



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Regvita Bastytė

ELEKTROMOBILIŲ PANAUDOJIMO ELEKTROS TINKLO
APKROVOS PIKO MAŽINIMUI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Lekt. dr. Povilas Norkevičius

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

ELEKTROMOBILIŲ PANAUDOJIMO ELEKTROS TINKLO
APKROVOS PIKO MAŽINIMUI TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

Lekt. dr. Povilas Norkevičius

Recenzentas

Doc. dr. Audrius Jonaitis

Projektą atliko

Regvita Bastytė

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Regvita Bastytė

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Elektromobilių panaudojimo elektros tinklo apkrovos piko mažinimui tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės 21 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Regvitos Bastytės** baigiamasis projektas tema „Elektromobilių panaudojimo elektros tinklo apkrovos piko mažinimui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Bastytė, Regvita. Elektromobilių panaudojimo elektros tinklo apkrovos piko mažinimui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas/vadovas lekt. dr. Povilas Norkevičius; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: elektromobilis, apkrovos pikas, elektros energijos kaupiklis, elektromobilių įtaka elektros energetikos sistemai, dinaminė elektros kaina.

Kaunas, 2018. 54 p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame projekte analizuojama elektromobilių plėtros įtaka elektros energetikos sistemai. Tyrimas atliekamas modeliuojant pasirinktos Kauno miesto dalies elektros tinklą integruojant elektromobilius. Tinklo simuliacija atliekama 24 valandų laikotarpiui. Modeliavimo rezultatais siekiama išsiaiškinti skirtumus tarp nekoordinuoto elektromobilių krovimo ir koordinuoto. Koordinuotas krovimas modeliuojamas įvedant dinaminį elektros kainos kitimą, kurio tikslas, padidėjusios elektros energijos vartojimo pikus paskirstyti laike. Modelyje taip pat sukuriama galimybė elektromobilių baterijose sukauptą elektros energiją, maksimalios apkrovos metu, tiekti į tinklą. Toks elektromobilių kaip elektros energijos kaupimo sistemų panaudojimo tikslas yra sumažinti tinklo apkrovimą, palengvinti sistemos darbą bei patikimumą. Pasitelkus tyrimo rezultatus ir įvertinus elektromobilių baterijų įkrovos – iškrovos ciklo naudingumo koeficientą darbe pateikiamos rekomendacijos dėl elektros kainos dinaminį tarifų paskirstymui laike.

Bastytė, Regvita. Research of Use of Electric Cars to Reduce Electric Network Peak Load: Master's thesis / supervisor assoc. lekt. dr. Povilas Norkevičius. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: electric vehicle, simulation, electricity grid, model, peak load, batteries, dynamic electricity price tariff.

Kaunas, 2018. 54 p.

SUMMARY

The master's thesis involves an analysis of the electric vehicle deployment impact to the electric power system. The research is carried out by modeling the electricity network of the selected part of Kaunas city by integrating electric vehicles. Network simulation is performed for a 24-hour period. We are using the modelling results, in order to differences between uncoordinated and coordinated charging of the electric vehicles. The coordinated charging is modeled by introducing a dynamic electricity price trend, whose purpose is to distribute the increased electricity consumption over time. The model also includes option to release accumulated electricity in electric batteries back to the electricity grid during peak loading period of the network. provides the ability to accumulate electricity in an electric vehicle battery during the peak load on the network. The purpose of using electric cars as electric energy storage devices is to reduce network load, facilitate system operation and reliability. Based on the results of the study and taking into account the electric vehicle's battery efficiency of the charging – discharging cycle, the recommendations are presented for the dynamic distribution of electricity tariffs in time.

TURINYS

ĮVADAS	10
1. Elektromobilių prognozės bei esama situacija Lietuvoje	11
1.1. Elektromobilių plėtros Lietuvoje prognozės 2025 metams	11
1.2. Elektromobilių plėtros skatinimo priemonių įgyvendinimas	12
1.3. Elektromobilių kiekis Lietuvoje	15
1.4. Populiariausi elektromobiliai Europoje	15
1.5. Elektromobilių krovimo būdai.....	16
2. Elektromobilių poveikis elektros tinklams	19
2.1. Elektros energijos apkrovos grafiko pokyčiai	19
2.2. Elektromobilių sukelti energijos srautai	20
2.3. Elektromobilių kaip elektros energijos kaupimo sistemų poveikis skirstomajam tinklui 23	
2.4. Elektromobilių įtaka elektros energetikos sistemos stabilumui	24
2.5. Elektros energijos nuostolių padidėjimas tinkle.....	25
2.6. Harmonikų skaičiaus tinkle padidėjimas.....	26
3. Elektros kainos įtaka elektros apkrovos grafikui.....	28
3.1. Elektros biržos įtaka elektros kainoms	28
3.2. Elektros vartojimo perstūmimo laike į pigesnės elektros energijos intervalus galimybės 28	
3.3. Dinaminės elektros energijos tiekimo kainos formos.....	29
3.4. Dinamiškų elektros energijos tiekimo kainų pavyzdžiai.....	30
3.5. Dinaminių elektros energijos tiekimo kainų populiarumas	32
3.6. Palankesnių dinamiškoms kainoms taikyti sąlygų kūrimas	34
4. Elektromobilių įkrovimo – iškrovimo procesų tyrimas elektros tinkle.....	36
4.1. Esama tinko situacija	36
4.2. Nekoordinuoto elektromobilių krovimo įtaka tinklo daliai.....	38
4.3. Nekoordinuoto elektromobilių krovimo įtaka tinklo daliai.....	40
5. Tyrimo rezultatai	46
Išvados	49
LITERATŪRA	50

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Rekomenduojamas greitojo elektromobilių įkrovimo stotelių išsidėstymas užmiestyje, 2025 m. Lietuvoje [1 p.123]	14
1.2 pav. Viešai prieinamų bei greitojo elektromobilių krovimo stotelių išsidėstymas Lietuvoje, 2018 m. [3].....	14
1.3 pav. 2018 m. gegužės 1 d. VĮ „Regitra“ duomenimis Lietuvoje registruoti elektromobiliai ir hibridiniai M1 ir N1 klasės automobiliai [5].	15
2.1 pav. Prognozuojama maksimali elektromobilių krovimosi įtaka paros elektros energijos vartojimui 2025 metais [1].....	20
2.2 pav. Maksimalių aktyviosios galios nuostolių trukmės τ priklausomybė nuo maksimalios apkrovos trukmės T_{max}	25
4.1 pav. Modeliuojama tinklo schema.....	36
4.2 pav. Tiriamos linijos paros elektros apkrovos grafikas	37
4.3 pav. Modeliuojamos apkrovos įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje ...	37
4.4 pav. Modeliuojama L-MT1354 iš Šilainių 110/10 kV TP schema papildyta elektromobiliais..	38
4.5 pav. Modeliuojamų elektromobilių būseną tinklo atžvilgiu paros bėgyje. 1 – elektromobilis prijungtas, 0 – elektromobilis atjungtas.	39
4.6 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje	40
4.7 pav. Elektromobilių koordinuoto krovimo logikos seka	41
4.8 pav. Modeliuojamos elektros kainos kitimo paros bėgyje grafikas	42
4.9 pav. Krovimo valdiklio veikimo logikos schema.....	43
4.10 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje	45
4.11 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje	45
5.1 pav. Atliktų elektros tinklo simuliacijų skirtingais tinklo režimais rezultatai.....	46
5.2 pav. Siūlomas elektros kainos kitimas paros bėgyje	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Populiariausių. elektromobilių Europoje 2017 m nuvažiuojamo atstumo pilnai įkrauta baterija bei įkrovimo laiko palyginimas [8-15].	16
--	----

SANTRUMPOS

AC – kintamoji elektros srovė

DC – nuolatinė elektros srovė

SOC – baterijos įkrovimo lygis

ΔP_T – aktyviosios galios nuostoliai transformatoriuje;

ΔQ_T – reaktyviosios galios nuostoliai transformatoriuje;

ΔP_L – aktyviosios galios nuostoliai linijoje;

ΔQ_L – reaktyviosios galios nuostoliai linijoje;

U_L – linijos įtampa;

R, X – aktyvioji ir reaktyvioji linijos arba transformatoriaus varžos, Ω ;

P_{ap}, Q_{ap} – aktyvioji ir reaktyvioji linijos arba transformatoriaus galia, W;

$\Delta P_O, \Delta Q_O$ – aktyviosios ir reaktyviosios galios nuostoliai, sukelti tuščiosios veikos, W;

W_L - metiniai energijos nuostoliai linijoje;

PEV - kištukiniai elektromobiliai (Plug-in Electric Vehicle)

PHEV - kištukiniai hibridiniai elektromobiliai (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

V2G – automobilis atiduoda energiją į tinklą (Vehicle-to-Grid)

THD - suminis harmonikų iškraipymas (Total Harmonic Distortion)

REV – prailgintos kelionės elektromobiliai

VDV – vidaus degimo variklis

IVADAS

Artimiausiu metu laukiama didelio elektrinių transporto priemonių proveržio, kurios bus jungiamos prie elektros tinklo. Elektromobiliai vaidina svarbų vaidmenį pereinant prie ekologiškesnės ateities energijos. Energijos ir automobilių sektorių sankirta bei išmaniojo tinklo vizija sulaukia vis daugiau susidomėjimo.

Didelis kiekis elektromobilių, prijungiamų prie elektros tinklo, gali sukelti keletą techninių problemų bei turėti reikšmingą poveikį elektros energetikos sistemai, pavyzdžiui:

- 1) Pakeisti elektros energijos apkrovos grafiką, padidinant elektros energijos paklausą piko metu;
- 2) Padidinti elektros tinklo perkrovos bei griūčių riziką;
- 3) Padidinti įtampos disbalansą tarp fazių;
- 4) Padidinti elektros energijos nuostolius;
- 5) Padidinti harmonikų skaičių tinkle.

Elektromobiliai, prijungiami prie skirstomojo elektros tinklo, gali veikti kaip aktyvioji apkrova, padidinanti energijos paklausą ir dar labiau išryškinanti elektros energijos vartojimo pikus, bet gali veikti ir kaip energijos saugojimo ir kaupimo įrenginiai. Bet kokių atveju, nesvarbu kuriuo režimu elektromobiliai veiktų, jų integracija į elektros tinklą turi vienokios ar kitokios įtakos elektros tinklui ir jo darbo režimams. Šį poveikį būtina iširti ir gautus tyrimų rezultatus panaudoti projektuojant ir tobulinant ateities elektros tinklus.

Darbo tikslas: Iširti elektromobilių integracijos įtaką pasirinktos Kauno miesto dalies elektros tinklui ir įvertinti elektromobilių galimybę į tinklą atiduoti baterijose turimą energiją.

Darbo tikslui įgyvendinti, darbe iškelti tokie uždaviniai:

- 1) Apžvelgti elektromobilių plėtros galimybes bei esamą situaciją Lietuvoje;
- 2) Išanalizuoti elektromobilių integracijos įtaką elektros tinklams;
- 3) Išanalizuoti pasirinktos Kauno miesto dalies elektros tinklą, surinkti reikiamus duomenis modeliavimui, sumodeliuoti elektros tinklą integruojant elektromobilius ir atlikti 24 valandų elektros tinklo simuliaciją elektromobilius kraunant nekoordinuotai;
- 4) Atlikti 24 valandų elektros tinklo simuliaciją elektromobilius kraunant koordinuotai. Sukurti optimalias sąlygas koordinuotam krovimui vykdyti bei įvertinti koordinuoto krovimo įtaką apkrovos grafikui;
- 5) Gautus rezultatus pateikti grafiškai bei juos palyginti;

1. ELEKTROMOBILIŲ PROGNOZĖS BEI ESAMA SITUACIJA LIETUVOJE

1.1. Elektromobilių plėtros Lietuvoje prognozės 2025 metams

Dar 2011 m. Susisiekimo, Ūkio ir Energetikos ministerijų iniciatyva buvo parengta kompleksinė elektromobilių transporto plėtros galimybių studija. Studijos tikslas - išnagrinėti elektromobilių transporto ir su jais susijusios transporto infrastruktūros plėtros Lietuvoje poreikį bei galimybes, įvertinti jos galimą ekonominę ir aplinkosauginę naudą, identifikuoti problemas ir kliūtis bei, atsižvelgiant į užsienio šalių patirtį, pateikti rekomendacijas, kaip plėsti Lietuvoje elektromobilių transportą ir susijusią infrastruktūrą. Studijoje buvo nagrinėjamos tik iki 8 eismo dalyvių ir ne daugiau kaip 3,5 tonos krovinius gabenančios klasės transporto priemonės, o analizuojant elektromobilius prioritetą buvo teikiamas gryniesiems elektromobiliams (PEV), iš tinklo įkraunamiems hibridams (PHEV) ir prailgintos kelionės elektromobiliams (REV). Teigiama, kad būtent tokio tipo elektromobiliai atneša didžiausią naudą saugant aplinką ir tausoje degalus.

Studijoje pateikiami ir joje nagrinėjami trys elektromobilių plėtros Lietuvoje scenarijai. Du iš nagrinėjamų scenarijų buvo parengti pagal Studijos užsakovų nurodytus tikslus, papildomas scenarijus – pasiūlytas konsultantų, įvertinus realų elektromobilių paplitimo potencialą, jei būtų plačiai taikomos elektromobilių skatinimo priemonės [1]. Analizuoti scenarijai pateikiami toliau.

Tikslas 1 nurodo, kad 20 % Lietuvos automobilių parko 2025 metais sudarys elektromobiliai. Tai reiškia, kad 250 tūkst. automobilių parko 2025 metais turėtų būti elektromobiliai. Tam, kad šiam tikslui pasiekti, iki 20 % visų automobilių registracijų 2013–2025 metais turėtų būti elektromobiliai. Numatoma, jog 20 % visų naujų įsigyjamų automobilių būtų nekištukiniai hibridai (remiantis tarptautinių konsultantų prognozėmis ir ekspertiniu vertinimu, taip pat prielaida, jog šio tipo elektromobiliai nebūtų papildomai remiami dėl gana mažos aplinkosauginės naudos). 60 % visų naujų automobilių būtų PEV, REV ir PHEV tipo elektromobiliai, o trečdalis visų registracijų būtų naudoti ir perdirbti PEV tipo elektromobiliai.

Tikslas 2 – 4 % automobilių parko – tikrieji elektromobiliai. Vertinamas maksimalus tikrųjų elektromobilių potencialas Lietuvoje – 4% visų automobilių. 20 % visų naujų įsigyjamų automobilių būtų nekištukiniai hibridai, o daugiau nei 20 % visų naujų įsigyjamų automobilių būtų PEV, REV ir PHEV tipo elektromobiliai. Kartu su nekištukiniais hibridais, tikslas – 7 % automobilių parko – elektromobiliai.

Tikslas 3 – 10 % naujai įsigyjamų automobilių (1 % automobilių parko) – kištukiniai (PEV, PHEV ir REV tipo) elektromobiliai. Šis tikslas taikomas tik kištukiniams (PEV, PHEV ir REV tipo) elektromobiliams. Numatoma, jog nekištukiniai hibridai iki 2025 m. sudarys iki 20 % visų įsigyjamų naujų automobilių. Kartu su nekištukiniais elektromobiliais, tikslas – 30 % visų įsigyjamų naujų automobilių – elektromobiliai. Mažiau nei 1 % visų registracijų būtų naudoti ir perdirbti PEV, PHEV ir REV tipo elektromobiliai.

Lietuvos tikslus palyginus su užsienio valstybių išsikeltais tikslais ir ekspertų prognozėmis dėl pasaulinių elektromobilių skaičiaus tendencijų daroma išvada, kad Lietuvos Tikslas 1 (20 % viso automobilių parko) ir Tikslas 2 (~4% automobilių parko), neatitinka užsienio praktikos, yra pernelyg ambicingi ir sunkiai įgyvendinami. Atsižvelgiant į Lietuvos specifiką ir užsienio šalių tikslus, Tikslas 3 (10% naujai perkamų automobilių, t. y. ~1% automobilių parko) atrodo realistiškiausias.

1.2. Elektromobilių plėtros skatinimo priemonių įgyvendinimas

Po Susisiekimo, Ūkio ir Energetikos ministerijų inicijuotos kompleksinės elektromobilių transporto plėtros galimybių studijos pristatymo, jau 2015 m. gegužės 6 d. buvo išleistas Lietuvos Respublikos Susisiekimo Ministro įsakymas dėl Viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros rekomendacijų ir Šalia valstybinės reikšmės kelių numatomų įrengti viešųjų elektromobilių įkrovimo prieigų plano patvirtinimo.

Elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros tikslas yra plėtojant elektromobilių įkrovimo infrastruktūrą, skatinti naudotis elektromobiliais, siekiant sumažinti naftos produktų vartojimą transporto sektoriuje ir sušvelninti transporto poveikį aplinkai. Elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtra prisidės prie Studijoje rekomenduojamo rodiklio pasiekimo, kad iki 2025 m. visi įregistruoti nauji elektromobiliai Lietuvoje sudarytų 10 proc. visų per metus parduodamų naujų automobilių [2].

Atsižvelgiant į studijoje nurodytas rekomendacijas, elektromobilių plėtrai lengviausias įgyvendinimas yra „minkštųjų“ skatinimo priemonių naudojimas. Šiuo metu Lietuvoje jau leidžiama elektromobiliams nemokamai eksploatuoti viešojo transporto juostą bei aktyviai veikia nemokama elektromobilių statymo iniciatyva. Šie veiksniai yra kaip stipri paskata būsimiems elektromobilių naudotojams bei tuo pat metu nereikalauja didelių papildomų lėšų įgyvendinimui. Leidimas elektromobiliams naudotis viešojo transporto juostomis nesukuria kaštų tik tuo atveju, jei ji taikoma iki elektromobilių masinio naudojimo etapo pradžios. Nemokamo elektromobilių stovėjimas miestuose lengvatą studijoje numatyta taikyti 2020m.

Rekomendacijoje pateikiamas siūlymas dėl metinio vidaus degimo variklių (VDV) automobilių naudojimo mokesčio įvedimo. Ši priemonė būtų reikšminga dėl papildomų pajamų generavimo bei susiformavusių naudotojų įpročių keitimo. Šiuo metu Lietuvos Respublikos seimas aktyviai svarsto Aplinkos ministerijos iškeltą klausimą dėl automobilio taršos įvedimo mokesčio. Neseniai ekspertai pateikė keturis galimus efektyvius transporto priemonių apmokestinimo variantus. Siekiant parengti galimas transporto priemonių apmokestinimo alternatyvas, tyrimo metu išanalizuotos tarptautinėje praktikoje taikomos apmokestinimo sistemos ir papildomos priemonės, skatinančios naudoti mažiau taršias transporto priemones. Alternatyvos vertintos aplinkosauginiu, ekonominiu ir socialiniu požiūriu. Siūloma automobilius apmokestinti pagal tai, kiek, gamintojo deklaracijos duomenimis, automobilis išmeta anglies dvideginio ir kietųjų dalelių. Benzininiams automobiliams siūlomas mokestis per metus – 160 eurų, o dyzeliniams – iki 300 eurų.

