \frac{Ef * \frac{s}{z}}{P_{TS}} / 15min \quad (4)$$

čia:

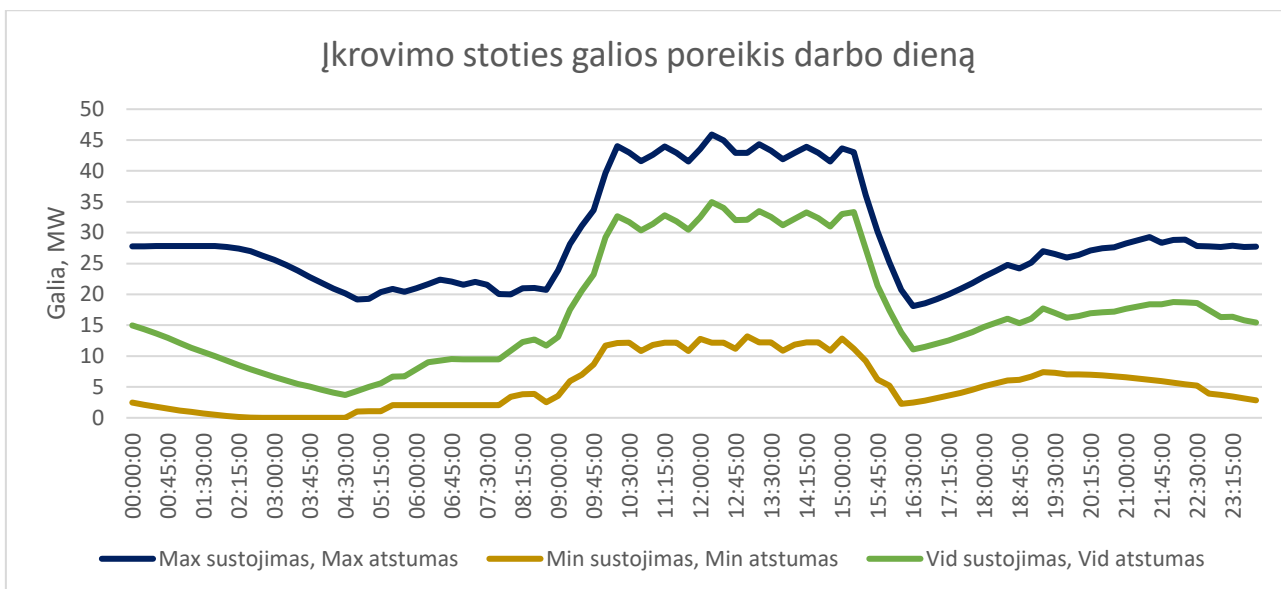
Ef – sunkvežimiui reikalingas energijos kiekis nuvažiuoti 1km

s – per parą sunkvežimio nuvažiuojamas atstumas

*Analogiška formulė taikoma m ir o rodikliams rasti pakeitus P_{TS} į P_{VS} arba P_{NS}

2.2.1. Tipinės paros įkrovimo stoties galios poreikiai

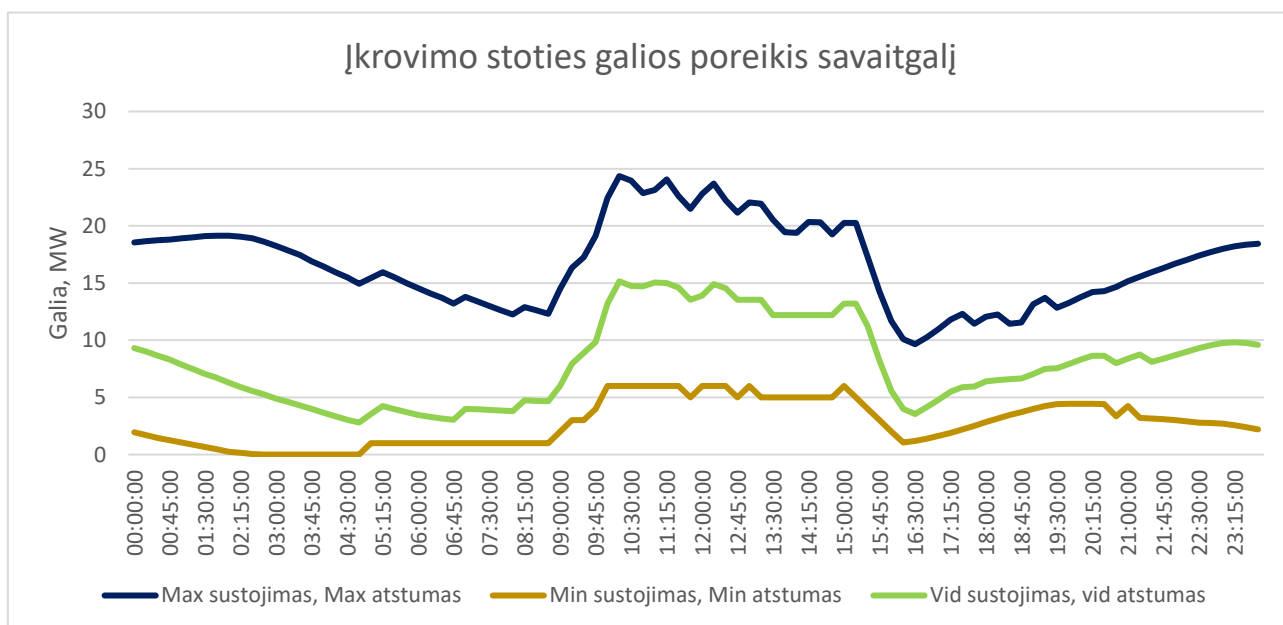
20 pav. pavaizduotam atvejui pritaikius formulę (3) ir pasirinkus labiausiai tikėtinus, vidutinius nuvažiuoto atstumo ir važiuojančio srauto dalis sustojusių skaičiaus rodiklius, bei pritaikius ribines vertes – maksimalų ir minimalų pravažiuojančio srauto dalis sustojusių skaičių bei maksimalų ir minimalų visų tą dieną važiuojančių sunkvežimių atstumą gauname rezultatus darbo dienos atvejui 24 pav. ir 12 lentelė, ir savaitgaliui 25 pav. ir 13 lentelė



24 pav. Įkrovimo stoties įprastinis galios poreikis darbo dieną

12 lentelė Įkrovimo stoties įprastinės darbo dienos charakteristikos

Atvejis	Minimali galia, MW	Maksimali galia, MW	Vidutinė galia, MW	Per parą suvartotas energijos kiekis, MWh
Min sustojimas, Min atstumas	0	13.2	5.38	129.13
Vid sustojimas, Vid atstumas	3.7	34.95	17.31	415.33
Max sustojimas, Max atstumas	18.1	45.9	29.05	697.2



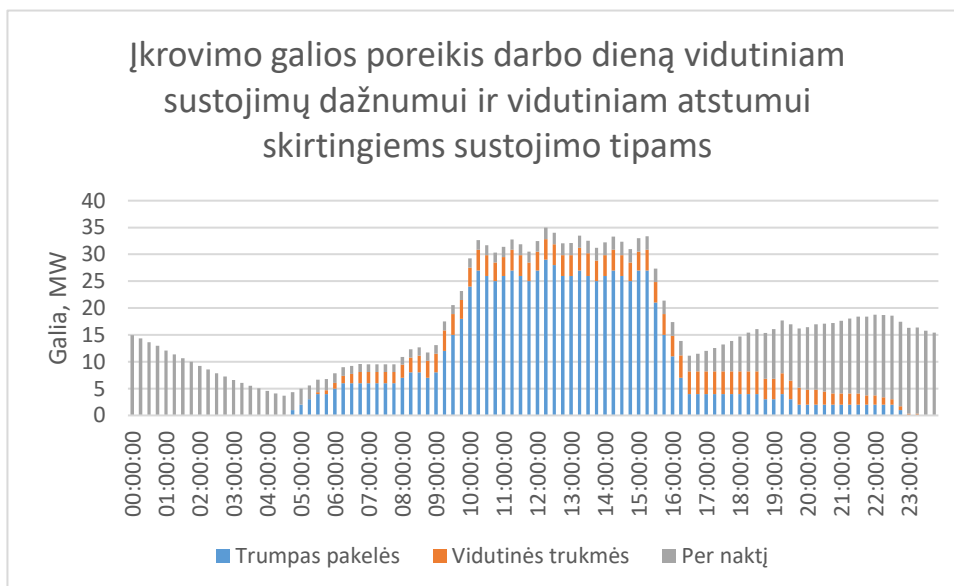
25 pav. Įkrovimo stoties įprastinis galios poreikis savaitgalį

13 lentelė Įkrovimo stoties įprastinės savaitgalio dienos charakteristikos

Atvejis	Minimali galia, MW	Maksimali galia, MW	Vidutinė galia, MW	Per parą suvartotas energijos kiekis, MWh
Min sustojimas, Min atstumas	0	6	2.74	65.65
Vid sustojimas, Vid atstumas	2.8	15.15	8.02	192.48
Max sustojimas, Max atstumas	9.65	24.35	16.75	401.93

Šie rezultatai parodo įprastinės dienos apatinius ir viršutinius galios režius bei labiausiai tikėtiną scenarijų. Matyti, kad įkrovimo stoties galios poreikis nėra tolygus paroje ir maksimali galia beveik du kartus didesnė už vidutinę galią visais atvejais. Didėjant pravažiuojančio srauto daliai, kuri sustoja, ir augant per dieną nuvažiuojamam atstumui, maksimalios ir vidutinės galios santykis mažėja.

Siekiant geriau įvertinti skirtingų sustojimų trukmės įtaką galios poreikiams, jie išskaidomi į atskiras dalis darbo dienos vidutinio nuvažiuojamo atstumo ir vidutinio susistojimų dažnumo scenarijui 26 pav.ir 14 lentelė.



26 pav. Įkrovimo galios poreikis darbo dieną vidutiniam sustojimų dažnumui ir vidutiniam atstumui skirtingiems sustojimo tipams

14 lentelė Vidutinio darbo dienos scenarijaus skirtingų sustojimų charakteristikos

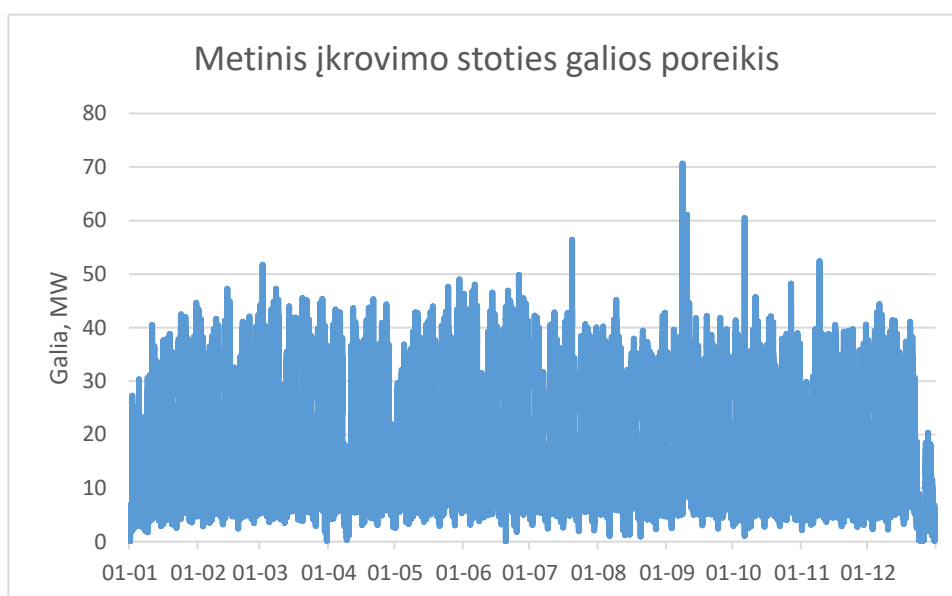
Sustojimo tipas	Minimali galia, MW	Maksimali galia, MW	Vidutinė galia, MW	Per parą suvartotas energijos kiekis, MWh
Trumpas pakelės	0	29	8.85	212.5
Vidutinės trukmės	0	4.2	2.30	55.13
Per naktį	1.4	16	6.15	147.7
Iš viso	3.7	34.95	17.31	415.33

Rezultatai parodo, kad skirtingų tipų sustojimai nevyksta vienu metu, todėl įkrovimo stoties didžiausia galia siekia tik 34.95MW, o ne 49.2MW. Sustojimai per naktį sudaro bazinę apkrovą, kuri

bent minimalia dalimi figūruoja visą parą. Didžiausią įtaką maksimaliems galios poreikiams sudaro trumpi pakelės sustojimai, kurie taip pat reikalauja ir didžiausios energijos dalies.

2.2.2. Metinis įkrovimo stoties veikimo vertinimas

Vertinant tik tipinių parų atvejus, nepastebimi kritiniai atvejai, todėl siekiant patikslinti tyrimą, metodika pritaikoma visam metiniam eismo srautui, vertinama, kad visos transporto priemonės nuvažiuoja vidutinį atstumą per parą – 530 km, o sustojimų dažnumas priskiriamas atsitiktinai pagal vairuotojų elgesio ribas kiekvienam 15 min periodui. Gauti rezultatai pateikiami 27 pav. ir 15 lentelė.