Nemažai dėmesio skirta rekomendacijai dėl infrastruktūros diegimo bei nemokamo krovimo viešosiose stotelėse galimybių, leisiančių pritraukti elektromobilių gamintojus bei užtikrinti patogumą vartotojams. 2017 metais Lietuvoje jau buvo viešai prieinamos 52 elektromobilių įkrovimo stotelės, apie pusę iš jų yra greito įkrovimo. Stoteles valdo skirtingi savininkai bei valstybė. 2017 metais prie buvusių rinkos žaidėjų prisijungė Achema grupės įmonė Renerga. Galime pasidžiaugti, kad palyginus 1.1 paveikslą, kuriame yra pateikta greitojo elektromobilių krovimo stelių išdėstymo rekomendacijos 2025 metams su 1.2 paveikslu, kuriame pateikiamas jau įrengtų greitojo įkrovimo stelių žemėlapis, matome, kad rekomendacijos dėl viešųjų elektromobilių įkrovimo stelių sklandžiai įgyvendinamos.



1.1 pav. Rekomenduojamas greitojo elektromobilių įkrovimo stotelių išsidėstymas užmiestyje, 2025 m. Lietuvoje [1 p.123]

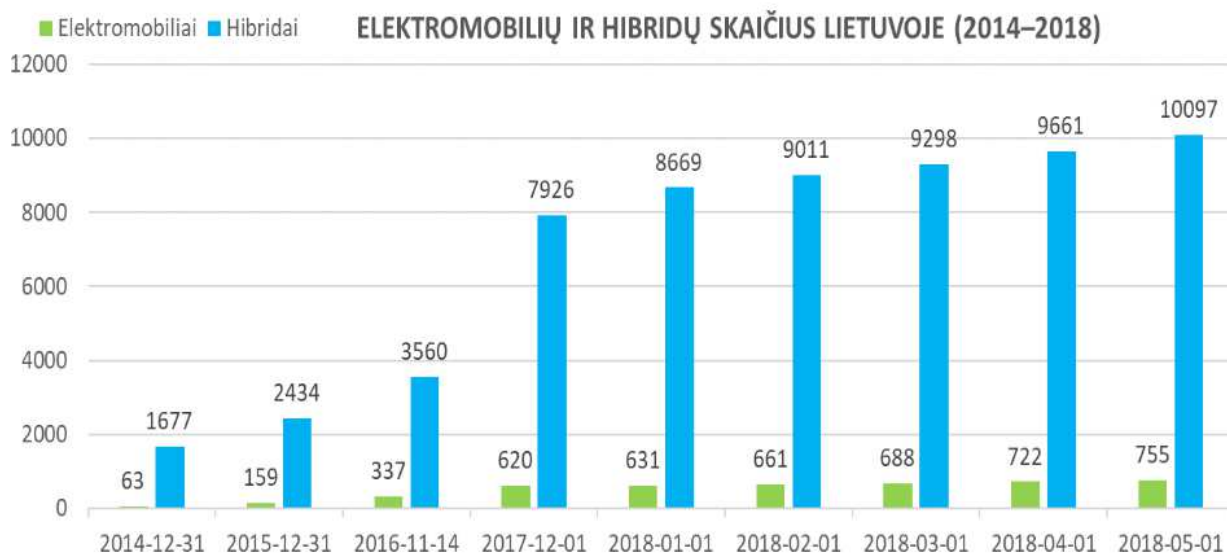


1.2 pav. Viešai prieinamų bei greitojo elektromobilių krovimo stotelių išsidėstymas Lietuvoje, 2018 m. [3].

1.3. Elektromobilių kiekis Lietuvoje

VĮ „Regitra“ duomenimis 2018 m. gegužės 1 d. Lietuvoje buvo užregistruoti 755 elektromobiliai ir 10097 hibridiniai M1 ir N1 klasės automobiliai (1.3 pav.) [4]. Populiariausi elektromobiliai pagal gamintoją - Nissan 373 vnt., Tesla – 108 vnt. ir VW – 87 vnt. Populiariausi hibridiniai automobiliai pagal gamintoją - Toyota – 6341 vnt., Lexus – 2731 vnt., Honda – 423 vnt. [5].

Stebint elektromobilių skaičiaus augimą nuo 2014 metų pabaigos, rezultatai yra stulbinantys. Per keturis metus elektromobilių kiekis išaugo beveik 12 kartų. 2014 metų pabaigoje Lietuvoje buvo registruoti vos 63 elektromobiliai, o dar metais anksčiau elektromobilių Lietuvoje buvo registruota vos 6. Skaičiai, nurodantys elektromobilių kiekio augimą Lietuvoje, yra neįtikėtini, bet paskaičiavus procentinę dalį nuo visų šalyje įregistruotų automobilių, gryniesi elektromobiliai sudaro tik 0,06 dalį, o hibridiniai elektromobiliai – 0,79% [4].



1.3 pav. 2018 m. gegužės 1 d. VĮ „Regitra“ duomenimis Lietuvoje registruoti elektromobiliai ir hibridiniai M1 ir N1 klasės automobiliai [5].

1.4. Populiariausi elektromobiliai Europoje

Remiantis VĮ „Regitra“ oficialiai pateikiamais duomenimis, Lietuvos automobilių parkas atspindi vakarietiškąjį, nes vis dar labai didelę dalį Lietuvoje naujai registruojamų automobilių sudaro naudoti iš vakarų atgabenti automobiliai [4]. Remiantis šia prielaida, daroma išvada, kad elektromobilių populiarumą nulems taip pat vakaruose vyraujančios elektromobilių tendencijos. Ateityje Lietuvos elektromobilių parką galime nuspėti pagal dabar Europoje vyraujančias elektromobilių populiarumo tendencijas.

1 lentelėje palyginama populiariausių elektromobilių Europoje 2017 metais nuvažiuojamo atstumo pilnai įkrauta baterija bei įkrovimo laiko skirtingais krovimo režimais. Šiuo metu visuose elektromobiliuose yra naudojamos ličio jonų baterijos, skiriasi tik naudojamų baterijų talpa. Elektromobilius su didžiausia baterijų talpa siūlo Tesla elektromobilių gamintojas. Šio gamintojo elektromobiliuose sumontuotų baterijų talpa siekia net 100 kWh, kai tuo tarpu VĮ „Regitra“ duomenimis Lietuvoje pirmoje vietoje pagal registracijų skaičių esančio Nissan gamintojo elektromobiliuose galima tik 40 kWh maksimalios talpos baterija.

Pagal nuvažiuojamą atstumą su pilnai įkrauta baterija taip pat pirmauja Tesla. Su pilnai įkrauta 100 kWh talpos baterija gamintojas deklaruoja, kad automobilis gali nuvažiuoti daugiau kaip 539 kilometrus. Atliktais eksperimentais nustatyta, kad realiai šis atstumas sumažėja iki 417-507 kilometrų, priklausomai nuo važiavimo sąlygų. Nors Tesla elektromobilių baterijų techninės specifikacijos stebina, bet kitų elektromobilių gamintojų, nors ir su mažesnėmis baterijų talpomis, nuvažiuojamas atstumas taip pat tenkina miesto gyventojų poreikius. Atliktais eksperimentais nustatyta, kad su pilnai įkrauta baterija galima nuvažiuoti nuo 60 (Opel Ampera-e) iki 240 (Nissan Leaf) kilometrų.

1 lentelė. Populiariausių elektromobilių Europoje 2017 m nuvažiuojamo atstumo pilnai įkrauta baterija bei įkrovimo laiko palyginimas [8-15].

Eil. nr.	Markė	Nuvažiuojamas atstumas		Baterijos talpa	Įkrovimo galia		Įkrovimo laikas	
		Deklaruojamas (NEDC)	Realybė		Lėtas	Greitas	Level 2	DC 50kW (iki 80%)
		km	km		kWh	kW	kW	h
1	<i>Renault ZOE</i>	240	170	22	3 (7)	43	8 (4)	1
2	<i>BMW i3</i>	190	130 183	33	7,4	50	3,45	0,7
3	<i>Nissan Leaf</i>	378	243	40	6,6	50	7,5	1
4	<i>Tesla Model S</i>	539	417 507	100	3(7)	120	25(11)	0,5
5	<i>Volkswagen e-Golf</i>	298	201	35,8			10	1
6	<i>Tesla Model X</i>	562	450	90	3(7)	120	25(11)	0,5
7	<i>Hyundai Ioniq Electric</i>	280	200	28	3 (6,6)	70	12 (4)	0,5
8	<i>KIA Soul EV</i>	179	179	27-30	3 (6,6)	43	12 (4)	0,5
9	<i>Smart Fortwo ED</i>	145	93	17,6	3		6	1
10	<i>Opel Ampera-e</i>	83	60	16	3(6)		11(6)	
11	<i>Volkswagen e-up!</i>	99	82	18,7	6,6	50	6	0,5

1.5. Elektromobilių krovimo būdai

Elektromobilių baterijų įkrovimo sparta priklauso nuo įkrovimo būdo. Nors šiuo metu dar vyksta kova tarp elektromobilių įkrovimo jungčių standartų, kurios dalyviai – valstybės, automobilių gamintojai, standartų organizacijos bei stotelių gamintojai, todėl galime išskirti keletą įkrovimo jungčių standartų [16].

Standartizuoti įkrovimo režimai (angl. Mode's), leidžiantys pasirinkti įkrovimo būdą ir atitinkamą įrangą su numatytais įkrovimo pajėgumais. Įkrovimo režimas, o kartu ir laikas, per kurį elektromobilis bus įkrautas, priklauso nuo pagal tuo metu patogesnės/palankesnės situacijos, turimo laiko ir esamų galimybių (pavyzdžiui, netoliese esančių įkrovimo stotelių) bei turimo elektromobilio modelio galimybių. Kitaip tariant, didžiąja dalimi priklausomai nuo išvystytos įkrovimo infrastruktūros (konkrečioje vietoje pasiekiamų variantų), asmeninių planų ar kitų aplinkybių.

Elektromobilių įkrovimo būdai skirstom pagal tam naudojamą srovę [17].

Naudojant kintamąją srovę (AC) – tai vadinama lėtu krovimo būdu (12-0.5h). Gali būti naudojamas tiek automobilio tiek krovimo stotelės (arba tiesiog ant laido esančio komunikatoriaus) valdiklis vykdyti baterijos įkrovimą. Čia patenka:

- 1) buitiniai krovikliai jungiami tiesiai į namuose esančią rozetę (Mode 1). Naudojama iki 16A srovė ir jungiamasi į 110V tinklą. Taigi iš esmės visi JAV kraunami elektromobiliai naudojantys gamyklinį laidą iš savo bagažinės ir bus Mode 1. Priklausomai nuo tiekiamos galios (pvz. 3kW) ir baterijos (pvz. 24kWh) pilnas pakrovimas užtruks apie 11 valandų;
- 2) buitiniai krovikliai jungiami tiesiai į namuose esančią rozetę (Mode 2) bet jungiamasi į 230V tinklą. Čia jau patenka visi Europiniai buitiniai krovikliai (pvz. 3kW) kurie bateriją (pvz. 24kWh) pilnai pakraus per maždaug 6 valandas;
- 3) įkrovimo stotelė (Mode 3) su daugiau nei 3kW ir iki 22kW įrengta galia (paprastai kitas žingsnis yra apie 7 kW) ir jungiama į 230V vienfazį arba 400V vienfazį ar trifazį tinklą. Tokiu būdu pavyzdžiui 7kW galia, 24kWh talpos bateriją pilnai pakrauti galima per maždaug 3 valandas;

Naudojant nuolatinę srovę (DC) elektromobilis bus kraunamas greituoju krovimo būdu (<0.5h). Paprastai automobilio valdiklis apeinamas, baterija kraunama tiesiogiai, naudojant krovimo stotelės valdiklį (Mode 4). Čia galima smulkiau išskirti tokius standartus:

CHAdEMO – stambiausių japoniškų automobilių gamintojų (Nissan, Mitsubishi, Subaru) ir elektros pramonės dalyvių yra aktyviai siūlomas kaip globalus krovimo etalonas. Tokio tipo stotelėje krovimo galia gali siekti iki 62.5kW, tačiau jau 2017 metais buvo pradedamas 150kW protokolo diegimas, o perspektyvoje svarstoma galimybė naudoti iki 350kW galią. Japonijoje CHAdEMO stotelių jau įrengta 7000, Europoje 4000, o JAV apie 2000. Tokias jungtis turi kai kurie Nissan, Citroen, Mazda, Honda elektromobiliai o naudojant adapterį galima pakrauti ir Tesla[17].

CCS (Combo Charging System) – naudojamas BMW, Volkswagen, GM ir kitų gamintojų. Kaip pavadinimas ir sako, tai yra kombinuotas kroviklis, naudojantis arba AC arba DC sroves, sukurtas lėto AC kroviklio pagrindu pridėjus du kontaktus greitam DC įkrovimui. Gali būti naudojama iki 200kW galia, o ateities perspektyvoje kalbama apie 350kW. Europoje tokių stotelių jau įrengta apie 2500, JAV apie 700. Lietuvoje tokie krovimo taškai kaip taisyklė įrengiami kartu su CHAdeMO, tiesiog turint atskirą jungtį [17].

Superkrovikliai (Supercharger) – Tesla kompanijos naudojamas standartas su naudojama galia iki 120kW (teoriškai įmanomas ir 145kW). JAV jau įrengta virš 400 tokių krovimo taškų, Europoje apie 200, Japonijoje ir Kinijoje apie 150. Artimiausi Lietuvai taškai yra Lenkijoje, bet Teslai pakrauti pas kaimynus važiuoti nereikia, tam pakanka susirasti Mennekes antgalį turinčią stotelę, kurių taip pat yra didžiuosiuose Lietuvos miestuose [17].

GB/T 20234 –Kinijoje naudojamas standartas teoriškai siekiantis apie 180kW.

2. ELEKTROMOBILIŲ POVEIKIS ELEKTROS TINKLAMS

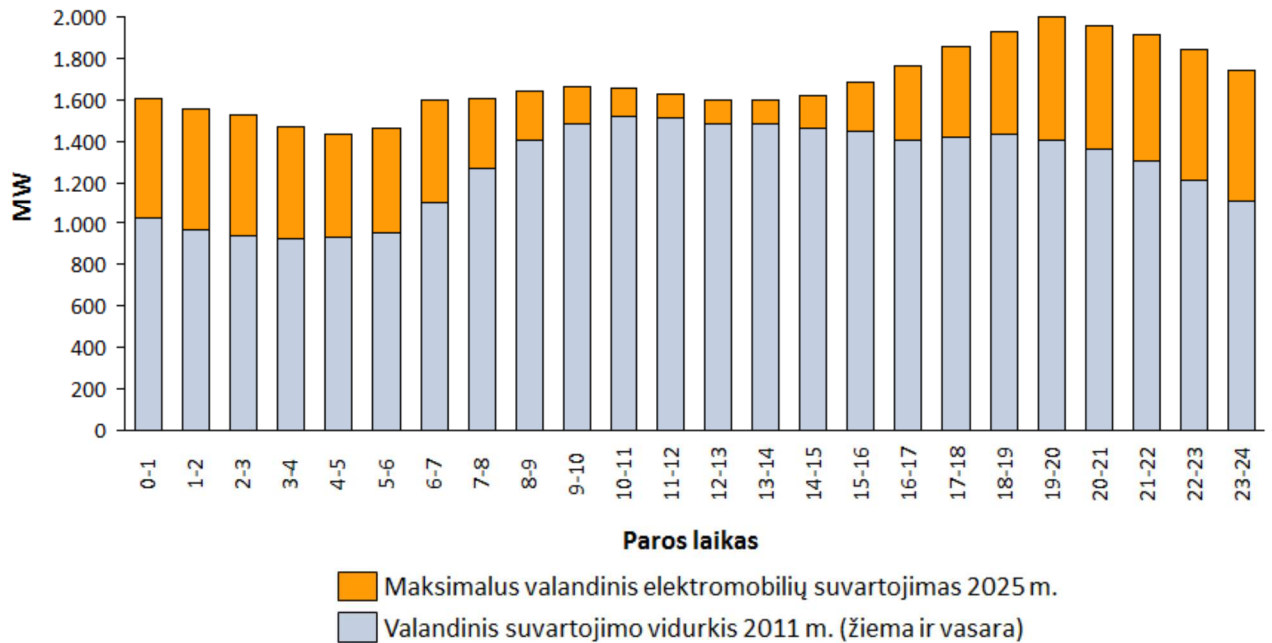
2.1. Elektros energijos apkrovos grafiko pokyčiai

Projektuojant elektros tinklą būtina žinoti įmonės, miesto, regiono elektros energijos vartojimo charakteristiką nustatytame laiko periode. Tokia charakteristika ir yra elektrinės apkrovos grafikas, kuris charakterizuoja elektros energijos sąnaudų kitimą bėgant laikui, išreikštą galios vienetais arba procentais nuo maksimalios galios [6].

Išanalizavus apkrovos grafikus, galima nesunkiai pastebėti elektros energijos suvartojimo dėsningumą, išryškėjusius pikus. Komunalinių-buitinių vartotojų apkrovos grafikų išskirtinė savybė – elektros energijos vartojimo netolygumas paros bėgyje. Gyvenamuosiuose namuose elektrinė apkrova maksimumą pasiekia nuo 19 iki 21 valandos. Rytinis apkrovos maksimumas paprastai būna žemesnis už vakarinį maksimumą ir sudaro 40-65 % maksimalios apkrovos priklausomai nuo naudojamų buitinių elektros imtuvų. Visuomeninės paskirties įstaigų apkrovos maksimumas pasiekiamas skirtingu laiku: maitinimo įstaigų – 11-12 val.; buitinio aptarnavimo įmonėse darbo dienos bėgyje apkrova kinta mažai. Ištiesą parą dirbančių vartotojų (vandentiekio, kanalizacijos, šilto vandens tiekimo įmonių) apkrovos grafikas netolygus. Didelėse parduotuvėse apkrovos maksimumas pasiekiamas pirmomis darbo valandomis, nes darbo pradžioje dažniausiai transportuojamos prekės, suintensyvėja parduotuvėse įrengtų šaldytuvų darbas [6].