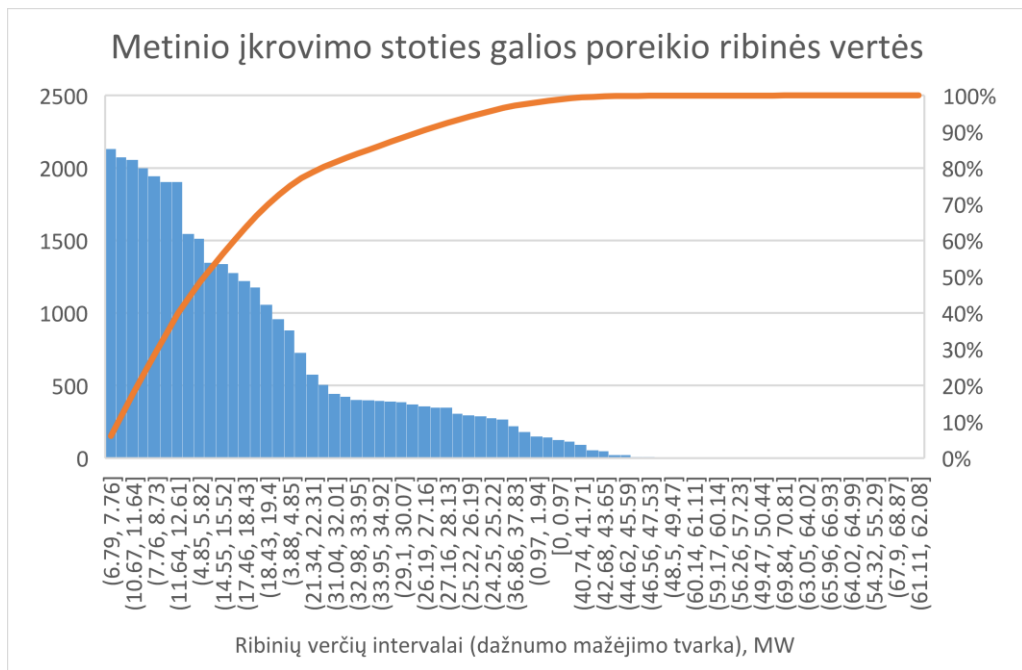


27 pav. Metinis įkrovimo stoties galios poreikis

15 lentelė Įkrovimo stoties metinės charakteristikos

Minimali galia, MW	Maksimali galia, MW	Vidutinė galia, MW	Per metus suvartotas energijos kiekis, GWh
0	70.65	15.15	132.69

Metiniai duomenys rodo, kad reikalinga maksimali galia yra smarkiai didesnė nei nustatyta vertinant tipinę parą ir siekia 70.65MW. 28 pav. sudaryta histograma, kuri parodo ribinių verčių pasiskirstymą.



28 pav. Metinio įkrovimo stoties galios poreikio ribinės vertės

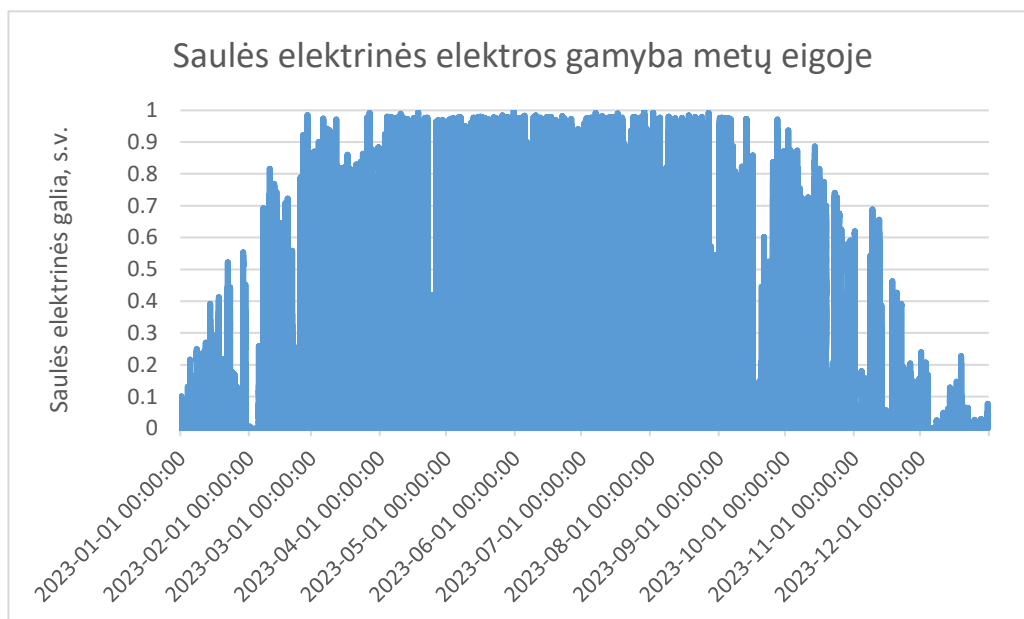
Histograma rodo, kad didelės maksimalios galios reikšmės yra retos. Jei apribojame įkrovimo stoties jungtį su tinklu iki 50 MW, tuomet sunkvežimiai 20 laiko periodų, kurių trukmė po 15 min, metuose (0.06 % laiko metuose) nebus aprūpinami reikiama elektra iš karto ir bus priversti laukti, kad galėtų pasikrauti sunkvežimius, tai neigiamai paveiktų 188 sunkvežimius. O jei apribotume įkrovimo stoties jungtį su tinklu iki 40 MW, tuomet sunkvežimiai 350 laiko periodų, kurių trukmė po 15 min, metuose (1.03 % laiko metuose) nebus aprūpinami reikiama elektra iš karto ir bus priversti laukti, kad galėtų pasikrauti sunkvežimius, tai neigiamai paveiktų 1338 sunkvežimius.

2.3. Atsinaujinantys energijos ištekliai

Įkrovimo stočiai nuolatos reikalinga elektros energija, todėl vietinė jos gamyba iš AEI galėtų padėti sumažinti veikimo kaštus ar elektros tinklo galią. Dėl to vertinama Lietuvoje stovinčios saulės elektrinės ir vėjo elektrinės gamybos profiliai 2023 m., kurių tinkamumas toliau darbe bus tiriamas.

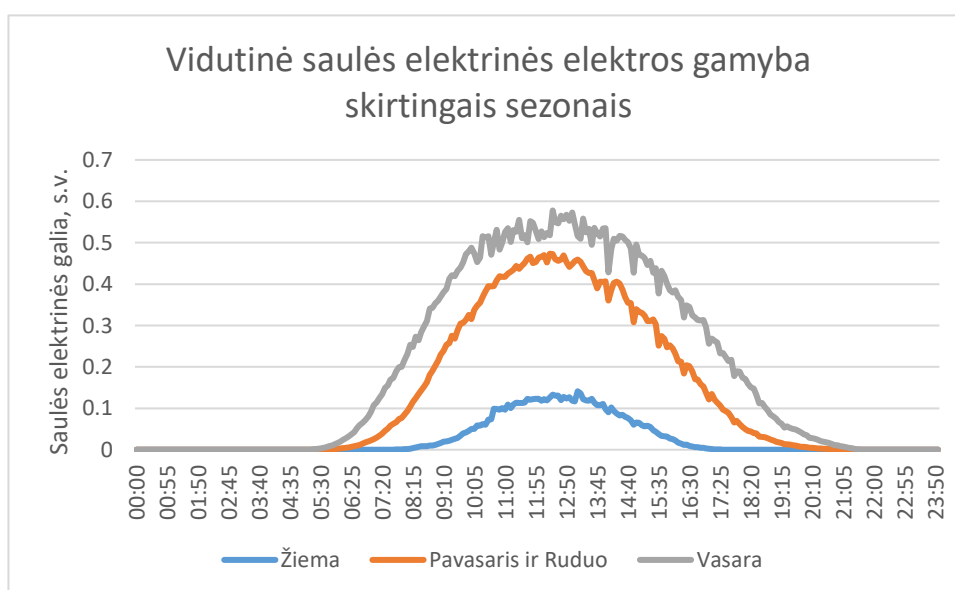
2.3.1. Saulės elektrinė

Saulės elektrinės veikimas vertinamas santykiniais vienetais ir duomenų rinkinys 15 min dažnumu pateikimas 29 pav.. Šios elektrinės išnaudojimo faktorius – 12.9 %.



29 pav. Saulės elektrinės generacija metų eigoje

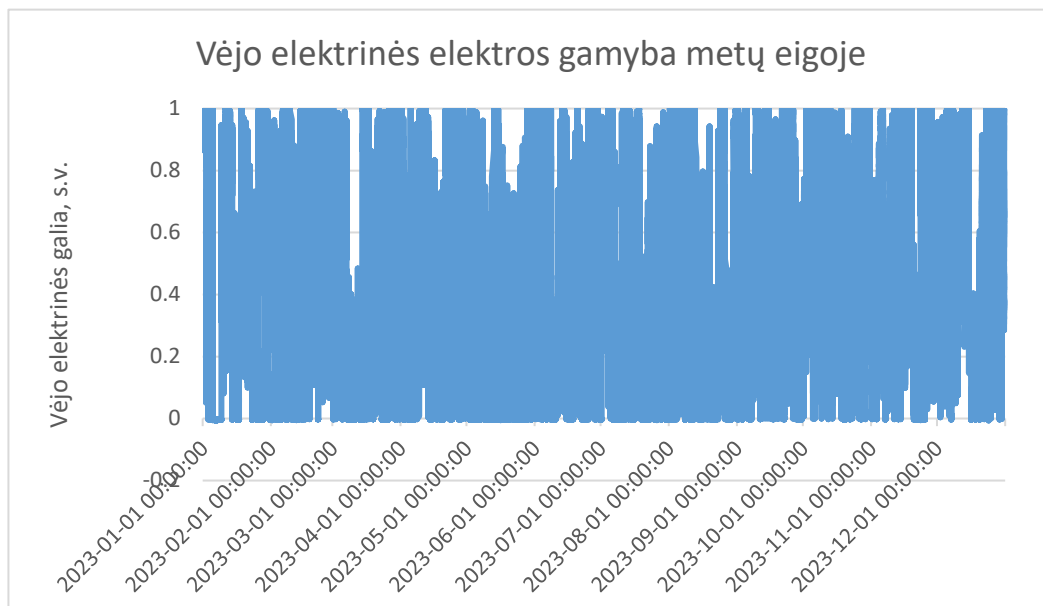
Grafikas parodo, kad saulės elektrinės gamyba yra itin priklausoma nuo sezono, tačiau vidutiniškai metuose paros profilis išlieka panašus, tik skiriasi jo amplitudė 30 pav..



30 pav. Vidutinė saulės elektrinės generacija skirtingais sezonais

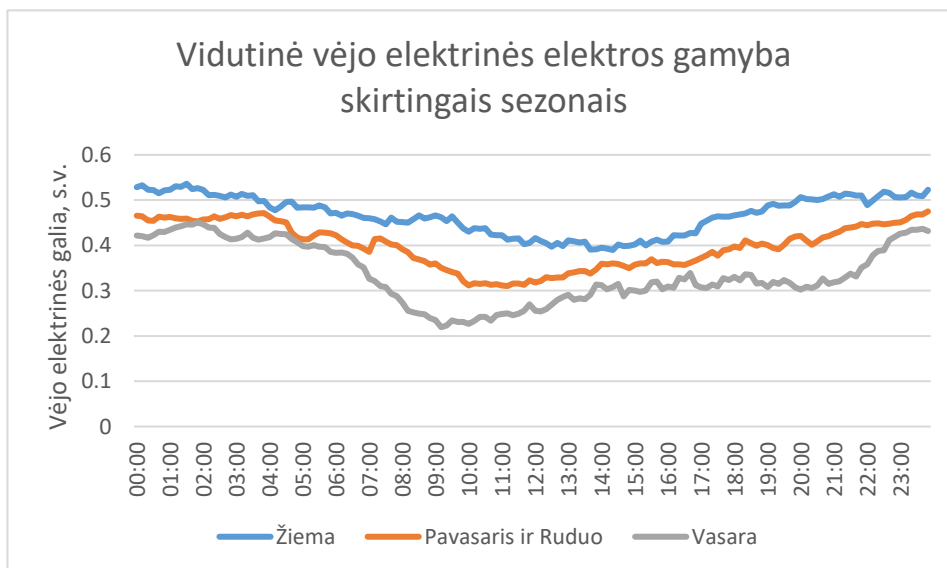
2.3.2. Vėjo elektrinė

Vėjo elektrinės veikimas vertinamas santykiniais vienetais ir duomenų rinkinys 15 min dažnumu pateikimas 31 pav. Šios elektrinės išnaudojimo faktorius – 37.8 %.