Nors prognozuojama, kad elektromobiliai 2025 m. suvartos nedidelį kiekį elektros energijos lyginant su bendru suvartojimu Lietuvoje, tačiau papildomų problemų gali kilti tam tikrais specifiniais atvejais [1]. Prognozuojamas elektromobilių krovimo laikas sutampa su jau dabar problemas keliančiais vakariniais pikais. Be abejo, elektromobiliai bus kraunami bet kuriuo paros metu, bet jų krovimas vakarinio piko metu sukeltų daugiausia problemų. Padidėjus apkrovai, padidėja ir elektros tinklo apkrovimas, o kartu didėja ir nuostoliai. Prijungus elektromobilius krautis nekoordinuotai, apkrova žymiai išaugtų, kas dar labiau apsunkintų elektros energijos srautų valdymą bei prognozavimą. Piko metu dažnai neužtenka vietoje pagaminamos elektros energijos, ją tenka importuoti, o dėl to išauga ir jos kaina. Tuo tarpu krovimas naktį problemų neturėtų sukelti dėl mažo elektros energijos vartojimo šiuo paros metu.

2.1 pav. pateikiama maksimali elektromobilių krovimosi įtaka paros elektros energijos vartojimui pagal optimistiškiausią elektromobilių plėtros scenarijų, pateiktą Kompleksinės elektromobilių transporto plėtros galimybių studijos ataskaitoje.



2.1 pav. Prognozuojama maksimali elektromobilių krovimosi įtaka paros elektros energijos vartojimui 2025 metais [1].

Kaip matoma iš aukščiau pateikto paveikslo, pasiekus pirmą elektromobilių plėtros tikslą 2025 m. maksimali įtaka elektros tinklui, lyginant su 2011 m. duomenimis, būtų pakankamai didelė. Kad toks maksimalios įtakos tinklui scenarijus išsipildytų būtina, jog visi Lietuvos elektromobiliai būtų įjungti į elektros tinklą ir pilnai įkrauti per vieną ir tą pačią parą. Tačiau norint apsisaugoti nuo bereikalingos rizikos elektromobiliams plintant pagal pirmąjį tikslą, elektros skirstymo tinklą reikia paruošti maksimaliems elektros suvartojimo svyravimams.

2.2. Elektromobilių sukelti energijos srautai

Elektromobilių krovimas neatsiejamas nuo poveikio elektros tinklams. Yra du būdai, kaip elektromobilių krovimas gali paveikti elektros energetikos sistemą:

nekoordinuojamas/nekontroliuojamas krovimas – šiuo atveju nėra dedama jokių pastangų reguliuoti ar daryti kitokią įtaką krovimo laikui ir reikalaujamam energijos kiekiui. Vartotojai įjungia savo elektromobilius krauti tada kai nori ir gauna reikiamą energijos kiekį;

koordinuojamas krovimas: šiuo atveju krovimas yra valdomas, reikalingi įkainojimai ir aptarnaujantis personalas norint kiek įmanoma sumažinti galiai ir užtikrinti sistemos patikimumą. Tai reiškia, kad kontroliuojant elektromobilių krovimą, galima sumažinti nereikalingą skirstomųjų tinklų apkrovą;

Yra atlikta studijų, kuriose yra tiriama įtampos pokyčiai bei šiluminės apkrovos skirtinguose elektromobilių prisijungimo į tinklą taškuose [29]. Dėl nesubalansuotų skirstomojo tinklo parametrų darbuose analizuojama kiekviena tinklo fazė atskirai. Tyrimuose yra išskiriami du atvejai: pirmuoju atveju yra tiriama toliausiai esančio elektromobilio prisijungimas, antruoju atveju tiriama arčiausiai esančio elektromobilio prisijungimas. Rezultatai rodo, kad priklausomai nuo vietos ir elektromobilių prijungimo taškų, elektromobilių skaičius, kurie gali būti saugiai prijungti prie konkretaus tinklo, prieš įtampai nukrentant žemiau leistinos ribos, skirtumas gali svyruoti nuo 28% iki 42%. Daugelis atliktų kitų tyrimų rodo, kad skirstomasis tinklas gali būti stipriai veikiamas aukšto lygio PHEV įsiskverbimo juos kraunant [29]. Tai atsispindi stebint padidėjusią sistemos didžiausią apkrovą, nuostolius ir įtampos mažėjimą. Tyrimai rodo, kad šie vyksmai gali būti sušvelninti naudojant koordinuotą krovimą.

Koordinuotas krovimą apžvelgiančiose studijose siūloma kaip sumažinti energijos nuostolius ir padidinti apkrovos išsiskirstymą skirstomajame tinkle, kai elektromobiliai yra kraunami namuose. Optimalus krovimo modelis yra sukurtas kuo mažesniems krovimo nuostoliams. Kadangi tiksliai nuspėti namų ūkių apkrovas yra neįmanoma, darbe yra pasitelkiamas stochastinis programavimas. Analizuojamos dvi pagrindinės technologijos: kvadratiškasis ir dinamiškasis programavimas, kuris gali būti taikomas naudojant deterministinį ir stochastinį metodus. Apkrovos įvesties galimybės abiem atvejais suteikiamos kas valandą/kas dieną. Deterministiniu būdu apkrovos profiliai lieka statiški. Stochastiniu būdu apkrovos profiliai virsta tankio funkcija ir yra naudojama išgauti 2000 skirtingų apkrovos būdų. Abu būdai duoda panašius rezultatus. Siekiant nustatyti poveikį skirstomiejiems tinklams, bandymai atliekami dviem skirtingais būdais: koordinuotu krovimu ir nekoordinuotu krovimu. Skirstomojo tinklo nuostoliai nekoordinuoto krovimo metu yra aiškiai matomi, o koordinuoto krovimo metu poveikis skirstymo sistemai yra menkas. Darbe gaunama išvada, kad koordinuotas elektromobilių krovimas gali sumažinti nuostolius ir įtampos sumažėjimą išlyginant galią. Tačiau koordinuotas krovimas reikalauja papildomų išlaidų [30].

[31] pristato metodinius nurodymus elektromobilių baterijos krovimo apkrovai modeliuoti, leidžiant sudaryti skirstomųjų tinklų, skirtingais krovimo metodais, statistiką pradžioje krovimo ciklo ir stochastinį skirstymą įjungus ir išjungus kroviklius. Darbe tiriama elektromobilių pasikrovimo apkrovas skirstomuose tinkluose naudojant skirtingus metodus, t.y. nekontroliuojamas krovimas namų sąlygomis, nekontroliuojamas krovimas namų sąlygomis ne piko metu, išmanus krovimas namų sąlygomis ir nevaldomas viešas krovimas – vartotojai turi galimybę krauti automobilius darbo vietoje. Siūlomi sprendimai energijos skirstymo operatoriui

leistų įvertinti elektromobilio apkrovą tinklui krovimo metu, leistų atnaujinti tinklo struktūrą, kur tai atlikti yra būtina. Siūloma metodologija taip pat padėsianti pradėti masinį elektromobilių energijos kokybės gerinimą skirstomuosiuose tinkluose, taip pat palengvins tolesnius tyrimus, tiriant bendrą ir krovimo metu esančią apkrovą tinkle.

Elektromobilių poveikį skirstomiesiems tinklams iširti yra sukurtas modelis (PDCIM) kuris siūlomas [32]. PDCIM leidžia skirstomiesiems tinklams įvertinti didėjančio PHEV skaičiaus poveikį požeminiams kabeliams ir vidutinės įtampos pastočių transformatorinėms, taip pat žemos įtampos namų ūkių transformatorinėms. PDCIM atsitiktiniu būdu skirsto PHEV apkrovas per grandinę ir valandos tikslumu apskaičiuoja kiekvieno individualaus komponento profilius. Šie apkrovų profiliai yra naudojami skaičiuojant numatomą kiekvieno komponento tarnavimo trukmę modelyje. Remiantis gautais rezultatais, įmonėms lengviau pažymėti, kurių komponentų tarnavimo trukmė sumažėjo, kuriai reikia remonto, priežiūros ar keitimo. Tačiau PDCIM esantys PHEV yra kraunami tuo pačiu greičiu ir suvartoja tą patį kiekį energijos kiekviename kroviklyje. Tuo tarpu literatūroje [33] siūloma metodika, kaip atvaizduoti didesnę elektromobilių integraciją skirstomajame tinkle. Pirmiausia, kuriamas modelis, parodantis kasdienį elektromobilio veikimą. Tada apskaičiuojama galia, esanti įkrovimo ir iškrovimo metu. Veikiantis modelis atnaujina baterijos įkrovimo lygio duomenis kiekvieną kartą, kiekviename kasdieniame žingsnyje. Vėliau vyksta sudėtingas apkrovos kitimo, įtampos bei srovės skaičiavimas visuose tinklo mazguose bei atšakose. Atsiradus sistemos pažeidimams ar techninėms kliūtims, kraunant ar iškraunant elektromobilius, turi būti užtikrintas sistemos stabilumas. Šio metodo privalumas yra tas, kad modelis leidžia įvertinti sistemą stambiu mastu, bet kartu šis metodas turi iš trūkumų – neįvertintos skirtingos vidutinės ir žemos įtampos tinklų charakteristikos.

Iš skelbiamų rezultatų galima pastebėti, jog koordinuoto krovimo pritaikymas leidžia integruoti didesnę kiekį elektromobilių sistemoje be jokių didelių tinklo pakitimų bei investicijų. Šios įkrovimo schemos leidžia valdyti tinklus lengvesnėmis sąlygomis, t.y. sumažinus reikalaujamos energijos pikus, esant mažesniems energijos vartojimo pokyčiams paros bėgyje, mažesniems elektros nuostoliams ir t.t.

Tačiau, nors koordinuotas krovimas gali sumažinti padidėjusios apkrovos padarinius, tačiau reikėtų pasirūpinti ir antriniu sistemos “piku”. Kiti mokslinių tyrimų aspektai yra tokie pat svarbūs, kaip ir anksčiau minėtieji, tačiau yra retai aptariami, vertinant elektromobilių įtaką skirstomajam tinklui, kai sistemose atsiranda klaidų. Nagrinėtoje literatūroje [34] šis klausimas sprendžiamas, teigiant, kad labai svarbu yra suprasti pasekmes, kurias sukelia elektromobilių integracija į skirstomuosius tinklus. Remiantis baterijų parametrais, elektromobilių poveikis skirstomiesiems

tinklams yra analizuojamas kokybiniu tyrimo modeliu, kai tuo metu atsiranda gedimų perdavimo tinkluose. Modeliu gauti rezultatai rodo, kad didelis kiekis tinkle kraunamų elektromobilių gali padidinti srovę tinkle ir sugadinti sistemą.

2.3. Elektromobilių kaip elektros energijos kaupimo sistemų poveikis skirstomajam tinklui

Elektros tinklas nėra optimaliai išnaudojamas, dienomis jis būna perkrautas, o naktimis jo galimybės nėra pilnai išnaudojamos. Taigi, vienas iš šiuo metu labiau diskutuotinių elektros tinklo uždavinių yra išlyginti elektros energijos vartojimą laiko atžvilgiu, t.y. perstumti elektros energijos vartojimą laike į pigesnės energijos intervalus.

Šiam tikslui įgyvendinti puiki priemonė yra energijos kaupiklių integravimas tinkle. Panaudojant elektros energijos kaupiklius, didžiausios elektros suvartojimo metu, elektrą būtų galima naudoti iš kaupiklių, tuomet nereikėtų dirbti rezervinėms elektrinėms, o elektros tinklas būtų neperkrautas.

Išmaniųjų tinklų koncepcija ir elektros prekybos organizavimas turi teigiamos įtakos sprendžiant problemas susijusias su į elektros prekybos sistemą priimant atsinaujinančiųjų energijos šaltinių generuojamą elektros energiją. Šios energijos pagrindinis trūkumas yra jos ir vartotojų poreikių ne vienašališkumas. Išėjis – elektros kaupiklių integravimas prie paskirstytųjų generatorių. Daroma prielaida, kad kaupiklių suminė galia turėtų būti panaši į atsinaujinančiųjų energijos šaltinių, ypač vėjo elektrinių, galią. Atskirus kaupiklius galėtų turėti ir elektros tiekėjai. Tai jiems suteiktų konkurencingumą, nes jie turėtų galimybę supirkti pigesnę elektrą didesniais kiekiais iš anksto, o parduoti brangesnėmis kainomis piko metu [23].

Akivaizdu, kad didžiąją laiko dalį elektromobiliai dienos metu stovi vietoje, kas duoda galimybę juos išnaudoti kaip elektros energijos kaupiklius. Kaip talpos vienetai, kiekvienas automobilis gali teikti dalį savyje sukauptos energijos tinklui, didžiausios energijos paklausos metu, todėl papildoma priežiūra, pavyzdžiui, rezervo valdymas, dažnių kontrolė, apkrovos skirstymas ir perjungimas yra nebūtina [35]. Elektromobiliai turi galimybę naudoti atsinaujinančios energijos šaltinius, taip palengvindami jų įsiterpimą ir pagamintos elektros energijos kaupimą tinkle.

Elektromobilių, prijungtų prie tinklo ir galinčių gauti ir atiduoti atitinkamus elektros energijos kiekius skirstomajame tinkle koncepcija kitaip yra vadinama – automobilis tinkle (V2G).

Yra daug įvairių publikacijų, kuriose vertinama V2G technologijos nauda tinklo planavimui ir operacijoms [36], [37]. Taip yra dėl elektrocheminių baterijų įtraukimo energijai išgauti, kas suteikia didesnę lankstumą teikiant energiją elektros energetikos sistemoje.

Remiantis [38] ir [39] šaltiniais, kaupimo modelis yra sudarytas atliekant TCOPF (per tam tikrą laiką koordinuoto optimalus energijos kiekio formuluotė), kurio metu baterijos, įtrauktos į tinklą, paskirstomos skirtingiems laiko intervalams su tikslu sumažinti elektros energijos suvartojimą ir bendrą energijos nuostolių kiekį tinkle. TCOPF apskaičiuoja energijos kiekį krovimo ir iškrovimo metu PHEV sistemoje, remiantis energijos profiliu, numatyto skirstomojo tinklo operatoriaus. Pateikto modelio rezultatai teikia duomenis nustatydami galimus nuostolius, našumą ir didžiausią galimą paklausą.

Daroma išvada, kad V2G technologija, bandymų metu, teikia labai panašius rezultatus. Tai reiškia, kad mazguose, toli nuo laisvosios magistralės, V2G gali tam tikrais momentais sudaryti maksimalią paklausą. Taigi, energijos nuostolių mažinimas yra sudaromas sumažinant energijos perdavimą iš sąstinio į toliausius mazgus sistemoje, kai energijos paklausa yra didelė. Kitu atveju, yra prieinamos elektros energijos kaupimo sistemos arčiau tiekimo taško, ir tai neturi tiek daug įtakos kitiems mazgams.

2.4. Elektromobilių įtaka elektros energetikos sistemos stabilumui

Tam, kad ištirti elektromobilių poveikį skirstomųjų tinklų stabilumui, buvo pristatytas realaus laiko skaitmeninis modelis (RTDS), atliekantis elektromobilių baterijose sukauptos energijos perdavimą į skirstomuosius tinklus. Atlikus tyrimą išskirti du galimi atvejai, kai V2G valdymas gali turėti pačias sunkiausias pasekmes tinklo stabilumui [22]:

1. Dauguma transporto priemonių bando parduoti savo energiją, jei tinklas siūlo pakankamai gerą kainą, tam, kad padidinti savo pelną.

2. Kaina yra žema, dauguma automobilių bandys pasikrauti savo elektromobilių baterijas kiek galima daugiau.

Tam, kad išlaikyti stabilumą, naudojami paprasti ir efektyvūs plataus profilio valdikliai. Pastebima, kad tinkamai sureguliuoti iškrovimo/įkrovimo vadikliai gali panaikinti virpesius, sukeltus staigiai perjungus krovimo ir iškrovimo režimus. Ateityje ši sritis galės koncentruotis tiek makro, tiek mikro lygio valdymo sferoje. Mikro lygiu galima tirti pereinamųjų procesų poveikį ir tinklo gedimus. Tai galų gale veda prie saugumo aspektų elektromobiliuose. Makro lygiu valdiklių plėtra sukurs galimybę veiksmus atlikti internetu, atsižvelgiant į trikdžius ir laiko atsilikimą dėl nuotolinio signalo.

2.5. Elektros energijos nuostolių padidėjimas tinkle

Perduodant elektros energiją vartotojams galios nuostoliai susidaro transformatoriuose ir elektros linijose. Žemiau pateikiamos formulės pagal kurias apskaičiuojami elektros energijos nuostoliai transformatoriuose ir tinkle [7].

Galios nuostoliai transformatoriuose apskaičiuojami pagal (2.1) ir (2.2) formules.

$$\Delta P_T = \frac{P_{ap}^2 + Q_{ap}^2}{U_L^2} \cdot R_T + \Delta P_O; \quad (2.1)$$

$$\Delta Q_T = \frac{P_{ap}^2 + Q_{ap}^2}{U_L^2} \cdot X_T + \Delta Q_O; \quad (2.2)$$

Galios nuostoliai linijose apskaičiuojami pagal (2.3) ir (2.4) formules.

$$\Delta P_L = \frac{P_{ap}^2 + Q_{ap}^2}{U_L^2} \cdot R_L; \quad (2.3)$$

$$\Delta Q_L = \frac{P_{ap}^2 + Q_{ap}^2}{U_L^2} \cdot X_L; \quad (2.4)$$

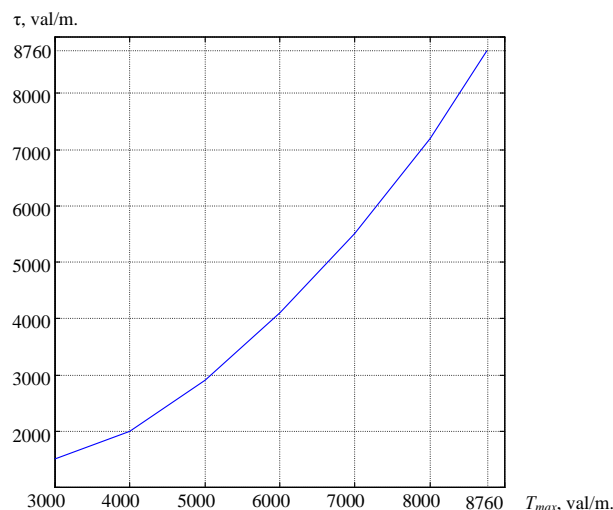
Čia: R, X – aktyvioji ir reaktyvioji linijos arba transformatoriaus varžos, Ω ;

P_{ap}, Q_{ap} – aktyvioji ir reaktyvioji linijos arba transformatoriaus galia, W ;

$\Delta P_O, \Delta Q_O$ – aktyviosios ir reaktyviosios galios nuostoliai, sukelti tuščiosios veikos, W ;

Metiniai energijos nuostoliai W_L linijoje nustatomi žinant tinklo maksimalius aktyviosios galios nuostolius ΔP_L ir šių nuostolių trukmės τ priklausomybę nuo maksimalios apkrovos trukmės T_{max} (2.2 pav.) [2].

$$W_L = \Delta P_L \cdot \tau; \quad (2.5)$$



2.2 pav. Maksimalių aktyviosios galios nuostolių trukmės τ priklausomybė nuo maksimalios apkrovos trukmės T_{max}

Kaip matome iš aukščiau pateiktų formulių, elektros energijos nuostoliai priklauso nuo perduodamos aktyviosios galios, taigi nesunku suprasti, kad prie tinklo prijungus krauti atitinkamą kiekį elektromobilių, dėl padidėjusios elektros energijos paklausos, tinkle ženkliai padidės elektros energijos nuostoliai.