31 pav. Vėjo elektrinės generacija metų eigoje

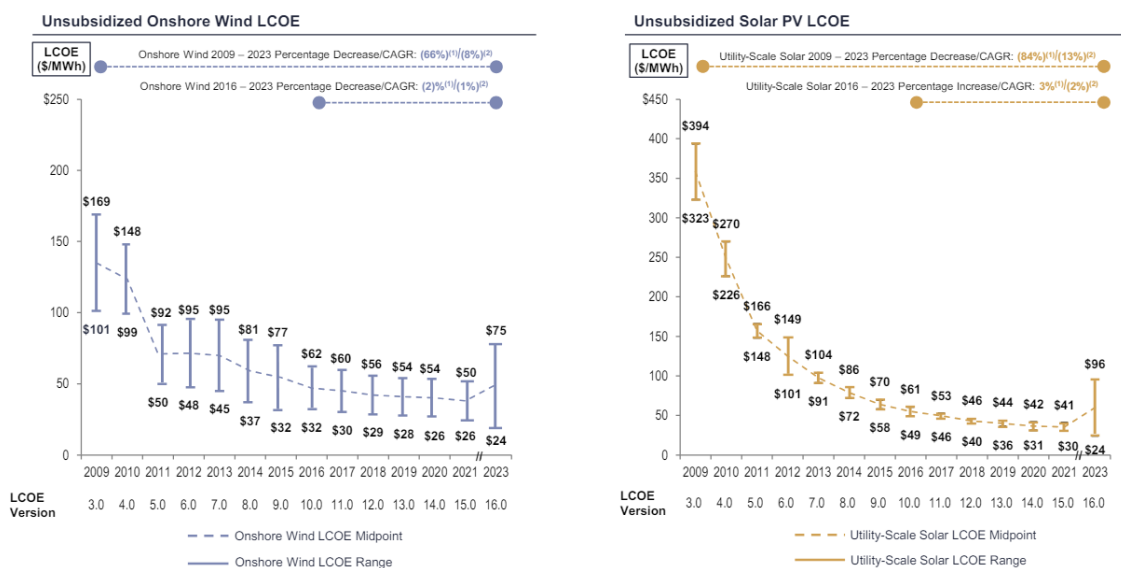
Grafikas parodo, kad vėjo elektrinės gamyba trumpuoju periodu, einamą parą, yra sunkiai nuspėjama, nes gamybos vertės staigiai ir dažnai šokinėja, taip nesusidaro diena iš dienos atsikartojantis veikimas, kaip tai vyksta su saulės elektrine. Tačiau vertinant ilgesniu laikotarpiu, įprastinė elektrinės gamyba išlieka panaši ir tarp skirtumas tarp sezonų nėra toks ryškus, tai galima pamatyti 32 pav..



32 pav. Vidutinė vėjo elektrinės generacija skirtingais sezonais

2.3.3. Lyginamosios AEI elektros energijos kainos

Siekiant palyginti AEI ekonominę naudingumą aprūpinti įkrovimo stotį elektros energija pasirinkta pasikliauti LAZARD 2023 lyginamosios elektros energijos kainos vertinimu. LCOE vėjo ir saulės elektrinėms pateikiamos 33 pav..

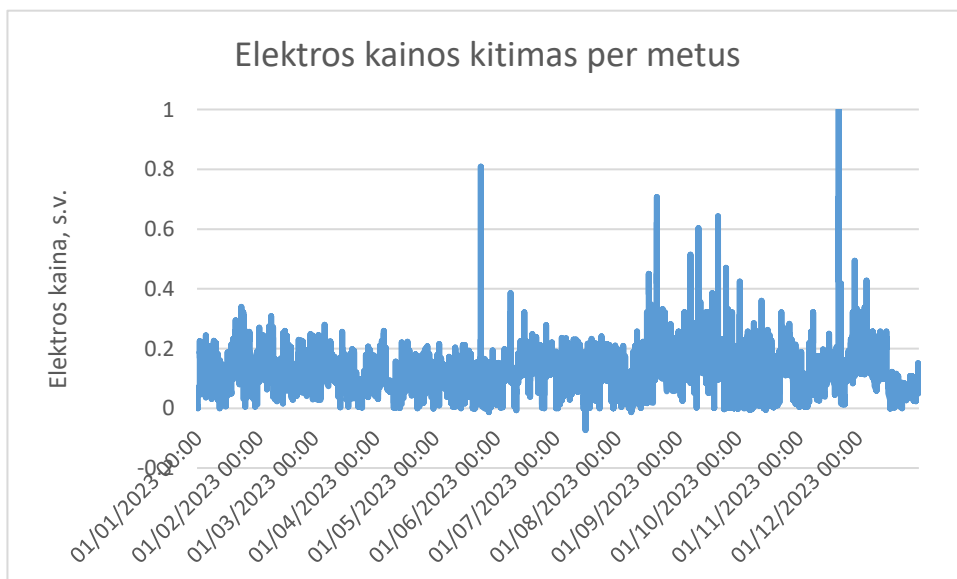


33 pav. Vėjo ir saulės elektrinių LCOE [36]

Pasirinkta taikyti vidutinę LCOE elektrinėms. Ji eurais saulės elektrinei lygi 55.2 EUR, o vėjo elektrinei lygi 45.54 EUR (valiutų santykis 1USD = 0.92EUR).

2.4. Dienos prieš elektros rinkos kaina

Elektros kainos įkrovimo stočiai bus vertinamos pagal valandines NordPool 2023 m. kainas Lietuvoje, jos santykiniais vienetais pateikiamos 34 pav..



34 pav. Elektros kainos kitimas per metus

Valandinės elektros kainos konvertuojamos į 15 min kainas santykiniais vienetais, visi 4 valandos periodai atitinka tą patį santykinį vienetą. Kiekvieno 15 min laikotarpio santykinio vieneto vertė padauginama iš atsitiktinės vertės tarp 290-780 EUR/MWh tam, kad susidaryti tam tikri skirtumai tarp 15 min periodų, o vidutinė metinė elektros kaina rinkoje būtų ~65 EUR/MWh. Tai atitiktų NREL LT100 studijos Lietuvai 2030m. prognozuojamos kainos viršutinį režį [37].

2.5. Įkrovimo stoties veikimo kaštų vertinimas

Vertinant įkrovimo stoties kaštus pirmiausia įvertinami AEI pagamintos energijos kaina pagal formulę (5):

$$C_{AEI} = (P_{VE} * LCOE_{VE} + P_{SE} * LCOE_{SE}) * \frac{15}{60} \quad (5)$$

Čia:

C_{AEI} – AEI pagamintos elektros kaina laiko periodui

P_{VE} – vėjo elektrinės gamyba laiko periodui

P_{SE} – saulės elektrinės gamyba laiko periodui

$LCOE_{VE}$ – lyginamosios elektros energijos kaina vėjo elektrinei

$LCOE_{SE}$ – lyginamosios elektros energijos kaina saulės elektrinei

Tuomet įvertinama, kiek elektros energijos įkrovimo stotis nesuvaržo vietoje ir tai traktuojama, kaip nuostolis, nes AEI pagaminta elektra nėra parduodama į elektros rinką, tam nustatyti taikoma formulė (6):

$$E_{cur} = \left(\frac{(P_{HUB} - P_{VE} - P_{SE}) - |P_{HUB} - P_{VE} - P_{SE}|}{2} \right) * \frac{15}{60} \quad (6)$$

Čia:

E_{cur} – perteklinės AEI elektros energijos gamyba

Patirti energijos nuostoliai konvertuojami į piniginius nuostolius, pagal formulę (7) (*dydis neigiamas*):

$$C_{cur} = E_{cur} * \frac{LCOE_{VE} + LCOE_{SE}}{2} \quad (7)$$

Čia:

C_{cur} – patiriamas nuostolis, dėl perteklinės AEI gamybos

Galiausiai įvertinama nustatoma, kiek elektros energijos reikia įsigyti iš dienos prieš elektros rinkos pagal formulę (8):

$$E_{tin} = (P_{HUB} - P_{VE} - P_{SE} + P_{Cur}) * \frac{15}{60} \quad (8)$$

Čia:

E_{tin} – Elektros energijos išsigijamos iš dienos prieš rinkos kiekis

P_{cur} – perteklinė AEI galia tam tikrą laiko momentą

Apskaičiuojami išsigijamos elektros išgytos iš dienos prieš rinkos kaštai, formulė (9):

$$C_{tin} = E_{tin} * C_{rin} \quad (9)$$

Čia:

C_{tin} – elektros išgytos iš dienos prieš rinkos kaina

C_{rin} – elektros kaina dienos prieš rinkoje

Ir galiausiai įvertinami suminiai kaštai patirti aprūpinant įkrovimo stotį elektros energija, formulė (10):

$$C_{HUB} = C_{tin} + C_{AEI} - C_{cur} \quad (10)$$

Čia:

C_{HUB} – suminiai įkrovimo stoties kaštai

Įkrovimo stoties kaštai vertinami visiems vieniems metams. Galios poreikis laiko periodams imamas iš 27 pav., o kiekvienam laiko periodui vertinamas AEI pajėgumas yra padauginamas iš jo santykiniais vienetais išreikštos kreivės 29 pav.ir 31 pav.. Analizuojami scenarijai prijungiant iki 20 MW saulės ir iki 20 MW vėjo elektrinių pajėgumų 1 MW žingsniu pateikti 16 lentelė.

16 lentelė Įkrovimo stoties metiniai kaštai, mln. EUR

		Vėjo elektrinė, MW																					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Saulės elektrinė, MW	0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	11	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12
	12	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	12
	13	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	12
	14	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	12
	15	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	13
	16	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	13
	17	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13
	18	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	12	12	12	13

19	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	13
20	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	13

žalia – su šia AEI konfigūracija pigiau, nei be AEI, pilka – sprendimas be AEI arba kaina tolygi tokiai konfigūracijai, raudona - su šia AEI konfigūracija brangiau, nei be AEI

Rezultatai 16 lentelė rodo, kad AEI prijungimas prie įkrovimo stoties gali sutaupyti kaštų, tačiau tik iki tam tikros ribos. Ekonomiškai efektyviausias sprendimas, kai prijungiama 6 MW vėjo elektrinė ir 8 MW saulės elektrinė. Įkrovimo parko vidutinė galia pateikiama AEI poveikis vidutiniai įkrovimo parko galiai. Vidutiniai galiai poveikį turi tiek saulės, tiek ir vėjo elektrinės, tačiau vėjo elektrinės padaro didesnę įtaką. Perteklinė AEI gamyba, GWh pateikiama, kiek perteklinės elektros energijos buvo pagaminta. Visais scenarijais bent minimalus AEI pagamintas elektros kiekis yra perteklinis, bet saulės elektrinės energija yra išnaudojama efektyviau, tai yra elektra dažniau pagaminama, kai jos reikia.

Ekonomiškai efektyviausias konfigūracijos įkrovimo stoties pagrindinės charakteristikos pateikiamos 17 lentelė.

17 lentelė Ekonomiškai efektyviausios įkrovimo stoties charakteristikos

Suminiai kaštai, mln. EUR	Elektrinis pirkimo kaina, mln. EUR	perteklinė AEI gamyba/nuostolis, mln. EUR	perteklinė AEI gamyba/nuostolis, GWh	AEI pagamintos elektros kaina, mln. EUR		AEI aprūpina poreikio dalį, %		AEI pagamintas naudingas elektros kiekis, GWh		Įrengta AEI galia, MW		Iš rinkos įsigytos elektros kiekis, GWh	Maksimali įkrovimo stoties galia, MW	Vidutinė įkrovimo stoties galia, MW
				SE	VE	SE	VE	SE	VE	SE	VE			
9.07	7.52	-0.12	-2.4	0.48	0.95	6.5%	15.8%	8.6	20.9	8	6	103.1	63.93	11.77
9.37	9.37									0	0	132.7	70.65	11.77

Ekonomiškai efektyviausia konfigūracija įkrovimo stočiai per metus leidžia sutaupyti 0.3 mln. EUR per metus, vietoje aprūpinti 22.3% elektros poreikio iš AEI ir sumažinti maksimalią galią 6.7MW lyginant su baziniu scenarijumi be AEI.

Išvados

1. Vertinant sunkiojo transporto sustojimus matyti, kad dauguma yra trumpi (iki 3 val.) arba ilgi (daugiau nei 8 val.). Todėl sunkiajam transportui reikės didelės galios įkrovos taškų ($> 1\text{MW}$) trumpiems sustojimams ir mažos galios taškų (50-150 kW) ilgiems sustojimams, o vidutinio galingumo įkrovos taškai bus mažiau svarbūs (150kW-1MW).
2. Sunkusis transportas gali būti tiesiogiai elektrifikuotas, daugiausiai žadantys sprendimai yra sunkiojo transporto varomo elektriniu varikliu su baterija arba kuro cele.
3. Sunkiajam transportui Lietuvoje 2030m. numatyti, kad reikės bent 116.4MW galios
4. Vandenilį transporto sektoriui galima gaminti centralizuotai kaip dujas ir jas vėliau patiekti papildymo stotelei, kaip itin žemos temperatūros skystį arba jį gaminti lokaliai – jo papildymo vietoje. Tik jo gaminimas lokaliai turės didelės įtakos tinklui, nes ne itin didelei papildymo stotelei reikia bent 3 MW galios norint pilnai pripildyti 10 vandeniliu varomų sunkvežimių bakus.
5. Dabartinėmis Lietuvos sąlygomis įkrovimo stotis veikdama įprastą darbo dieną vidutiniškai reikalaus 17.31MW, o įprastą dieną poreikis gali išaugti iki 34.95MW ir taip veikdama stotis per parą suvartos apie 415MWh energijos.
6. Modelyje skirtingos trukmės sustojimai nevyko tuo pačiu laiko momentu, todėl maksimali galia įprastą dieną išauga tik iki 34.95MW, o ne 49.2MW. Didžiausias galios (29MW) ir energijos poreikis paroje (212.5MWh iš 415.33MWh) reikalingas trumpiems, didelės galios reikalaujantiems sustojimams.
7. Siekiant, kad įkrovimo stotis aprūpintų visą sunkvežimių krovimosi poreikį reikalinga $>70\text{MW}$ galia. Tačiau, jei 1% laiko metuose nesuteikiami visi reikiami įkrovimo pajėgumų sunkvežimiams įkrauti, prijungimo prie tinklo galios poreikis mažėję iki 40MW.
8. Saulė ir vėjo elektrinės prijungimas prie įkrovimo stoties gali sumažinti kaštus. Ekonomiškai efektyviausia prijungti 6 MW vėjo elektrinė ir 8 MW saulės elektrinę, tai per metus leidžia sutaupyti 0.3 mln. EUR per metus, vietoje aprūpinti 22.3% elektros poreikio iš AEI ir sumažinti maksimalią galią 6.7MW lyginant su baziniu scenarijumi be AEI.
9. Vidutinę galią mažina tiek saulės, tiek ir vėjo elektrinės, tačiau vėjo elektrinės padaro didesnę įtaką.
10. Visais scenarijais bent minimalus AEI pagamintas elektros kiekis yra perteklinis, bet saulės elektrinės energija yra išnaudojama efektyviau, tai yra elektra dažniau pagaminama, kai jos reikia.