2.6. Harmonikų skaičiaus tinkle padidėjimas

Baterijų įkroviklis – tai pagrindinė jungtis tarp elektromobilio ir tinklo. Šis prietaisas reikalingas elektromobiliui krovimo metu, bet kartu dėl savo netiesinio pobūdžio galintis sukelti žalingą harmonikų poveikį skirstomiesiems elektros tinklams. Ypatingai svarbu į tai atkreipti dėmesį, kai prie tinklo yra jungiamas ne vienas ir ne keli elektromobiliai. Tinkle veikiant nemažam kiekiui baterijų įkroviklių, jų poveikis taptų nesunkiai pastebimas.

Atsiradusioms tinkle harmonikoms įvertinti yra naudojamas dydis, parodantis suminių harmonikų iškraipymą (Total Harmonic Distortion (THDi)). Ant krovimo įrenginių esantys indikatoriai pradžioje krovimo rodo, kad THD paprastai būna tarp 2,36% ir 5,26%, bet krovimo pabaigoje šis dydis gali pakilti net iki 28% [18]. Nors ir kai kurie tyrimai rodo, kad THD rodmenys visgi yra mažesni, nuo 1 iki 2%, bet tai galioja esant galios koeficientui netoli vieneto [19]. Bet visgi reikėtų atkreipti dėmesį, kad apkrovos padidėjimas sukelia galios faktoriaus sumažėjimą, ir jo vertė nutolsta nuo vieneto. Taigi, nors ir tyrimais paremta, kad suminis harmonikų iškraipymas yra leistinų verčių, bet nėra aišku, kokie rodmenys ir pasekmės būtų sujungus daug kroviklių vienu metu [20].

Harmonikų atsiradimą sąlygoja nevienodai paskirstyta apkrova, kas sukelia fazių nesimetriją. Netiesiniai iškreipiai atsiranda dėl prijungtų apkrovų kai kurių elementų voltamperinių charakteristikų netiesiškumo. Tokių prijungiamų įrenginių tinkle kiekiui vis didėjant, kartu auga ir žemos įtampos tinklų užteršimo aukštesniosiomis harmonikomis problema. Tai vėliau ar anksčiau pasireiškia kiekvienoje šalyje, priklausomai nuo jų techninio išsivystymo lygio.

Kol tinklo įtampa mažesnė už energijos kaupiklio įtampą, iš tinklo į tokį maitinimo bloką srovė neteka. Kai įtampa tinkle tampa didesnė už kaupiklio įtampą, pradeda tekėti srovė, užkraunanti akumuliatorių, kurią riboja tik tinklo ir filtro elementų varžos. Tokiu būdu, kiekvieną pusperiodį teka tik siauri srovės impulsai ir srovės spektre atsiranda daug aukštesniųjų harmonikų. Kadangi tinklo varža baigtinė, susidaro įtampos kritimai, ir praktiškai sinusinė generatoriaus sukurta įtampa moduliuojama aukštesniosiomis harmonikomis. Tokiu būdu, aukštesniosios įtampos harmonikos pasklinda aplink vartotoją, kurio apkrova netiesinė, tarsi tinklo tarša,

sąlygojanti papildomus nuostolius ir tiems vartotojams, kurių apkrova aukštesniųjų harmonikų negeneruoja. Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklėse nurodoma, kad visa atsakomybė už netiesinius įtampos iškreipius tenka vartotojams [21].

3. ELEKTROS KAINOS ĮTAKA ELEKTROS APKROVOS GRAFIKUI

3.1. Elektros biržos įtaka elektros kainoms

Nuo 2010 m. pradžios Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija nebenustato elektros energijos kainos, už kurią skirstomųjų tinklų įmonės privalo parduoti elektros energiją vartotojams, kurių leistinoji vartoti galia viršija nustatytąją. Šis procesas buvo įgyvendinamas tam tikrais žingsniais. Elektros energetikos įstatyme buvo nurodoma, kad nuo 2010 m. sausio 1 d. elektros energijos kainos nereguliuojamos vartotojams, kurių leistinoji vartoti galia viršija 400 kW, nuo 2011 m. sausio 1 d. – vartotojams, kurių leistinoji vartoti galia viršija 100 kW, o nuo 2012 m. sausio 1 d. – vartotojams, kurių leistinoji vartoti galia viršija 30 kW. Vartotojai yra skatinami pasirinkti nepriklausomus tiekėjus, kurie tiekų elektros energiją konkurencingomis kainomis [23].

Elektra yra ypatingas produktas, kurio savybės lemia ir elektros rinkos organizavimo specifiką, kadangi elektros negalima sandėliuoti, ji tuo pačiu metu turi būti ir gaminama, ir suvartojama. Tai reiškia, kad tuo metu, kai įjungiamas elektros prietaisas prie tinklo ir naudoja elektros energiją, lygiai tiek pat elektrinėse turi būti pagaminta elektros energijos[23].

3.2. Elektros vartojimo perstūmimo laike į pigesnės elektros energijos intervalus galimybės

Yra du dalykai, kurie keičia vartotojų požiūrį į elektros energijos vartojimą. Vienas iš jų tai vis didesnis dėmesys skiriamas aplinkai ir ypač energijos vartojimo įtakai jai. Kitas – vis augančios energijos kainos, kas priverčia ieškoti kitokių, taupesnių energijos vartojimo būdų. Abu šie reiškiniai ir keičia žmonių energijos vartojimo įpročius. Tačiau tai vyksta lėtai, nes žmonių energijos vartojimo įpročiai jau yra susiformavę ir juos keisti sunku.

Laiko atžvilgiu elektros energijos kaina nuolat kinta. Diena, kuomet būna didžiausias elektros energijos poreikis, į darbą įsijungia rezervinės elektrinės, smarkiai apkraunamas elektros energijos perdavimo ir paskirstymo tinklas, dėl ko didėja nuostoliai. Naktį atvirkščiai, elektros energijos poreikis nėra didelis lyginant su diena, elektrinės dirba nepilnu pajėgumu. Elektros perdavimo ir paskirstymo tinklas nėra maksimaliai išnaudojamas.

Dėl šių priežasčių skiriasi ir elektros energijos gamybos kaina.

3.3. Dinaminės elektros energijos tiekimo kainos formos

Kaina yra vienas iš pagrindinių komponentų, apibūdinančių mažmeninės prekybos pasiūlymą (be atsiskaitymo pasirinkčių, klientų aptarnavimo formos ir lygio, elektros rūšies ir kt.). Kainų pasiūlymų įvairovė leidžia klientams rinktis maksimaliai jiems labiausiai tinkančius pasiūlymus. Skirstomųjų tinklų operatorius turėtų galėti pasiūlyti savo klientams įvairius kainoraščius, leidžiančius jiems pasirinkti optimaliai sau tinkančius pasiūlymus, atsižvelgiant į savo poreikių nepastovumą, atitinkančią jų lankstumo potencialą ir rizikos išvengimą. Tokie produktai gali apimti fiksuotas kainas pasiūlymus ir skirtingas dinamines kainas.

Fiksuoto dydžio pasiūlymu nustatoma fiksuota energijos komponento kaina tam tikrą laiką, nepriklausomai nuo rinkos kainos pokyčių. Tokie pasiūlymai dažnai indeksuojami pagal vidutinę didmeninę rinkos kainą arba išankstinę kainą. Vartotojai moka už elektros energiją sutartyje numatytą kainą. Elektros kainos svyravimai rinkoje jų elektros kainai įtakos neturi. Toks pasiūlymas vartotojams leidžia iš anksto planuoti savo išlaidas elektros energijai. Faktiškai, fiksuoto dydžio sutartis yra populiariausios tarp namų ūkio vartotojų.

Dinaminė kaina atspindi mažmeninės elektros energijos kainos pokyčius, kurie, bent iš dalies, priklauso nuo didmeninių kainų nestabilumo. Įvairiu mastu jie susieja kainas su faktinėmis kainomis ar numatomu didmeninių kainų svyravimu. Konkurencingose rinkose ši ribinė kaina išreiškia elektros energijos gamybą, dinamiškais kainomis per trumpą laiką ir išankstinėmis kainomis ilgiems terminams. Kuo daugiau kainų ir kainų laikotarpių atitinka didmeninių rinkų kainų laikotarpius, kurios iš tikrųjų suteikia paskatą formuoti energijos vartojimo elgseną pagal dėsnį, kad kuo didėja didmeninės kainos, tuo labiau jos "dinamiškos". Dažniausiai pasitaikančios parinktys apžvelgiamos toliau.

Vartojimo laiko kainų nustatymas yra norma, kai kaina už kWh priklauso nuo laiko, kada sunaudojama elektros energija. Tai gali būti paprasta dienos ir nakties kaina arba, pvz., piko ir ne piko valandos, padalijančios dieną į keletą laiko tarpų. Tai taip pat gali būti sezoninė elektros kaina. Paprastai laikotarpiai ir kainos žinomi iš anksto, tačiau pasiūlymai, kuriuose yra dienos ir nakties intervalai gali pasikeisti, atsižvelgiant į dienos iš anksto sudarytą neatidėliotiną kainą. Kainos taip pat gali būti apibrėžiamos kaip vidutinės skirtingų laikotarpių kainos, pagal kurias nustatoma ateinančios dienos elektros kaina.

Kritiškos piko kainos - tai papildomas elektros kainos tarifas, pagal kurį elektros energijos kainos iš esmės skiriasi daugiausiai keletą dienų per metus, kai yra didžiausios didmeninės kainos, bet likusiomis dienomis kainos yra mažesnės nei vidutiniškos. Pavyzdžiui Prancūzijos Tempo

tarifas yra sutartis su fiksuota kaina per visus metus, išskyrus daugiausia 20 dienų su labai didelėmis kainomis. Apie šias didesnio elektros tarifo dienas klientams pranešama prieš dieną.

Realaus laiko kainos – kaina elektros biržoje tiesiogiai atsispindi galutinėse vartotojų sąskaitose. Realaus laiko kainos nustatymo metodą siūlo tiekėjai siekdami perleisti didmeninės rinkos kainos svyravimų riziką vartotojui ir taip užtikrinti sau pelną. Piko metu atsiradus patikimumo ir perkrovimo problemoms, kaina, nustatyta remiantis šiuo metodu, tampa puikiu apkrovų valdymo įrankiu. Kainos kitimas yra vertinamas bent kartą per valandą arba gali būti netgi dažniau, pvz. kas 15 minučių. Tokių pasiūlymų kaina yra sudaryta iš didmeninės elektros energijos kainos ir tiekėjų maržos.

3.4. Dinamiškų elektros energijos tiekimo kainų pavyzdžiai

Dinaminių kainų priėmimas ir paskata kurti lankstius pasiūlymams skiriasi dėl klientų poreikių, jų tipų, ar jie nori susidurti su didmeninės rinkos kainų nepastovumu ar pageidautų stabilių energijos kainų. Dinaminė kainodara, įskaitant realiuoju laiku taikomą kainų nustatymą, yra gana dažnai naudojama pramoniniams vartotojams. Kai kuriose šalyse namų ūkių vartotojams ir mažiems komerciniams klientams yra siūlomos supaprastintos vartojimo laiko kainų ir kritiškų piko kainų formos. Iki šiol dinamiškų kainų tarifai gyvenamųjų namų vartotojams yra siūlomi tik Šiaurės, Estijos ir Ispanijos elektros energijos rinkose.

Suomijoje vartotojai turi galimybę pasirinkti dinamines elektros energijos kainas. Praktiškai kainą lemia labai skaidriai grindžiama "Nord Pool" vietinė kaina už Suomijos kainų rinkoje esančią elektros energijos kainą. Elektros kaina susideda iš valandinės kainos, pardavimo operatoriaus maržos ir nustato mėnesinio fiksuoto mokesčio. Šiuo tarifu naudojasi maždaug 10% klientų (iš daugiau nei 3,4 milijono vartotojų, apie 340 000 klientų). Vartotojas duomenų bazėje gali patikrinti kiekvienos kitos dienos valandos kainą. Kainos yra skelbiamos pagal neatidėliotino laiko grafiką, taigi, ateinančioms dienoms maždaug apie 14 valandą kainos, už kitas 24 valandas, pradedant nuo vidurnakčio, yra "užrakinamos". Klientas moka už savo valandinį suvartojimą pagal tos valandos kainą. Tai reikalauja, kad kiekvienas klientas turėtų galimybę vykdyti elektros energijos suvartojimo apskaitą kiekvienos valandos bėgyje, bet Suomijoje dauguma vartotojų šią galimybę jau turi. Be to, kai kurie elektros energijos tarifų planai siūlo optimizuotą elektros kainą šildymo valandomis, remiantis faktiniais šildymo pajėgumais ir oro sąlygomis. Tai daro esamą šildymo sistemą išmanesnę ir padeda sutaupyti iki 15% šildymo sąnaudų

Išmaniųjų skaitiklių įdiegimas Estijoje leido naudoti produktus, kurie yra glaudžiai susiję su didmenine elektros energijos rinka, įskaitant "kombinuotus pasiūlymus" ir vietoje sudarytus

"mainų" pasiūlymus. Vietinių tokių sutarčių skaičius per trejus metus išaugo daugiau nei dvigubai ir toliau auga. Šiuo metu galiojantys tokie pasiūlymai:

Kombinuotas pasiūlymas – 50 procentų paros laiko elektros kaina fiksuota, likusią paros dalį kintanti. Šiuo atveju elektros energijos kaina iš dalies priklauso nuo elektros energijos mainų kainų svyravimų; bet energijos mainų kainų pokyčiai turi minimalų poveikį vartotojų elektros energijos sąskaitai; jeigu vartotojai šiek tiek kontroliuoja savo ir valdo elektros energijos suvartojimą tam tikromis valandomis. Tokia sutartis yra terminuota, galima pasirinkti jos terminą 6 mėnesiams 12, 24, ar 36 mėnesiams.

Kintanti elektros kaina visą parą – elektros kaina priklauso nuo elektros energijos mainų kainos. Pasirinkus šį planą, elektros energijos mainų kainų svyravimai turi didelę įtaką vartotojų elektros energijos sąskaitai; todėl būtina sekti elektros kainos kitimą paros bėgyje ir pagal tai planuoti savo elektros energijos suvartojimą.

Norvegijos elektros rinkoje apie 65% (80 TWh / metus) elektros energijos yra parduodama pagal dinamišką kainodarą, pagrįsta neatidėliotomis kainomis su valandiniu matavimu. Tai daugiausia yra dėl to, kad pramoniniai klientai, naudojantys 100 000 kWh per metus ar daugiau, jau taiko neatidėliotą kainodarą su valandiniu matavimu. Planuojama, kad tokį elektros energijos apskaitymą ir kainodarą turės 2018 metų pabaigos turės visi Norvegijos namų ūkiai. Dinaminės kainos už namų ūkiai be pažangiųjų skaitiklių skaičiuojami pagal skirtingus modelius:

Ispanijoje mažų vartotojų savanoriškoji kaina įsigaliojo 2014 m. balandžio mėnesį. Ją gali sudaryti tik smulkūs vartotojai (sutartinė galia lygi arba mažesnė nei 10kW) per vadinamuosius "referencinius mažmenininkus". Tai yra numatytasis tarifas, kuriuo vartotojai gali atsisakyti ir užsisakyti kitą tiekėją ar sutarties struktūrą. Šiandien šis tarifas taikomas iš 25,7 milijono vartotojų maždaug 12,1 milijono klientų. Elektros kaina apskaičiuojama kiekvienai dienai ir valandai, susidedanti iš šių trijų komponentų: valandinės elektros energijos kainos didmeninėse rinkose, tinklo reguliavimo mokesčio ir nustatytos mažmeninės maržos. Visi klientai moka už sunaudotą energiją pagal valandinę neatidėliotą kainą ir balansavimo išlaidas. Taikomos valandos kainos remiantis paskelbtomis praėjusios dienos 8,15 val. kainomis, kurias pateikia perdavimo tinklo operatorius. Kalbant apie energijos komponentą, vartotojai, turintys išmaniuosius skaitiklius ir dinaminę elektros kainą, apmokestinami pagal jų kainą faktiniu suvartojimu per valandą. Klientai be išmaniųjų skaitiklių apmokestinami pagal vidutinę kainą negu faktinės valandos kainos. Šiuo metu išmaniosios apskaitos išplitimas yra apie 70% klientų ir iki 2018 metų pabaigos turėtų pasiekti 100%. Kalbant apie reguliuojamus elektros tarifus, klientai gali pasirinkti tarp trijų tarifų struktūrų tipų:

1. Bendra vienodo dydžio norma, t. y. kainų kitimo laikas yra vienintelė dėl vietos pokyčių kainos. Apskritai, elektros kainos paprastai skiriasi kiekvieną dieną, priklausomai nuo vietos kaina, bet dauguma metų naktį yra pigesnė.

2. Nakties laiko rodiklis: prieigos tarifas priklauso nuo laiko; piko (ryte) arba ne piko (ne naktis), kai žiemą ir vasarą skirtingi piko ir piko periodai.