Literatūros sąrašas

1. EEA. What are the sources of. European Environment Agency. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.eea.europa.eu/sigEnals/signals-2022/infographics/what-are-the-sources-of>
2. Europos parlamentas. CO2 emissions from cars: Facts and figures. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>
3. ACEA. (2023). Vehicles in use Europe 2023. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.acea.auto/publication/report-vehicles-in-use-europe-2023/>
4. ERTRAC. (2021). Carbon-neutral road transport 2050: A technical study from a well-to-wheels perspective. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per https://www.ertrac.org/wp-content/uploads/2022/12/ERTRAC-PPT-Carbon-Neutral-Road-Transport-2050_Workshop_April_29.pdf
5. Europos komisija. (n.d.). Mobility strategy. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en
6. Europos komisija. Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/reducing-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_en
7. U.S. Department of Energy. (2019). Medium- and heavy-duty vehicle electrification: An assessment of technology and knowledge gaps.
8. CALSTART. Global commercial vehicle - Drive to zero. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://globaldrivetozero.org/>
9. ACEA. (2021). Truck stop locations in Europe. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.acea.auto/figure/interactive-maps-electric-trucks-stop-locations-central-europe/>
10. Fraunhofer. (2021). Truck stop locations in Europe. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/ACEA_truckstop_report_update.pdf
11. DAF. (2021). DAF introduces charging stations for electric vehicles. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.daf.com/en/news-and-media/news-articles/global/2021/q2/29-04-2021-daf-introduces-charging-stations-for-electric-vehicles>
12. ABB. Electric bus pantograph up. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://new.abb.com/ev-charging/pantograph-up>
13. Siemens. Fast charging systems for eBuses. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://new.siemens.com/my/en/markets/transportation-logistics/electromobility/ebus-charging.html>
14. IPT Technology. IPT charge bus. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://ipt-technology.com/product-ipt-charge-bus-100kw/>
15. Electreon. Wirelessly charge electric vehicles. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://electreon.com/>
16. ABB. ABB's electric bus charger HVC 300P is 'just the ticket' for Göttinger Verkehrsbetriebe. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://new.abb.com/news/detail/47993/abbs-electric-bus-charger-hvc-300p-is-just-the-ticket-for-gottinger-verkehrsbetriebe>
17. ENRX. Wireless inductive charging and contactless power supply. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://ipt-technology.com/e-mobility/>

18. Yisi, X., & Anderson, B. (2022). China's first highway battery swap service for heavy-duty trucks get going. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.yicaiglobal.com/news/china-first-highway-heavy-duty-truck-battery-swap-service-starts-operating>; <https://www.carscoops.com/2022/03/geely-now-has-a-battery-swap-station-for-cement-trucks/>
19. CEDR. (2018). Trans-European road network, TEN-T (Roads) 2017 performance report. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.cedr.eu/docs/view/60632734c6c05-en>
20. Vital Nodes. (2018). Vital Nodes to integrate the 88 urban nodes of TEN-T. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://vitalnodes.eu/2018/01/30/vital-nodes-to-integrate-the-88-urban-nodes-of-ten-t/>
21. ACEA. Fact sheet – Alternative Fuels Infrastructure Regulation: Heavy-duty vehicles. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.acea.auto/fact/fact-sheet-alternative-fuels-infrastructure-regulation-heavy-duty-vehicles/>
22. Skuodis, M. (2022). Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija: Laisvė judėti. Lietuvos viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtra iki 2030 m. Prieiga per https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Teisine_informacija/Teises_aktai/Ekstre_maliuju_situaciju_valdymas_ir_pavojinguju_kroviniu_vezimas/EV%20zemelapis%202022_05_11.pdf
23. Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas (EB) Nr. 561/2006. Prieiga per <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32006R0561>
24. U.S. Department of Energy. (2019). Medium- and heavy-duty vehicle electrification: An assessment of technology and knowledge gaps. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub136575.pdf>
25. IEA. (2022). Global EV outlook 2022. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>
26. Europos Komisija. (2021). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2014/94. Prieiga per <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0559>
27. Burges, K., & Kippelt, S. (2021). Grid-related challenges of high-power and megawatt charging stations for battery-electric long-haul trucks. RE-xpertise.
28. IRENA. (2020). Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolyzers. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf
29. ICCT. (2022). Cost of renewable hydrogen produced onsite at hydrogen refueling stations in Europe. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/fuels-eu-cost-renew-H-produced-onsite-H-refueling-stations-europe-feb22.pdf>
30. Daimler Truck. Development milestone: Daimler Truck tests fuel-cell truck with liquid hydrogen. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://media.daimlertruck.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Development-milestone-Daimler-Truck-tests-fuel-cell-truck-with-liquid-hydrogen.xhtml?oid=51975637>
31. LAKD. Elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros žemėlapis. [interaktyvus] [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://lakd.maps.arcgis.com/apps/instant/basic/index.html?appid=3d861bf9b9e84e83ada38ec2ac3c82d8>

32. EPSO-G. Lietuvos energetikos vizija iki 2050 metų. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.epsog.lt/uploads/documents/files/Lietuvos%20energetikos%20vizija/DNV%20EPSOG%20Lithuania%20Energy%20System%20Transformation%20Strategy.pdf>
33. Siemens. Megawatt charging system from Siemens delivers 1 MW charge for the first time during testing. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/megawatt-charging-system-siemens-delivers-1-mw-charge-first-time-during-testing>
34. Volvo. (2022). Volvo's heavy-duty electric truck is put to the test: Excels in both range and energy efficiency. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2022/jan/volvos-heavy-duty-electric-truck-is-put-to-the-test-excels-in-both-range-and-energy-efficiency.html>
35. ENTSO-E. (2023). Deployment of heavy-duty EVs and impact on the power system. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.entsoe.eu/2023/10/06/position-paper-on-deployment-of-heavy-duty-electric-vehicles-and-their-impact-on-the-power-system/>
36. Lazard. (2023). 2023 Levelized cost of energy+. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>
37. NREL. (2024). The Lithuania 100% renewable energy study — Interim results: Electricity system scenarios for 2030. [žiūrėta 2024-05-17] Prieiga per <https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/89564.pdf>