3. Aukštojo slėnio norma: be penkių ir viršutinių prieigos tarifų, yra pigesnis laikas laikotarpis nuo 1 iki 7 val. vadinamas "super slėnis". Šis prieigos tarifas yra suprojektuotas EV įkrovimas

3.5. Dinaminių elektros energijos tiekimo kainų papuliarumas

Kaip jau buvo minėta, dinamiškos elektros energijos kainų sutartys, susijusios su didmenine rinka, yra tik kai kuriose ES šalyse. Buitiniams vartotojams sudaryti tokias sąlygas yra sudėtingiau, bet tikėtina, kad dinamiškos kainos, kaip antai realaus laiko kainų nustatymas, ateityje ir toliau plėsis, kad galėtų būti prieinama ir buitiniams vartotojams. Išmaniųjų skaitiklių įvedimas išspręstų ir dar vieną problemą susijusią su atsinaujinančiųjų energijos šaltinių pagamintos elektros energijos integracija į elektros energetikos sistemą. Siūloma dinamiška elektros kaina teiktų didžiulę naudą, susijusią su galimybe sumažinti elektros vartotojų sąskaitas už elektros energiją. Nepaisant to, yra keletas iššūkių kuriuos reikia įveikti, kad tokie pasiūlymai būtų prieinami ir pakankamai patrauklūs vartotojams:

- žinių apie riziką ir naudą trūkumas, problemos susijusios naudojimo patogumu: Vartotojai gali būti suinteresuoti dinamiška kaina, jei jie yra gerai informuoti ir jei naudojimosi schemos yra parengtos taip, kad būtų galima paprasta naudotis. Nesuteikus informacijos apie kainų nepastovumo lygį, t. y. nežinant, kada elektros energijos kaina yra padidėjusi, vartotojai gali susidurti su reikšmingu jų sąskaitų padidėjimu tam tikrus mėnesius. Pavyzdžiui tuo atveju, kai RTP tiesiogiai parodo neatidėliotinas kainas, klientai turėtų žinoti, kad jie vieną dieną galėtų sumokėti daugiau už savo elektros energiją nei už likusią dalį metų.
- per mažas kainų skirtumas, kuris motyvuotų vartotojus keisti savo vartojimo įpročius: pirma, kainos didmeninėje rinkoje gali būti nepakankamos ir nepastovios. Antra "Energetikos komponentas" sudaro tik vieną trečdalį vidutinių ES mažmeninės prekybos vartotojų " sąskaitų. Likę 2/3 sąskaitos yra reguliuojami mokesčiai, įskaitant tinklo išlaidas ir mokesčiai ir rinkliavos (politikos paramos išlaidos). Nuolat didėjanti mokesčių našta ir kita politikos išlaidos, kurias finansuoja elektros energija, pateikia klaidingus signalus, nes

tai sukuria paskatas pereiti prie kitų energijos rūšių, dekarbonizavimo tikslų sąskaita sumenkina dinaminių kainų naudą.

- Ribotos vartotojų galimybės koreguoti savo vartojimą. Šiaurės šalių patirtis gali būti lengvai perkeliama į visas ES rinkas, nes visų šalių besikeičiantis potencialas yra labai panašus dėl didelio vidutinio suvartojimo, ypač žiema. Tokiose šalyse kaip Prancūzija, kur įrengta didelė mažmeninės prekybos vartotojų dalis su elektriniu šildymu ir elektriniu vandens šildymu, pažangių skaitiklių diegimas leis kurti naujoviškas kainas, viršijančias esamus "ToU" ir "CPP" tarifus. Tai, kad daugumoje Europos šalių vartotojai moka reguliuojamus mokesčius, daugiausia remdamiesi jų paslaugomis sunaudojimas, t. y. kWh, nors išlaidos, kuriomis grindžiami šie mokesčiai, iš esmės yra nepriklausomai nuo sunaudoto kiekio, atgraso vartotojus investuoti elektros šildymo ir vėsinimo prietaisus, nes tai padeda didinti elektros energijos kainas vartotojams, kurie negali padengti dalies vartojimo, pvz., pačios kartos.
- Aukštos išmaniųjų namų įrangos kainos: Kai kurie bandomieji projektai parodė, kad vartotojai įsitraukia į rinką ir koreguoja savo veiklą jei jie gali naudotis pažangiomis informacijos ar energijos valdymo priemonėmis ir, kad galiausiai tik automatizuoti sprendimai bus įdomūs daugeliui klientų. Priešingu atveju, vartotojams susirasti dinamines kainas ir reaguoti į jas yra per daug sudėtinga ir nepatogu, kas įtakoja tik labai ribotus elgesio pokyčius. Nuolat tobulinama namų automatika, įskaitant išmaniuosius termostatus ir kitus išmaniuosius buitinius prietaisus, išmaniuosiuose namuose pagerintų vartotojų integraciją į elektros energijos poreikių valdymą, per daug nekeičiant jų pačių įpročių.. Naujausi tyrimai rodo, kad yra jau didelis vartotojų susidomėjimas integruojant savo namuose pažangius namų įrenginius, tačiau jie vis dar jų visiškai neįvertina. Kaina yra didžiausia kliūtis tokių prietaisų populiarėjimui. Tačiau kai kurie gamintojai jau siūlo produktus, kurie padeda vartotojams sumažinti išankstines pradines investicijas į aparatinę įrangą. Skirtingi finansiniai modeliai yra įmanoma, įskaitant susiejimą su kitomis paslaugomis arba lizingu.

Vis dėlto išmanieji skaitikliai plėtojami arba planuojami įvesti tik 14 ES valstybių narių. Išmaniųjų skaitiklių integravimas reikalauja papildomų išlaidų ir informacinių technologijų srityje, susijusių su duomenų surinkimu ir saugojimu bei atsiskaitymo procedūromis. Todėl taip pat reikėtų sukurti energijos valdymo sistemas integruotas su telemetrijos programine įranga, leidžiančia sudaryti kelis tarifus ir tarifų laikotarpius, koreguojant pagal skirtingas apkrovos kreives, nustatant piko periodus ir galimybę sumažinti vartojimą.

3.6. Palankesnių dinamiškoms kainoms taikyti sąlygų kūrimas

Kainų diferencijavimas gali būti svarbus konkurencinis pranašumas. Kai išmaniųjų skaitiklių naudojimas padarys pažangą, dinamiški kainų pasiūlymai vis labiau atsiras ir gali būti naudingi vartotojams, jei kainų signalai iš didmeninių rinkų būtų pakankamai stiprūs. Tuo pačiu metu, alternatyvūs mažmeninės prekybos pasiūlymai, panašūs į šiandieninius plačiajuosčio ryšio pasiūlymus, greičiausiai bus rodomi kaip dekarbonizuotos energijos gamybos dalis, ypač vėjo ir saulės, tai yra ypač populiarėjantis elektros energijos gamybos derinys. Mažmenininkai taip pat galėtų padėti įveikti vartotojų pasipriešinimą įsigyti išmaniuosius namų įrenginius, siūlydami individualius mokėjimo planus (pvz., įmokas) ir susietus paslaugų paketus.

Siekiant paskatinti dinamines kainas, būtina imtis šių priemonių siūlymų rinkoje ir jų įvedimo klientams:

- Pakankamas informacijos kiekio suteikimas. Vartotojai turėtų būti tinkamai informuojami apie dinamines galimybes ir riziką kainų sutartyse. Kadangi šios sutartys tampa įprastomis, vartotojų sąmoningumas ir mokymasis toliau didės, kai bus nuolat plečiamos jų žinios.
- Atverti duris naujovėms, mažiau reguliavimo: Liberalizuotos rinkos dalyviai turi laisvę kurti savo pasiūlymus, įskaitant laisvę spręsti, ar ir kaip pasiūlyti dinamines kainų nustatymo sutartis. Tačiau tam tikrų kainų pasiūlymų įpareigojimas prieštarauja idėjai konkurencingoms rinkoms su vertybiniais pasiūlymais, susijusiais su vartotojų pageidavimais. Įpareigojimai tiekėjams siūlyti konkrečias sutartis arba net versti, kad jos būtų sukurtos, reikštų rinkos reguliavimą. Jei tiekėjų atsargos tokiuose pasiūlymuose yra reguliuojamos ir nustatomos mažesnės už susijusią paslaugą, kaip ir Ispanijos VPSC tarifo atveju, tokios "reguliuojamos dinamiškos kainos" iš tikrųjų gali riboti konkurenciją, užkertant kelią klientams pereiti prie konkuruojančių pasiūlymų arba paskatinti klientus pereiti nuo konkurencinių pasiūlymų atgal į reguliuojamos kainos pasiūlymus. Be to, trūksta IT technologijų tiekėjų, kad būtų galima nustatyti tokias kainų struktūras (kainodaros modeliai, vartojimo duomenų tvarkymas, visų variantų sąskaitų faktūrų išrašymo procesai) o tai yra svarbi patekimo į rinką kliūtis, dėl kurios vartotojai gali padaryti daugiau žalos nei naudos, ypač jei nėra didelės paklausos tokiems pasiūlymams ar skaitiklio funkcijoms tik keletui klientų. Ne visi tiekėjai (ypač mažieji) turi tokia kaina jau sukurta. Jiems reikės kurti IT struktūras, kurios būtų įtrauktos naujojo tipo pasiūlymus į jų produktų paketą.
- Geresnės kainodaros paskatos didinti potencialias santaupas: Reikėtų numatyti tinkamas kainų skatinimo priemones investicijoms į vartotojų šildymo, aušinimo ir transportavimo elektrifikavimą, taip pat vartojimo sprendimus. Šios paskatos turėtų apimti ne tik

mažmeninių kainų reformą, apskritai daugiausia dėmesio skiriant tam, kad energijos sąskaitos dalis būtų dinamiškesnė. Mažmenininkai bus suinteresuoti sustiprinti kainų signalą (energiją ir tinklą) ir pateikti jį klientui paprastesniais būdais.

Mokesčių komponento mažinimas finansuojant politikos paramos išlaidas alternatyviu būdu reiškia, pavyzdžiui, mokesčių kreditus arba jų sąnaudų paskirstymą kitai degalų rūšiai: pavyzdžiui, Čekijos Respublikos RES politikos parama yra paskirstoma valstybės biudžetui (2015 m. - 36%) ir elektros mokesčių mokėtojams. Danijoje perkeliant viešųjų paslaugų įsipareigojimus (PSO) apmokestinamos elektros energijos sąskaitomis, kurios buvo naudojamos AEI finansuoti – šiandien, Danijos namų ūkių elektros energijos sąskaitą sudarantys apie 70% mokesčių / rinkliavų - vis dar atliekami bendru mokesčiu.

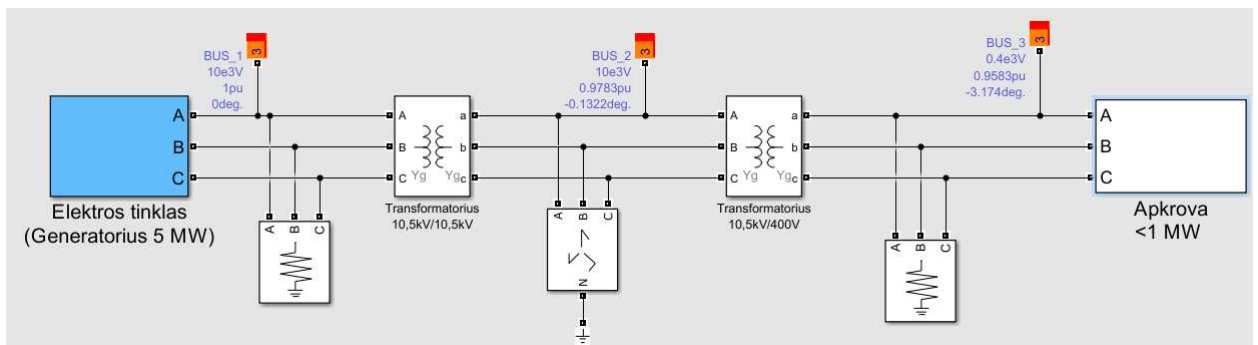
Teisė turėti išmanųjį skaitiklį: Direktyvoje reikalaujama, kad jei vartotojai nuspręstų taikyti dinamišką kainų nustatymo sistemą tačiau reikalingos sunaudotos energijos matavimo infrastruktūros nėra, jiems turėtų būti suteikta teisė į tokias paslaugos funkcijas. Tačiau jie turi žinoti apie matavimo reikalaujančias sąlygas, kurių gali prireikti padengti individualių išmaniųjų skaitiklių įrengimo išlaidas, kaip reikalaujama Elektros energijos direktyvoje. Siekiant suteikti teisę pasirinkti dinamines kainas pagal naudą vartotojams, teisės aktai turėtų aiškiai susieti su teise pasirinkti išmaniuosius skaitiklius. Tik tokiu būdu galima užtikrinti, kad yra sukurta reikiama infrastruktūra net tose šalyse, kuriose dar nėra planuojamas ar neužbaigtas išmaniųjų skaitiklių įvedimas.

4. ELEKTROMOBILIŲ ĮKROVIMO – IŠKROVIMO PROCESŲ TYRIMAS ELEKTROS TINKLE

4.1. Esama tinko situacija

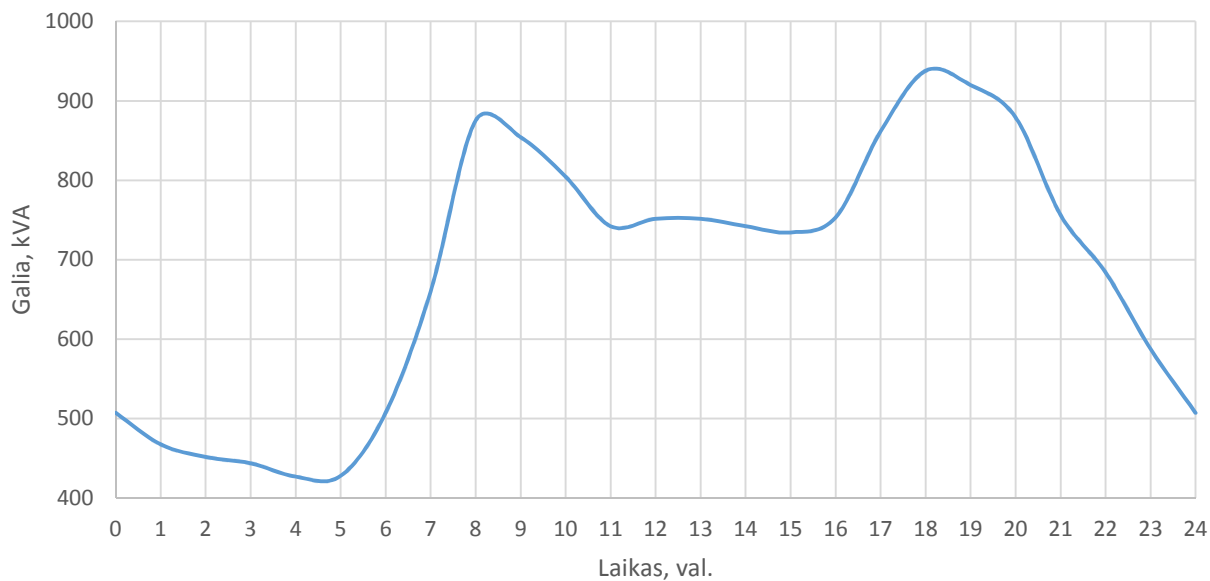
Tyrimas atliekamas remiantis realiais tinklo duomenis, gautais iš AB „Energijos skirstymo operatorius“. Modeliavimui pasirinkta viena elektros linija, kuri yra maitinama iš SP-205, per 10/0,4 kV 1 MVA galios transformatorių. Pasirinkta būtent ši Kauno miesto dalis, nes prie modeliuojamos linijos yra prijungta didelė įvairovė vartotojų – gyvenamųjų namų, verslo ir prekybos centrų, ugdymo ir gydymo įstaigų, todėl galimas elektromobilių krovimas ne tik vakare, vartotojams esant namuose, bet ir dienos metu. Tinklo modeliavimui atlikti naudojamas „Matlab/Simulink“ programų paketas.

4.1 paveikslėlyje pateikta supaprastinta esamos tinklo dalies modeliavimo schema. Esama maitinanti tinklo dalis modeliuojama kaip elektros energijos generatorius. Jo pagaminama energija yra susieta su apkrovos reikalaujama energija tam tikru laiko momentu. Visi prie šios linijos prijungti vartotojai modeliuojami kaip viena kintanti laike apkrova.



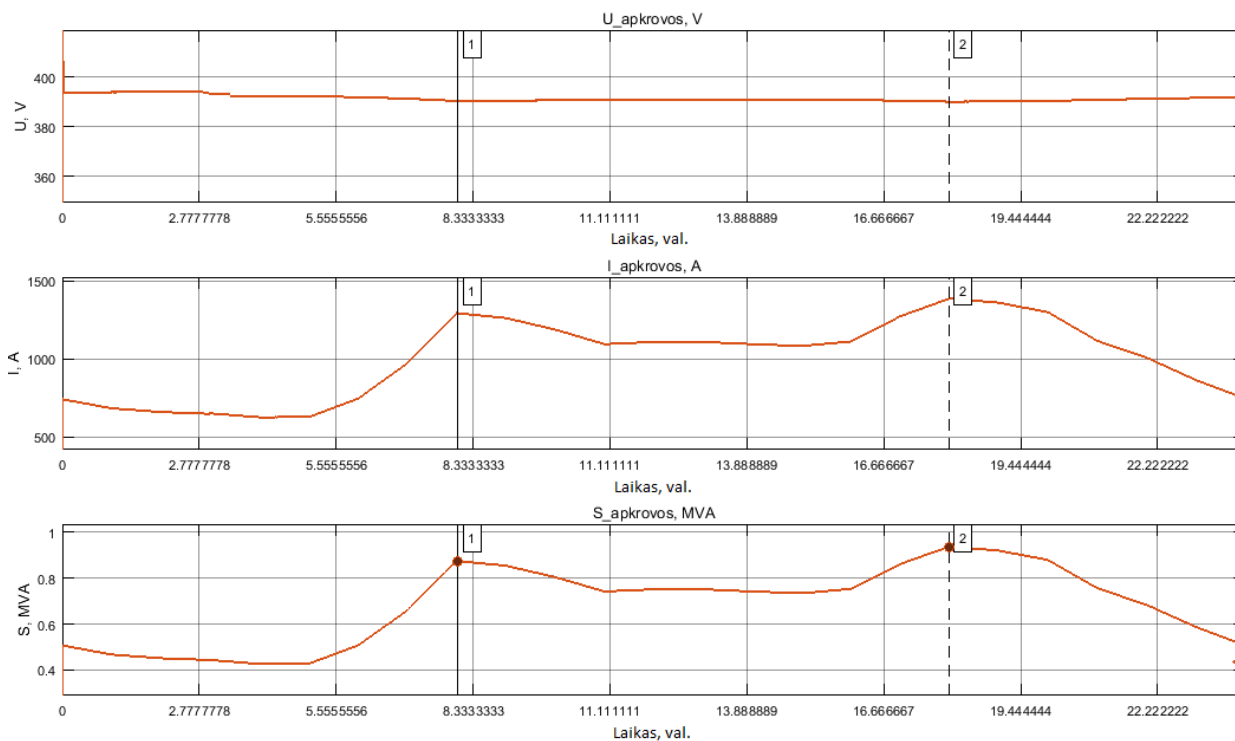
4.1 pav. Modeliuojama tinklo schema

Apkrovos kitimas laiko bėgyje yra užduodamas pagal realų šios linijos apkrovos grafiką (4.2 pav). Modeliuojamoje apkrovoje išryškėja du elektros energijos suvartojimo pikai ties 8 valanda ryto ir 18 valanda vakaro. Elektros energijos poreikis tuo metu yra atitinkamai lygus 0,875 MVA ir 0,938 MVA.



4.2 pav. Tiriamos linijos paros elektros apkrovos grafikas

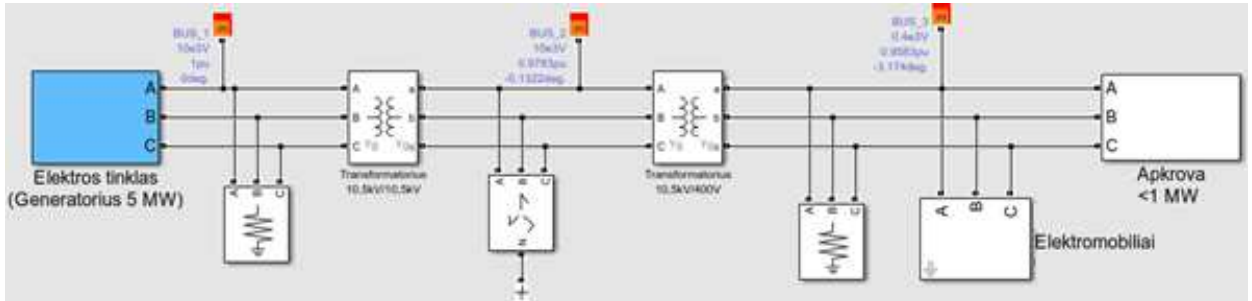
Sukūrus tinklo modelį, atliekami skaičiavimai ir atvaizduojami grafiškai. 4.3 paveikslėlyje matomas Matlab/Simulink gautas apkrovos galios kitimo laiko bėgyje grafikas. Kaip ir buvo nustatyta pradinėse sąlygose, maksimali elektros energijos paklausa yra ties 8 ir 18 valandomis. Įtampa paros bėgyje krinta nuo 396 V iki 388 V piko metu, srovė piko metu pakyla iki 1466 A.



4.3 pav. Modeliuojamos apkrovos įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje

4.2. Nekoordinuoto elektromobilių krovimo įtaka tinklo daliai

Sukurtą esamo tinklo modelį papildome elektromobiliais. Supaprastinta tinklo schema pateikiama 4.4 paveikslėlyje.



4.4 pav. Modeliuojama L-MT1354 iš Šilainių 110/10 kV TP schema papildyta elektromobiliais

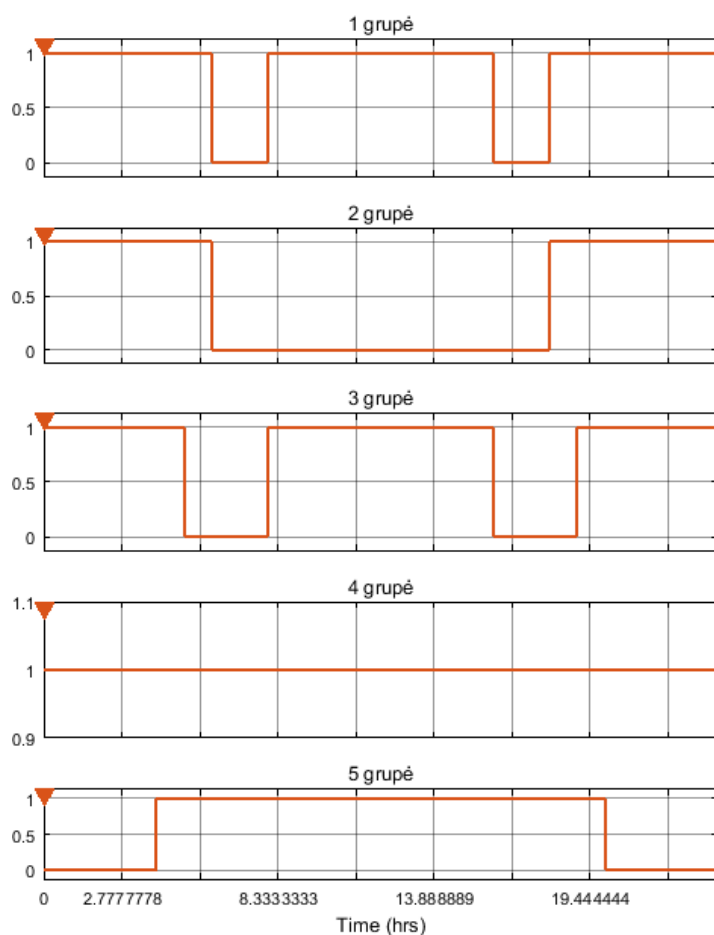
Prie apkrovos papildomai prijungiama 50 elektromobilių. Remiantis šiuo metu populiariausių elektromobilių Europoje vidutine baterijų talpa (1 lentelė), priimama, kad elektromobilių baterijos talpa yra 40 kWh. Modeliuojamas režimas, kurio metu, elektromobiliai bus kraunami vidutiniškai 7 kW galia.

Modeliuojama 50 elektromobilių apkrova nebus jungiama vienu metu. Norint atkartoti realius scenarijus, remiantis tiriamos linijos vartotojų sąrašu, elektromobiliai proporcingai suskirstomi į grupes, kurios ir apspręs elektromobilių elgseną.

Išskiriamos 5 elektromobilių vartotojų grupės:

- 1) vartotojai, kurie gyvena nelabai toli darbo ir turi galimybę darbo metu prijungti savo elektromobilio prie tinklo;
- 2) vartotojai, kurie gyvena nelabai toli darbo, bet neturi galimybės darbo metu prijungti savo elektromobilio prie tinklo;
- 3) vartotojai, kurie į darbą važiuoja ilgesnį atstumą ir turi galimybę darbo metu prijungti savo elektromobilio prie tinklo;
- 4) vartotojai, kurie visą dieną yra namuose;
- 5) vartotojai, kurie dirba naktinėje pamainoje ir neturi galimybės darbo metu prijungti savo elektromobilio prie tinklo;

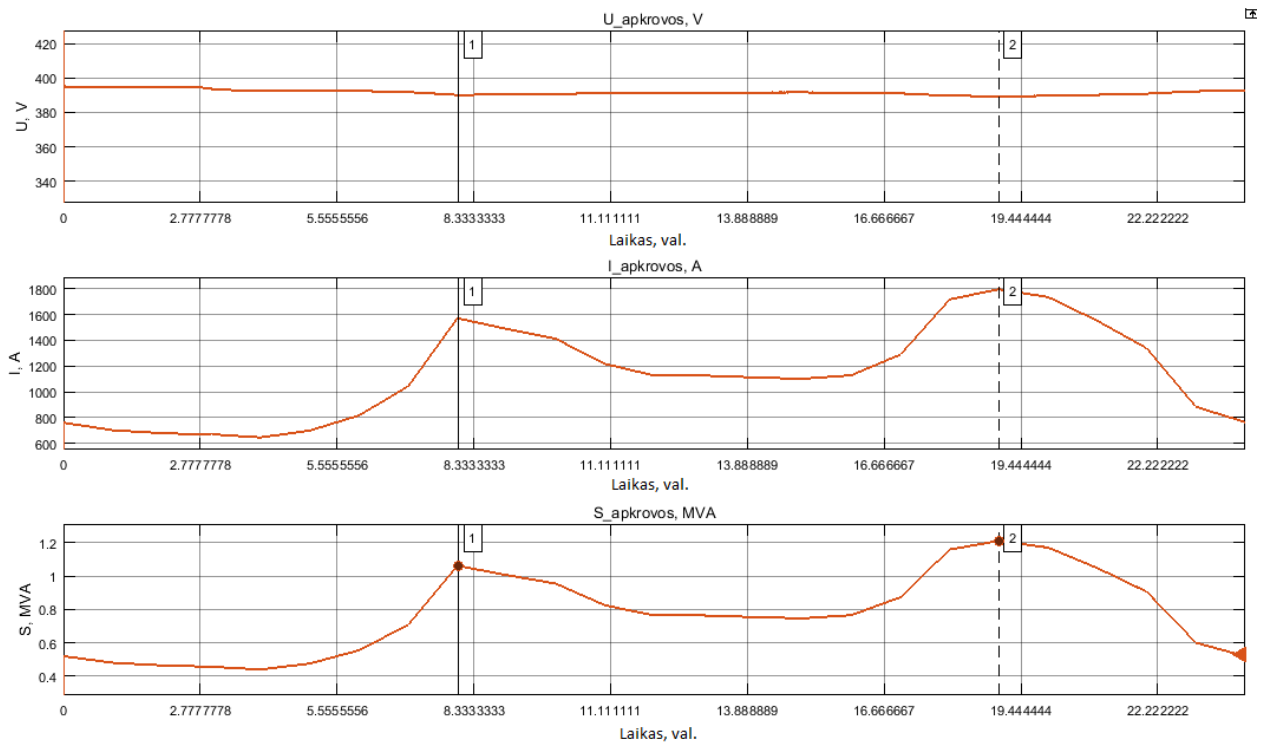
Kiekvienos vartotojų grupės elgseną nurodo kištuko būseną užduoda modelyje. Automobiliui esant kelyje, kištuko būseną nurodo 0, o kai automobilis prijungtas prie tinklo – 1. Kiekvienos vartotojų grupės elgsena laike pavaizduota 4.5 pav.



4.5 pav. Modeliuojamų elektromobilių būseną tinklo atžvilgiu paros bėgyje. 1 – elektromobilis prijungtas, 0 – elektromobilis atjungtas.

Priimama, kad elektromobiliai bus kraunami prijungus prie tinklo, t. y. vos tik grįžus namo, vartotojai automobilį prijungia krauti ir elektromobilio baterija yra iškart kraunama.

Modeliuojamos apkrovos įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimo paros bėgyje pokyčiai prijungus elektromobilius pavaizduoti 4.6 pav.



4.6 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje

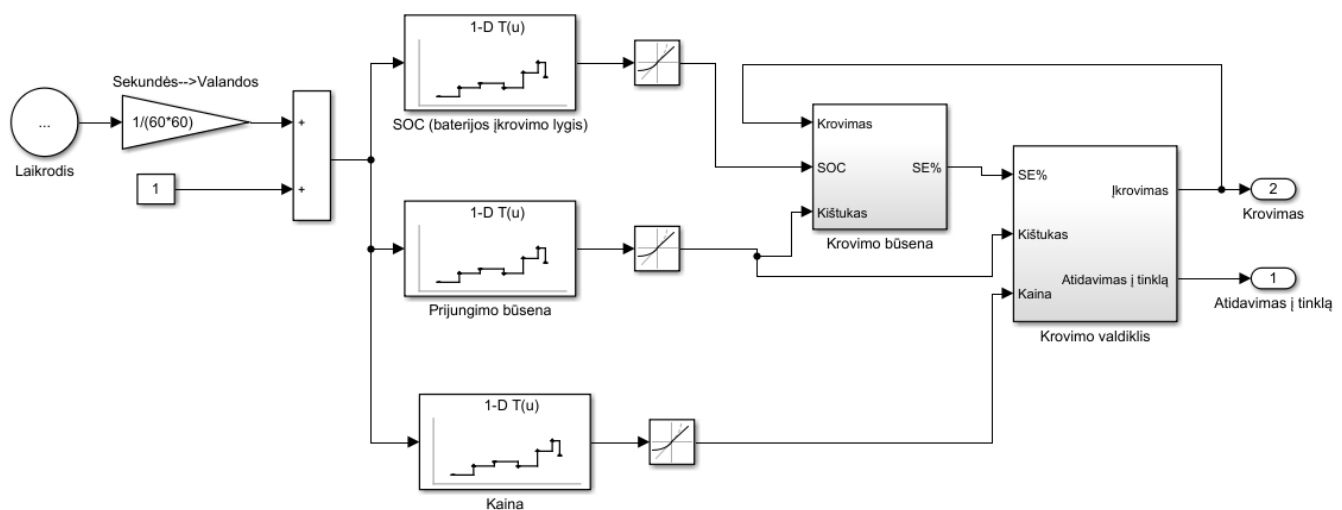
Modelį papildžius elektromobiliais ir atlikus paros laiko elektros tinklo simuliaciją, maksimalios elektros energijos paklausos taškai išlieka ties 8 valanda ryto ir 18 valanda vakaro. Prijungus papildomą 50 elektromobilių apkrovą, piko metu tiriamos linijos apkrova pakyla atitinkamai iki 1,061 MVA ir iki 1,212 MVA. Palyginus su maksimalia linijos apkrova be elektromobilių, piko metu energijos poreikis išauga 0,274 MVA, o tai yra beveik 30 procentų, tai reiškia, kad 30 procentų padidėja transformatoriaus apkrovimas. Abiejų pikų metu, elektros energijos suvartojimas pakyla virš 1 MVA, o tai reiškia, kad norint atlaikyti tokias apkrovas, esamas 1 MVA transformatorius turi būti keičiamas. Taip pat padidėja ir elektros linijų apkrovimas, lygiai tais pačiais 30 procentų padidėja ir elektros energijos bei įtampos nuostoliai. Remiantis dabartinių elektros tinklų amžiumi bei būkle, spėjama, kad dauguma linijų neturėtų tokio pralaidumo, o tai įtakotų masinių avarių virtinę.

Minimali elektros energijos paklausa yra tarp 3 ir 4 valandos nakties ir ji lygi 0,439 MVA. Įtampa paros bėgyje krinta nuo 396 V iki 385 V, srovė piko metu pakyla iki 1797 A.

4.3. Nekoordinuoto elektromobilių krovimo įtaka tinklo daliai

Esamas tinklo su elektromobiliais modelis koreguojamas įvedant papildomas elektromobilių krovimo sąlygas. Kadangi, darbo tikslas yra suvaldyti dėl elektromobilių krovimo išaugančius

elektros energijos apkrovos pikus, modeliuojamas elektromobilių krovimo valdymas pagal elektros kainą. Elektromobilių krovimas vyksta pagal 4.7 paveiksle pavaizduotą modelį.



4.7 pav. Elektromobilių koordinuoto krovimo logikos seka

Krovimo valdiklis gauna tris signalus: duomenis apie elektromobilio kištuko būseną, prijungto elektromobilio baterijos įkrovimo lygį bei rinkoje tuo metu esančią elektros kainą.

Blokas „Krovimo būseną“ perskaičiuoja kraunamos baterijos įkrovimo lygį pagal kištuko būseną (4.5 pav.) ir užsiduotą baterijos įkrovimo lygį (SOC). SOC yra dinamiškas dydis, besikeičiantis paros bėgyje ir priklausantis nuo vartotojų grupės, įvertinus kelyje iš/į darbą sunaudotą energijos kiekį.

Kištuko būseną užduodama tokia pati kaip ir aprašyta 4.2 skyrelyje, priklausomai nuo vartotojų grupės elgsenos paros bėgyje (4.5 pav.). Nuo šio dydžio priklauso ar vyks programoje skaičiavimai. Programa vykdo skaičiavimus tol, kol šis skaičius yra lygus 1. Jeigu šis dydis yra 0, skaičiavimų ciklas baigiamas, nes elektromobilis yra atjungtas nuo tinklo ir visi skaičiavimai netenka prasmės.

Blokas „Kaina“ yra formuojamas įvedant dinaminį elektros kainos kitimą paros bėgyje. Kadangi išryškėja du vartojimo pikai nuo 7 valandos ryto iki 14 valandos ir nuo 17 iki 23 valandos vakaro (4.6 pav.), ir po jų staigus galios poreikio kritimas, visiškai išbalansuojamas apkrovos tolygumas, dinaminis kainos kitimas įvedamas būtent šiomis valandomis.

Modelyje taip pat priimama, kad elektromobilių baterijose sukauptą elektros energiją galima atiduoti į tinklą. Atidavimas turėtų būti vykdomas elektros energijos vartojimo pikų metu.

Tam, kad vartotojai būtų motyvuoti parduoti savo elektromobilių baterijose sukauptą energiją į tinklą, jos kaina turi padengti pirkimo išlaidas bei atsiradusius energijos nuostolius dėl

baterijų įkrovimo – iškrovimo ciklo naudingumo koeficiento. Dažniausiai elektromobiliuose naudojamų ličio jonų baterijų naudingumo koeficientas priimamas $\eta_{ciklo} = 0,85$, [24].