Priedai

1 Įkrovimo parko vidutinė galia

		Vėjo elektrinė, MW																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Saulės elektrinė, MW	0	15.1	14.7	14.4	14.0	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2
	1	15.0	14.6	14.2	13.8	13.4	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	9.8	9.4	9.0	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1
	2	14.9	14.5	14.1	13.7	13.3	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	10.9	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9
	3	14.8	14.4	14.0	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8
	4	14.7	14.3	13.9	13.5	13.1	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7
	5	14.5	14.1	13.7	13.3	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	10.9	10.5	10.2	9.8	9.4	9.0	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6
	6	14.4	14.0	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4
	7	14.3	13.9	13.5	13.1	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3
	8	14.2	13.8	13.4	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	9.8	9.4	9.0	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	6.2
	9	14.0	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0	11.7	11.3	10.9	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5	6.1
	10	13.9	13.5	13.1	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	6.0
	11	13.8	13.4	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	9.8	9.4	9.0	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	6.2	5.8
	12	13.7	13.3	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	10.9	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5	6.1	5.7
	13	13.5	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6
	14	13.4	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0	10.6	10.2	9.8	9.4	9.0	8.6	8.2	7.8	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.5
	15	13.3	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	10.9	10.5	10.1	9.7	9.3	8.9	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5	6.1	5.7	5.3
	16	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6	5.2
	17	13.1	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.5	5.1
	18	12.9	12.5	12.1	11.7	11.3	10.9	10.5	10.1	9.7	9.3	9.0	8.6	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6	6.2	5.8	5.4	5.0
	19	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6	5.2	4.8
	20	12.7	12.3	11.9	11.5	11.1	10.7	10.3	9.9	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.5	5.1	4.7

Raudona – didžiausia vidutinė įkrovimo parko galia, Žalia – mažiausia vidutinė įkrovimo parko galia

2 Perteklinė AEI gamyba, GWh

		Vėjo elektrinė, MW																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Saulės elektrinė, MW	0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	2.0	3.1	-4.6	-6.6	-9.2	-12.2	-15.7	-19.8	-24.4	-29.6	-35.2	-41.3	-47.8	-54.8	-62.2
	1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.3	2.0	3.1	-4.7	-6.7	-9.2	-12.3	-15.9	-20.0	-24.7	-29.8	-35.5	-41.6	-48.2	-55.2	-62.7
	2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.3	2.0	3.2	-4.7	-6.8	-9.3	-12.4	-16.0	-20.2	-24.9	-30.1	-35.8	-42.0	-48.6	-55.7	-63.2
	3	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.3	2.1	3.2	-4.8	-6.9	-9.5	-12.6	-16.2	-20.4	-25.2	-30.5	-36.2	-42.4	-49.1	-56.2	-63.7
	4	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.3	2.1	3.3	-4.9	-7.0	-9.6	-12.7	-16.4	-20.7	-25.5	-30.8	-36.6	-42.8	-49.5	-56.6	-64.2
	5	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.4	2.2	3.3	-5.0	-7.1	-9.7	-12.9	-16.7	-21.0	-25.8	-31.2	-37.0	-43.3	-50.0	-57.2	-64.7
	6	0.0	0.1	0.2	0.5	0.9	1.4	2.2	3.4	-5.1	-7.2	-9.9	-13.2	-16.9	-21.3	-26.2	-31.6	-37.4	-43.8	-50.5	-57.7	-65.3
	7	0.0	0.1	0.3	0.5	0.9	1.5	2.3	3.5	-5.2	-7.4	-10.1	-13.4	-17.3	-21.7	-26.6	-32.0	-37.9	-44.3	-51.1	-58.3	-65.9
	8	0.1	0.1	0.3	0.6	1.0	1.6	2.4	3.7	-5.4	-7.6	-10.4	-13.7	-17.6	-22.1	-27.0	-32.5	-38.4	-44.8	-51.6	-58.9	-66.5
	9	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.7	2.6	3.8	-5.6	-7.9	-10.7	-14.1	-18.0	-22.5	-27.5	-33.0	-39.0	-45.4	-52.3	-59.5	-67.2
	10	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	1.8	2.8	4.1	-5.8	-8.2	-11.0	-14.5	-18.4	-23.0	-28.0	-33.6	-39.6	-46.0	-52.9	-60.2	-67.9
	11	0.3	0.4	0.6	0.9	1.4	2.0	3.0	4.3	-6.2	-8.5	-11.4	-14.9	-18.9	-23.5	-28.6	-34.2	-40.2	-46.7	-53.6	-61.0	-68.7
	12	0.4	0.5	0.8	1.1	1.6	2.3	3.3	4.6	-6.5	-8.9	-11.9	-15.4	-19.5	-24.1	-29.3	-34.9	-41.0	-47.5	-54.4	-61.8	-69.6
	13	0.6	0.8	1.0	1.4	1.9	2.6	3.6	5.0	-7.0	-9.4	-12.4	-16.0	-20.1	-24.8	-30.0	-35.6	-41.7	-48.3	-55.3	-62.7	-70.5
	14	0.8	1.0	1.3	1.7	2.2	2.9	4.0	5.5	-7.4	-10.0	-13.0	-16.6	-20.8	-25.5	-30.7	-36.4	-42.5	-49.1	-56.1	-63.6	-71.4
	15	1.1	1.3	1.6	2.0	2.6	3.4	4.5	6.0	-8.0	-10.6	-13.7	-17.3	-21.5	-26.3	-31.5	-37.3	-43.4	-50.0	-57.1	-64.6	-72.4
	16	1.4	1.6	2.0	2.4	3.0	3.9	5.0	6.6	-8.6	-11.2	-14.4	-18.1	-22.3	-27.1	-32.4	-38.2	-44.4	-51.0	-58.1	-65.6	-73.5
	17	1.8	2.1	2.4	2.9	3.6	4.4	5.6	7.2	-9.3	-12.0	-15.2	-18.9	-23.2	-28.0	-33.3	-39.1	-45.4	-52.0	-59.2	-66.7	-74.7
	18	2.3	2.6	2.9	3.5	4.2	5.1	6.3	8.0	-10.1	-12.8	-16.0	-19.8	-24.1	-29.0	-34.3	-40.2	-46.4	-53.2	-60.3	-67.9	-75.9
	19	2.8	3.1	3.5	4.1	4.8	5.8	7.0	8.7	-10.9	-13.7	-16.9	-20.7	-25.1	-30.0	-35.4	-41.2	-47.6	-54.3	-61.5	-69.1	-77.2
	20	3.4	3.7	4.2	4.8	5.6	6.6	7.9	9.6	-11.8	-14.6	-17.9	-21.7	-26.1	-31.1	-36.5	-42.4	-48.8	-55.6	-62.8	-70.4	-78.5

Raudona – didžiausi perteklinė AEI gamyba, Žalia – mažiausia perteklinė AEI gamyba