4.1 formule pateikiama sąlyga, kuri turi galioti įvedant kainos korekciją:

$$\eta_{ciklo} \cdot kaina_{pardavimo} > kaina_{pirkimo}; \quad (4.1)$$

čia: $kaina_{pardavimo}$ – elektros energijos kilovatvalandės kaina, kurią elektromobilių savininkai gauna už elektromobilių baterijose sukauptą elektros energiją atiduodant ją į tinklą;

$kaina_{pirkimo}$ – elektros energijos kilovatvalandės kaina, kurią elektromobilių savininkai moka kraunant elektromobilių baterijas;

Išreiškiama proporcija pagal pardavimo kainą:

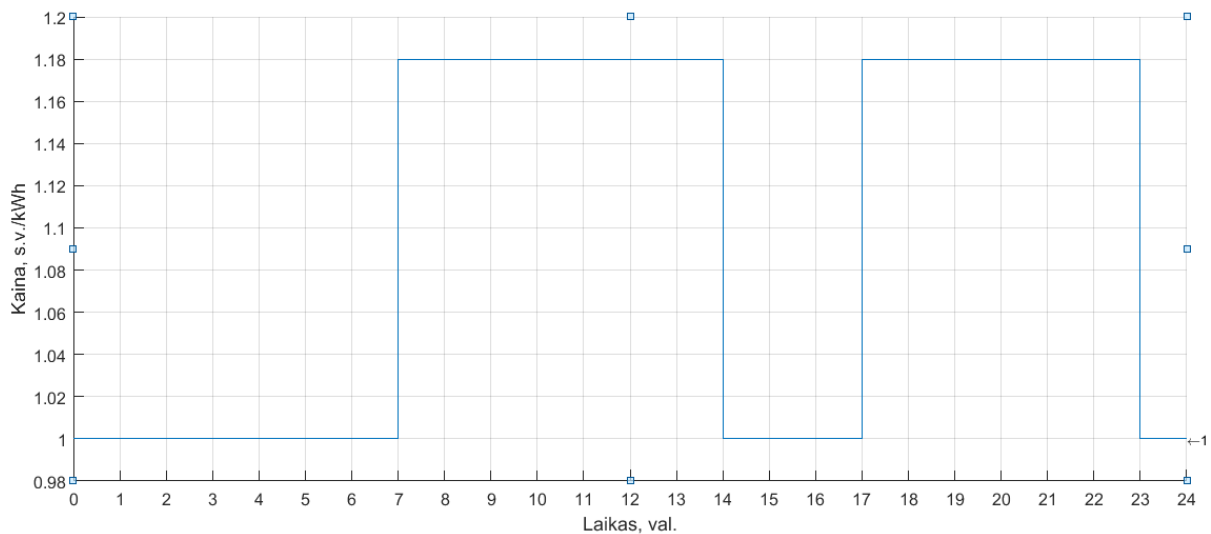
$$\frac{kaina_{pirkimo}}{\eta_{ciklo}} < kaina_{pardavimo}; \quad (4.2)$$

Kadangi atliekant tyrimą yra svarbu kaip kinta elektros kaina paroje, todėl elektros kainos vertės pateikiamos santykiniais vienetais. Priimant, kad elektros energija perkama iš tinklo už 1s.v./kWh, pagal 4.2 formulę apskaičiuojama minimali elektros kaina už kurią turėtų būti superkama elektra iš elektromobilių baterijų:

$$\frac{1s.v./kWh}{0,85} < 1,18 s.v./kWh; \quad (4.3)$$

Iš 4.3 formulėje pateiktos išraiškos daroma išvada, kad norint motyvuoti elektromobilių savininkus parduoti savo elektromobilių baterijose sukauptą energiją, pirkimo ir pardavimo kaina turėtų skirtis ne mažiau kaip 18 procentų.

Modeliui užduotos kainos kitimo paros bėgyje kreivė pavaizduota 4.8 pav.

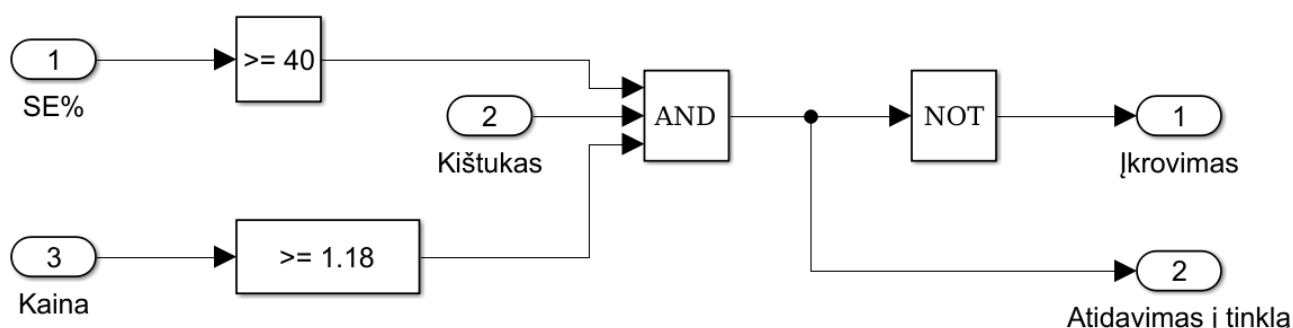


4.8 pav. Modeliuojamos elektros kainos kitimo paros bėgyje grafikas

Krovimo valdiklio logikos schema pateikta 4.9 paveiksle. Blokas „AND“ suformuoja teigiamą signalą ir elektromobiliuose sukauptą elektros energiją atiduoda į tinklą tuo atveju jeigu tenkinamos visos trys sąlygos:

- 1) Baterija yra įkrauta ne mažiau nei nustatytas minimalus baterijos įkrovos lygis, $SE\% \geq 40$ (4.4 formulė);
- 2) Elektromobilis yra prijungtas prie tinklo;
- 3) Elektros kaina tiriamu laiko momentu yra mažesnė nei valdiklyje nustatyta reikšmė, $kaina \geq 1,18$ s.v./kWh (4.3 formulė).

Jeigu nors viena iš išvardintų sąlygų yra netenkinama, blokas „AND“ formuoja neigiamą atsakymą ir elektromobilis yra kraunamas.



4.9 pav. Krovimo valdiklio veikimo logikos schema

Išanalizavus šiuo metu populiariausių elektromobilių maksimalų nuvažiuojamą atstumą su pilnai įkrauta baterija (1 lentelė), priimama, kad pilnai įkrautas elektromobilis gali nuvažiuoti 280 kilometrų. Atsiradus poreikiui skubiai naudotis automobiliu, baterija visuomet turi palaikyti reikiamą energijos kiekį. Priimama sąlyga, kad, remiantis vidutinio transporto priemonių nuvažiuojamu atstumu per dieną, bet kuriuo paros metu atjungtas nuo tinklo elektromobilis savyje turėtų tiek energijos, kad būtų galima nuvažiuoti 40km [26], [27]. Minimalus baterijos įkrovimo lygis priimamas remiantis ličio jonų baterijų išsikrovimo charakteristikomis. Norint, kad baterijų gyvavimo laikas būtų kuo ilgesnis, kad kuo mažiau jos nusidėvėtų, patariama įkrovimo – iškrovimo ciklo gylį palaikyti tarp 25-80% SOC [28].

SOC 25% atitinka 70 km, tai kilometrai, kurie neturėtų būti naudojami, pridėdame kilometrus, kuriuos būtų galima laisvai nuvažiuoti atjungus elektromobilį nuo tinklo bet kuriuo paros metu, šis dydis priimamas lygus 40km, taigi iš viso yra 110 km.

Pritaikius nesudėtingą proporciją, apskaičiuojamas būtinas minimalus baterijos įkrovimo lygis $SE\%_{min}$:

$$SE\%_{min} = \frac{110 \text{ km}}{280 \text{ km}} \cdot 100\% = 39,3\% \approx 40\%; \quad (4.4)$$

Papildžius tiriamą elektros tinklo modelį sąlygomis, kurios elektromobilių krovimą paverčia koordinuotu, atliekama tinklo simuliacija, kuri atspindi apkrovos kitimą paros bėgyje, prijungus prie tinklo 50 elektromobilių.

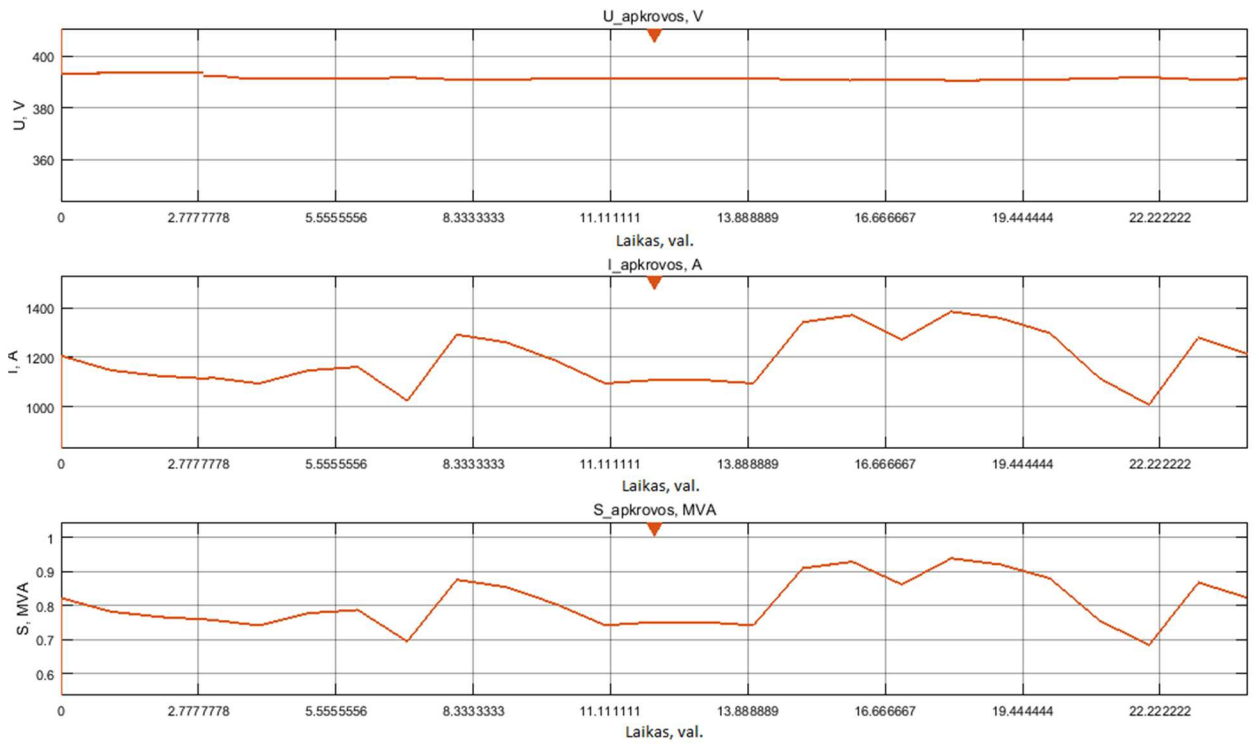
Iš gautų skaičiavimo rezultatų, kurie grafiškai pateikti 4.10 paveiksle matoma, kad modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių, suvartojamos energijos pikas ties 17 valanda išlieka, kaip ir modeliuotame tinkle be elektromobilių. Šiuo metu suvartojamos energijos kiekis siekia 0,938 MVA. Galime daryti prielaidą, kad išliko tik tas pats tinklo apkrovimas, kuris buvo ir prieš integruojant elektromobilius. Elektromobiliams šiuo metu krauti yra nepalanki kaina, dėl to, nors ir dalis jų prijungta prie tinklo, elektromobiliai nėra kraunami.

Taip pat gautų rezultatų grafike galima pastebėti dar vieną energijos suvartojimo piką ties 15 valanda. Šiuo metu energijos poreikis yra lygus 0,927 MVA.

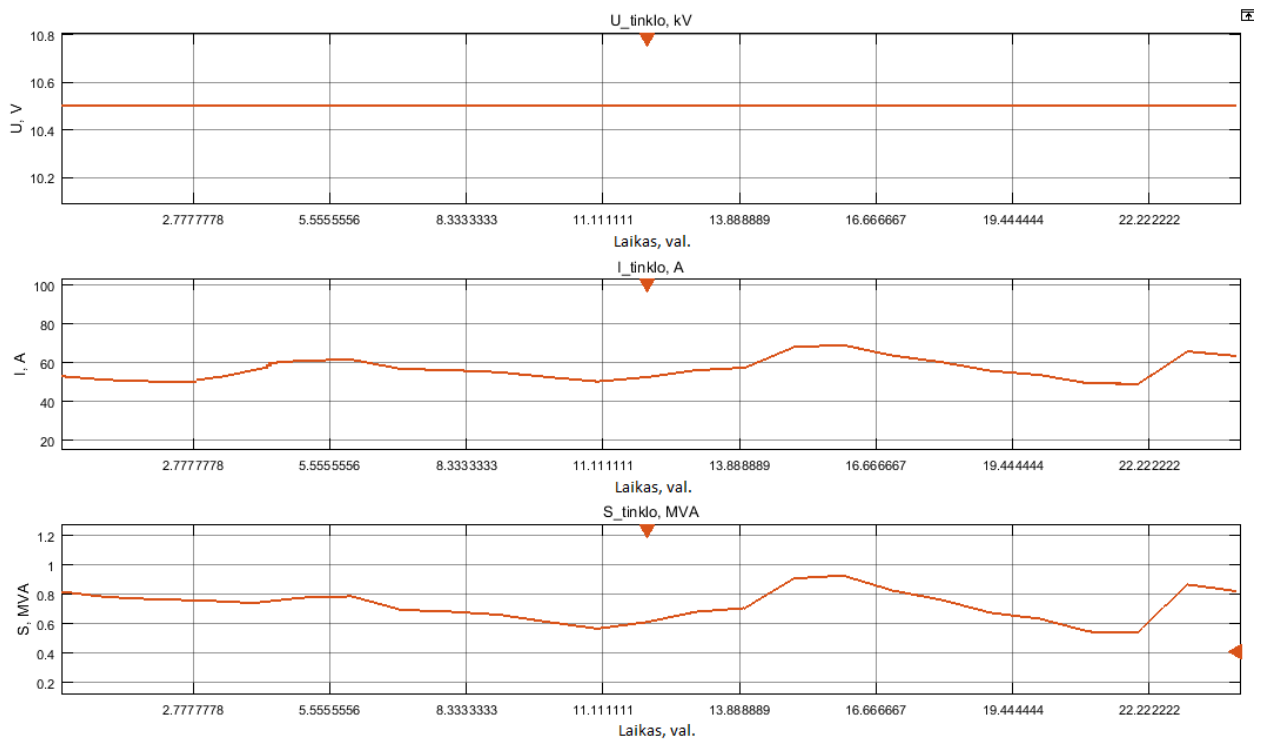
Minimali elektros energijos paklausa yra ties 5 valanda ryto ir ji lygi 0,698 MVA. Taip pat matomas ir dar vienas minimalus suvartojimas paroje ties 22 valanda. Šiuo metu energijos vartojimas nukrinta iki 0,687 MVA. Įtampa paros bėgyje krinta nuo 393 V iki 388 V, srovė piko metu pakyla iki 1386 A.

Elektromobilių galimybę atiduoti baterijose sukauptą elektros energiją į tinklą geriausia analizuoti atlikus matavimus 10 kV tinklo pusėje. Šių matavimų rezultatai pateikiami 4.11 paveiksle. Ties 14 valanda matome galios srauto piką, jis yra lygus 0,928 MVA.

Šiuo atveju apkrovos kreivė ir per 10/0,4 kV transformatorių tekantis energijos srautas skiriasi, taip yra dėl to, kad dalis energijos poreikio yra kompensuojama elektromobilių baterijose sukauptą energija, todėl sumažėja energijos srautas tekantis per transformatorių.



4.10 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje



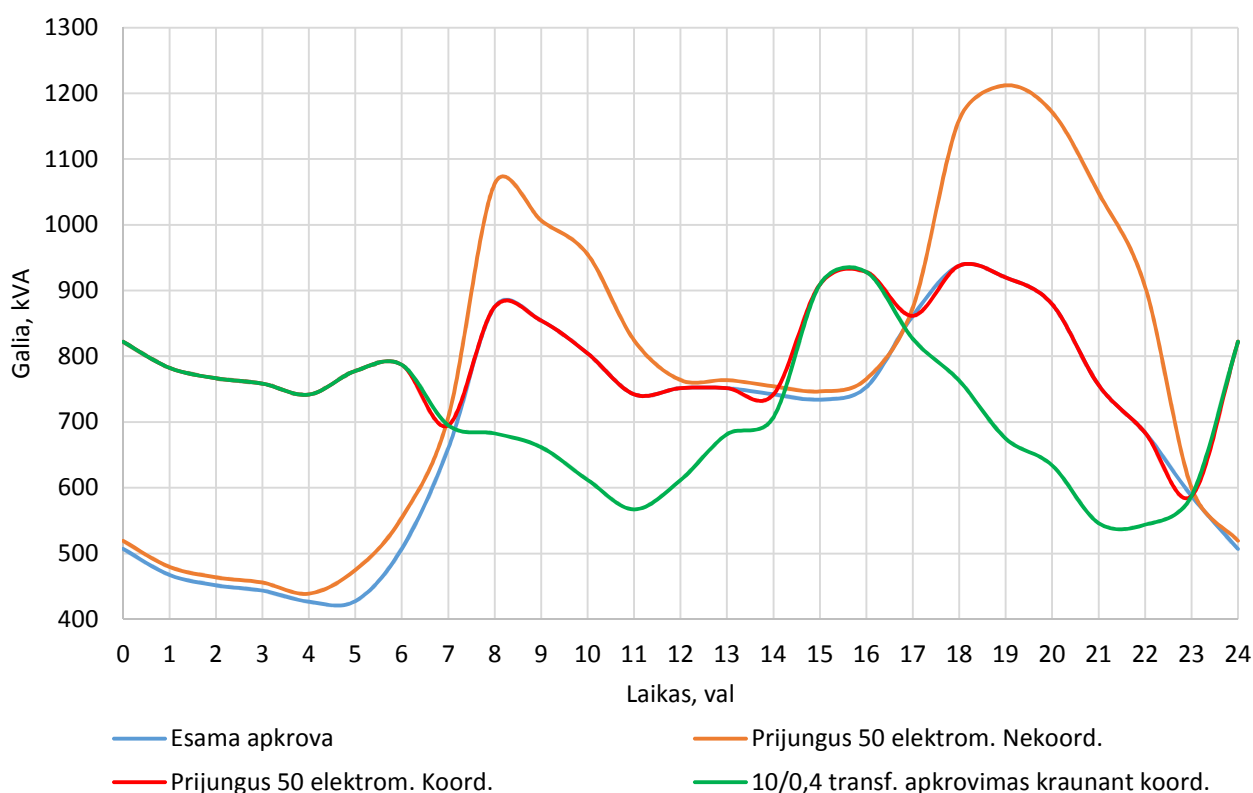
4.11 pav. Modeliuojamos apkrovos, prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių, įtampos, srovės ir suvartojamos galios kitimas paros bėgyje

5. TYRIMO REZULTATAI

Gauti tyrimo rezultatai grafiškai pateikiami 5.1 paveiksle. Tyrimo apibendrinimui ir analizei grafike pateikiamos 4 kreivės:

- 1) Esamos elektros apkrovos kreivė (mėlyna);
- 2) Elektros apkrovos kreivė prie linijos prijungus 50 elektromobilių, kurie kraunami nekoordinuoti (geltona);
- 3) Elektros apkrovos kreivė prie linijos prijungus 50 elektromobilių, kurie kraunami koordinuoti, bei turi galimybę sukauptą elektros energiją tiekti į tinklą (raudona);
- 4) Generatoriaus elektros energijos gamybos kreivė tinkle esant 50 elektromobilių, kurie kraunami koordinuoti, bei turi galimybę sukauptą elektros energiją tiekti į tinklą (žalia);

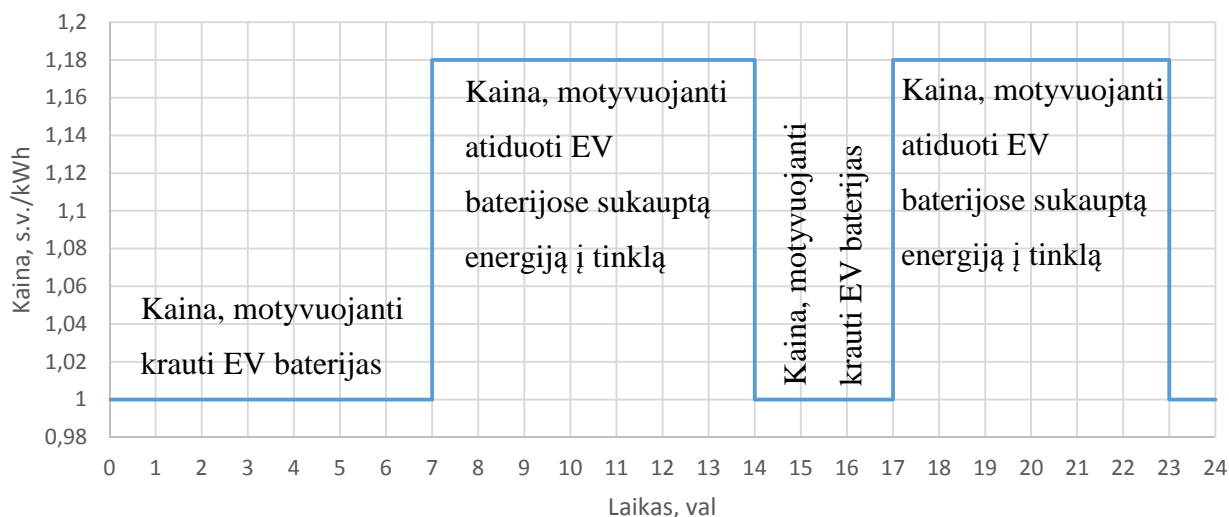
Nors rezultatai yra aprašomi 3 skirtingų tinklo simuliacijų, generatoriaus gamybos kreivė pateikiama tik vienu atveju, kai prie tinklo prijungti elektromobiliai turi galimybę sukauptą elektros energiją tiekti į tinklą, kitais atvejais generatoriaus gamybos kreivė atkartoja apkrovos poreikio kreives, todėl grafike pateikti nėra tikslinga.



5.1 pav. Atliktų elektros tinklo simuliacijų skirtingais tinklo režimais rezultatai

Prie tinklo prijungus 50 elektromobilių, kurie kraunami nekoordinuotai, matome, kad esantis elektros energijos suvartojimo pikas (mėlyna kreivė) ties 18 ir 19 valandomis išauga dar labiau (geltona kreivė), taip pat energijos suvartojimas išauga ir nuo 7 valandos ryto iki 12 valandos. Galime teigti, kad tokį elektros energijos poreikio padidėjimą sukelia prie tinklo prijungiami elektromobiliai. Kadangi, elektromobiliai yra kraunami nekoordinuotai, vartotojai, atvažiavę į darbą ir vakare grįžę namo savo automobilius iškart prijungia prie tinklo ir elektromobilių baterijos yra kraunamos. Pagal vartotojų per dieną išnaudotą energijos kiekį, vienos baterijos kraunamos trumpiau, kitos ilgiau, bet ties 23 valanda nakties matome ženklų energijos poreikio sumažėjimą, todėl galime daryti išvadą, kad visų šiuo metu prie tinklo prijungtų elektromobilių baterijos yra pilnai pakrautos ir elektros apkrovos kreivė susilygina su energijos poreikio kreive tinkle nesant elektromobilių. Nekoordinuoto krovimo atveju, esamos elektros apkrovos pikas išauga 0,274 MVA, o tai yra 30 procentų didesnis transformatoriaus ir linijų apkrovimas, taip pat padidėja įtampos nuostoliai, išauga srovės, o tai turi neigiamos įtakos sistemos stabilumui bei padidina sistemos griūčių riziką. Nepaisant to, linija maitinama per 1MVA galio transformatorių, kuris dėl tokio apkrovimo privalo būti keičiamas.

Analizuojant elektros apkrovos kreivę prie tinklo prijungus koordinuotai kraunamus elektromobilius tikslinga kartu stebėti ir elektros energijos kainos pokytį paroje todėl pateikiamas 5.2 paveikslas, kuriame pavaizduotas elektros kainos kitimas paros bėgyje.



5.2 pav. Siūlomas elektros kainos kitimas paros bėgyje

Prie tinklo prijungus tą patį elektromobilių kiekį, bet juos kraunant koordinuotai (raudona kreivė), matomas ženklus energijos suvartojimo padidėjimas nuo 23 valandos vakaro iki 7 valandos ryto, šiuo metu visi prie tinklo prijungti elektromobiliai yra kraunami, nes rinkoje esanti

elektros kaina yra palanki pirkimui. Toliau stebimas elektros apkrovos kreivių susilyginimas, nes šiuo metu esančiai tinkle apkrovai elektromobiliai nedaro įtakos, nes jie yra arba atjungti nuo tinklo arba elektros kaina yra nepalanki baterijų krovimui. Kaip matyti 5.2 paveiksle, elektros kainos tarifas nuo 8 iki 14 valandos yra padidintas, todėl elektromobiliai nėra kraunami. Nuo 14 iki 17 valandos elektros kainos tarifas yra žemesnis, todėl iškart energijos suvartojimas pakyla, nes prie tinklo prijungtų elektromobilių baterijos pradamos krauti. Vėliau nuo 17 iki 23 valandos energijos poreikio kreivės vėl susilygina, nes elektros kaina šiuo metu yra didesnė, todėl elektromobiliai, nors ir yra prijungti prie tinklo, jie nėra kraunami ir energijos poreikiui įtakos nedaro.

Žalia kreivė vaizduoja 10/0,4 kV transformatoriaus apkrovimą tinkle esant prijungtiems 50 elektromobilių, kurie turi galimybę atiduoti baterijose sukauptą energiją į tinklą. Energijos atidavimas matomas nuo 7 valandos ryto iki 14 valandos ir nuo 17 valandos vakaro iki 23 valandos. Šis energijos atidavimas sutampa su elektros kainos kitimu paros bėgyje. Būtent šiais laiko intervalais elektros kaina yra didesnė nei įkrovimo, todėl elektromobiliams yra palanku atiduoti turimą baterijose sukauptą energijos kiekį į tinklą. Dalį energijos poreikio kompensuojant elektromobilių baterijose sukauptą energiją, sumažinamas transformatoriaus apkrovimas. Elektros tinkle nesant elektromobilių generuojamos energijos amplitudė svyruoja 511 kVA, prie tinklo prijungus 50 nekoordinuotai kraunamų elektromobilių energijos poreikio amplitudė padidėja iki 773 kVA, o pritaikius koordinuoto krovimo koncepciją su galimybe atiduoti elektromobilių baterijose sukauptą energiją į tinklą, per transformatorių pratekančios energijos amplitudė sumažėja iki 252 kVA. Lyginant koordinuoto krovimo metu gaminamos energijos amplitudę su nekoordinuoto krovimo atveju, amplitudė sumažėja beveik trigubai, o tai leidžia sistemai dirbti stabiliau, išvengiama sistemos perkrovų, kas leidžia sumažinti energijos nuostolius.

IŠVADOS

1. Remiantis kompleksine elektromobilių transporto plėtros galimybių studija bei stebint šiuo metu augantį elektromobilių skaičių Lietuvoje bei pasaulyje galima netolimoje ateityje tikėtis didelio elektromobilių proveržio. Studijoje iš pateiktų scenarijų kaip pats realistiškiausias pateikiamas 3 scenarijus, kuris nurodo, kad 2025 metais Lietuvoje bus 10 % naujai įsigyjamų automobilių – elektromobiliai, tai sudarytų 1 % viso automobilių parko.
2. Išaugus elektromobilių skaičiui ir juos kraunant nekoordinuotai ženkliai padidinama elektros energijos apkrova piko metu. Prie tiriamos linijos prijungus 50 nekoordinuotai kraunamų elektromobilių, elektros energijos paklausa piko metu išauga beveik 30 procentų. Tai padidina elektros tinklo perkrovos bei griūčių riziką. Nekoordinuotam elektromobilių krovimui įtakos turi vartotojų elgsenos ypatumai.
3. Elektromobilius kraunant koordinuotai elektros energijos apkrova piko metu nėra didinama. Prie tiriamos linijos prijungus 50 koordinuotai kraunamų elektromobilių ir įvedus dinaminį kainos tarifą, elektros energijos paklausa piko metu nepadidėjo, o buvo perstumta laike į mažesnio elektros poreikio paros laiką.
4. Remiantis tinklo simuliacijos rezultatais, siūloma keisti elektros kainą 4 kartus paroje. Nuo 7 iki 14 valandos ir nuo 17 iki 23 valandos elektros kainos tarifą padidinti ne mažiau kaip 18 procentų, tam kad būtų padengti baterijų įkrovimo – iškrovimo ciklo metu susidarantys nuostoliai.
5. Kombinuojant koordinuotą elektromobilių baterijų krovimą su galimybe elektromobiliuose sukauptą elektros energijos kiekį atiduoti į tinklą sumažinamas transformatoriaus apkrovimas. Lyginant koordinuoto krovimo metu energijos poreikio amplitudę su nekoordinuoto krovimo atveju, amplitudė sumažėja nuo 773 kVA iki 252 kVA, o tai leidžia sistemai dirbti stabiliau, išvengiama sistemos perkrovų bei sumažinami energijos nuostoliai.

LITERATŪRA

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŪKIO MINISTERIJA, LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA, LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA *Kompleksinė elektromobilių transporto plėtros galimybių studija*. Galutinė ataskaita.
2. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Isakymas dėl viešosios elektromobilių įkrovimo infrastruktūros plėtros rekomendacijų ir šalia valstybinės reikšmės kelių numatomų įrengti viešųjų elektromobilių įkrovimo priėgų plano patvirtinimo: 2015 m. gegužės 6 d. Nr. 3-173 (1.5 E)* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-02-02]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalActPrint?documentId=8a12de40f3b511e4927fda1d051299fb>
3. Įkrovimo vietų žemėlapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per: <http://elektrodegalines.lt/zemelapis.html>
4. VĮ „Regitra“. *Iš viso įregistruotų MI klasės lengvųjų automobilių skaičius pagal degalų rūšį (iki 2018 m. gegužės 1 d.)* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-09]. Prieiga per: <http://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
5. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA. *Elektromobilių skaičius Lietuvoje*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-09]. Prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>
6. MALIŠKA Edvinas, BRUŽAS Marius, ABARAVIČIUS Juozas. *Miestų, gyvenviečių ir kaimo vietovių esamų apkrovų analizė, rekomendacijų elektros apkrovų augimo perspektyvoms įvertinant Europos Sąjungos šalių patirtį bei skaičiuojamųjų elektros apkrovų, skirtų elektros tinklų plėtrai, normoms parengimas: mokslinio tiriamojo darbo baigiamoji ataskaita*. Šiaurės miestelio technologijų parkas. Vilnius, 2016. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-11-09]. Prieiga per: http://lsta.lt/files/studijos/2006/17_Apkrovos.pdf
7. SVINKŪNAS Gytis, NAVICKAS Algimantas. *Elektros energetikos pagrindai*. Kaunas: Technologija, 2011. ISBN 978-609-02-0162-6.
8. *Oficialus Volkswagen automobilių atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16]. Prieiga per: <http://www.volkswagen.co.uk/new/golf-vii-pa/which-model-compare/details/3183#tech-spec>
9. *Oficiali BMW automobilių apžvalga* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16]. Prieiga per: <https://insideevs.com/2018-bmw-i3-i3s-compared/>
10. *Oficialus Renault automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16]. Prieiga per: <http://imprensa.renault.com.br/upload/produto/ficha-tecnica/59aec0b42a81ebb05f9753c7cdf7f31.pdf>

11. *Oficialus Tesla automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16].
Prieiga per: <https://www.tesla.com/model-s>
12. *Oficialus Hyundai automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16].
Prieiga per: <https://www.hyundaiusa.com/ioniq-electric/specifications.aspx>
13. *Oficialus Kia automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16].
Prieiga per: <http://www.kia.com/content/dam/kwcms/kme/uk/en/assets/vehicles/soul-ev/specification/kia-soul-ev-specification.pdf>
14. *Oficialus Smart automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16].
Prieiga per: https://www.smart.com/content/dam/smart/EN/PDF/smart_electric_drive_Broschuere_en_IN_T.indd.pdf
15. *Oficialus Opel automobilių pardavimo atstovas* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-16].
Prieiga per: http://www.opel.at/content/dam/Opel/Europe/master/hq/en/01_Vehicles/01_PassengerCars/Ampera/PDF/Ampera_15.0_Long-Master.pdf
16. *Elektromobilių greito įkrovimo stotelės Lietuvoje* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-02].
Prieiga per: <http://www.100procentuelektrinis.lt/naudinga-informacija/elektromobilio-ikrovimas/elektromobiliu-greito-ikrovimo-stoteles-lietuvoje/>
17. *Elektromobilių įkrovimo standartai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per: <http://fyi.lt/ev/elektromobiliu-krovimo-standartai/>
18. LAMBERT F. *Secondary Distribution Impacts of Residential Electric Vehicle Charging* Public Interest Energy Res. (PIER), California Energy Commission, Project no. 373, 1999. [žiūrėta 2018-03-22]
19. JACKSON D. K. et al. *A multirate digital controller for a 1.5-kW electric vehicle battery charger* IEEE Trans. Power Electron.1997. [žiūrėta 2018-03-22] Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/641498/>
20. GOMEZ J.Carlos, MORCOS M. *Medhat Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems* IEEE [interaktyvus]. 2003 [žiūrėta 2018-03-19]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/1208386/authors>
21. GONG Xin; LIN Tao; SU Binghua *Survey on the impact of Electric Vehicles on power distribution grid* IEEE Power Engineering and Automation Conference, [interaktyvus]. Sept. 2011 [žiūrėta 2018-03-22]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/6134996/>

22. MITRA P., VENAYAGAMOORTHY G.K. *Wide area control for improving stability of a power system with plug-in electric vehicles*, IET Gener. Transm. Distrib., 2010, [žiūrėta 2018-03-22]. Prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5587757/>
23. GRIGALIUNAS Vilius *Informacijos šrautai sumaniuosiuose elektros tinkluose*, Magistro baigiamasis darbas, Šiaulių universitetas, Šiauliai, 2011 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per: <http://gs.elaba.lt/object/elaba:1880366/index.html>
24. VALØEN Lars Ole, SHOESMITH Mark I. *The effect of PHEV and HEV duty cycles on battery and battery pack performance*, 2007 Plug-in Highway Electric Vehicle Conference: *Proceedings*. Retrieved 11 June 2010. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-12]. Prieiga per: http://umanitoba.ca/outreach/conferences/phev2007/PHEV2007/proceedings/PluginHwy_PHEV2007_PaperReviewed_Valoen.pdf
25. ADOMAVIČIUS Vytautas, PUŠINAITIS Linas, KAMINICKAS Mantas *Elektros energijos kaupimo priemonių šiuolaikinė būklė ir plėtros perspektyvos*, Kauno technologijos universitetas [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/profile/Vytautas_Adomavicius/publication/303315906_Elektros_energijos_kaupimo_priemoniu_siuolaikine_bukle_ir_pletros_perspektyvos/links/573cc32308ae298602e58fd5/Elektros-energijos-kaupimo-priemoniu-siuolaikine-bukle-ir-pletros-perspektyvos.pdf
26. *Apklausa „Kokį atstumą (km) įveikiate kasdien vykdami į darbą ir atgal?“ rezultatai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://www.vilniausmetro.lt/en/node/1318>
27. ADOMAVIČIUS Vytautas *Elektromobiliai ir jų plėtros perspektyvos*, Kauno technologijos universitetas, 2011 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: <http://gjstudija.net/ltma/ltma-darbai/LTMAMD-7-VA-Elektromob.pdf>
28. *BU-415: How to Charge and When to Charge?* Battery University, 2017 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-05-17]. Prieiga per: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_charge_when_to_charge_table
29. RICHARDSON, Peter, FLYNN Damian and KEANE Andrew, *Impact Assessment of Varying Penetrations of Electric Vehicles on Low Voltage Distribution Systems*, 2010 IEEE [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5589940/>

30. CLEMENT-NYNS Kristien, HAESSEN Edwin and DRIESEN Johan. *The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid*, IEEE Trans on Power System, 2010. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5356176/>
31. QIAN Kejun, ZHOU Chengke, MALCOLM Allan, and YUE Yuan, *Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems*, IEEE transactions on power systems, 2010 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5535237/>
32. FARMER Chris, HINES Paul, DOWDS Jonathan, *Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure*, Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2010. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5428355/>
33. ZHAO L., PROUSCH S., HÜBNER M., MOSER A., *Simulation Methods for Assessing Electric Vehicle Impact on Distribution Grids* M. Galus and G. Andersson, “Demand management of grid connected plug-in hybrid electric vehicles (PHEV),” in IEEE Energy 2030 Conference, Atlanta, GA, Nov. 2008, [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5484386/>
34. Sheng LIN, Zhengyou HE, Tianlei ZANG and Qingquan QIAN. *Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on Distribution Systems*, International Conference on Power System Technology, 2010 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5666121/>
35. DE NIGRIS M., GIANINONI I., GRILLO S., MASSUCCO S., SILVESTRO F. *Impact Evaluation of Plug-in Electric Vehicles (PEV) on Electric Distribution Networks, Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2010 14th International Conference on, 2010 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5625433/>
36. GUILLE C. and GROSS G., *Design of a Conceptual Framework for the V2G Implementation*, Energy 2030 Conference, 2008. ENERGY 2008.IEEE, [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/4781057/>

37. National Renewable Energy Laboratory (NREL), “Plug-in hybrid electric vehicle energy storage system design”, [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: www.nrel.gov/vehiclesandfuels/vsa/pdfs/39614.pdf
38. ACHA Salvador, GREEN Tim C., and SHAH Nilay, *Impacts of plug-in hybrid vehicles and combined heat and power technologies on electric and gas distribution network losses*, Conference on Sustainable Alternative Energy, 2009.PES-IAS. IEEE, [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/5589623/>
39. ACHA Salvador and HERNANDEZ-ARAMBURO Carlos, *Integrated Modelling of Gas and Electricity Distribution Networks with a High Penetration of Embedded Generation*, Smart Grids for Distribution, 2008. IET-CIRED. CIRED Seminar, 2008 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-12]. Prieiga per: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.ktu.edu/document/4591817/>