



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Povilas Šmitas**

**ELEKTROMOBILIŲ IR HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ  
AKUMULIATORIŲ PANAUDOJIMAS ELEKTROS TINKLO  
APKROVOS PIKO SUMAŽIMUI**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**ELEKTROMOBILIŲ IR HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ**  
**AKUMULIATORIŲ PANAUDOJIMAS ELEKTROS TINKLO APKROVOS**  
**PIKO SUMAŽIMUI**

Baigiamasis magistro projektas

**Elektros energetikos sistemos (kodas 612H63005)**

**Vadovas**

Doc. dr. Mindaugas Ažubalis

**Recenzentas**

Prof. dr. Alfonsas Morkvėnas

**Projektą atliko**

Povilas Šmitas

**KAUNAS, 2017**

Šmitas, Povilas. Elektromobilių ir hibridinių automobilių akumuliatorių panaudojimas elektros tinklo apkrovos piko sumažimui. *magistro* baigiamasis projektas vadovas doc. dr. Mindaugas Ažubalis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, .Elektros energetikos sistemų katedra.

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

Reikšminiai žodžiai: V2G, SOC, Matlab, modelis, akumulatorius, elektromobilis.

Kaunas, 2017. 56 p.

## **SANTRAUKA**

*Darbe apžvelgiami elektromobilių ir hibridinių automobilių veikimo principai, sudedamosios dalys. Apžvelgiama elektromobilių pakrovėjų įtaka tinklui ir neigiami veiksniai. Taip pat darbe aptariamas akumuliatorių panaudojimas tiekiant energiją atgal į tinklą didelės apkrovos metu ir koordinuotas krovimas kai tinklo apkrova maža. Darbe aptariamas teorinis elektromobilio į tinklą modelis, o vėliau modeliuojamas Matlab aplinkoje. Taip pat tobulinamas jau esamas Matlab modelis, pridedant papildomų parametru elektromobilių krovimui ir tinklui. Darbe siūlomas metodas kaip automobilio naudotojui sumažinti energijos atidavimo į tinklą juntamumą. Paskaičiavus atsiperkamumą, gauta, kad šiuo metu ši technologija reikalauja didelių investicijų ir jos atsiperkamumas per mažas. Taip pat kol kas hibridinių elektromobilių akumuliatorių talpos yra per mažos juos naudingai eksploatuoti elektromobilio į tinklą aplinkoje.*

Šmitas, Povilas. Use of Electric Vehicle and Hybrid Vehicle Battery for Peak Demand Reduction: *Master's* thesis, supervisor assoc. prof. Mindaugas Ažubalis. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of electrical energy systems

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

Key words: V2G, SOC, Matlab, Model, Battery, EV

Kaunas, 2017. 56 p.

## **SUMMARY**

*The paper gives an overview of electric and hybrid vehicles operating principles and components. An overview of the electric chargers on the network and the negative effects of them. Paper discusses the use of the battery supplying energy back into the network when the demand is high and coordinated charging solutions when the network load is low. The paper discusses the theoretical electric network model and then it is simulated in Matlab. Existing Matlab model was improved by adding additional parameters to charging and to electrical network. The paper proposed a method to reduce the impact on car user to transfer energy to the grid. Estimated payback was accounted that currently this technology requires large investments and the payback is too small. PHEV's battery capacity is too small to be used efficiently in V2G services.*



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Povilas Šmitas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Elektromobilių ir hibridinių automobilių akumuliatorių panaudojimas  
elektros tinklo apkrovos piko sumažimui“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2017 m. gegužės 26 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Povilo Šmito** baigiamasis projektas tema „Elektromobilių ir hibridinių automobilių akumuliatorių panaudojimas elektros tinklo apkrovos piko sumažimui“ 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)

## TURINYS

Paveikslų sąrašas .....	6
Lentelių sąrašas .....	8
Santrumpos.....	9
Įvadas .....	10
1. Trumpa elektromobilių istorija.....	12
2. Elektromobilių tipų palyginimas .....	13
2.1 Elektrinis automobilis .....	13
2.2 Hibridiniai automobiliai .....	14
2.3 Elektros variklis .....	16
2.4 Akumuliatorių baterija .....	16
3. Elektromobilių Įtaka tinklui .....	18
4. Harmoniniai iškreipymai.....	21
5. Elektromobilio į tinklą(V2G) schema.....	26
6. Elektromobilio prijungimo prie tinklo principai .....	29
7. Pakeitimai reikalingi matlab modelio pritaikymui .....	32
8. pakeitimų įgivendinimas matlab aplinkoje .....	41
9. Gautų duomenų analizė.....	45
10. Elektromobilio į tinklą ekonominė analizė .....	48
11. išvados.....	52
12. Literatūros sąrašas .....	53

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

pav. 1.1 Elektromobilių paklausos augimas 2010-2016m. ....	12
pav. 2.1 Elektromobilio principinė schema.....	14
pav. 2.2 Hibridinio automobilio principinė schema .....	15
pav. 2.3Kištukinio hibridinio automobilio principinė schema .....	15
pav. 2.4 Elektros variklio charakteristika pritaikyta elektromobiliui[11].....	16
pav. 4.1Pagrindinės ir 5 – osios eilės harmonikų srovės forma .....	23
pav. 4.2 Aukštesniųjų harmonikų iškraipyta pagrindinės harmonikos sinusoidė tik nelyginių harmonikų(a), tik lyginių harmonikų (b) .....	24
pav. 5.1Principinė tinklo su atsinaujinančiais šaltiniais schema .....	26
pav. 5.2 saulės elektrinės gamybos kreivė .....	28
pav. 5.3Vėjo greičio kreivė .....	28
pav. 5.4Vėjo elektrinės gamybos kreivė .....	28
pav. 5.5 Generatoriaus gamybos kreivė .....	28
pav. 5.6 apkrovos grafikas.....	29
pav. 6.1Dvipusio ryšio tarp elektromobilio ir tinklo blokinė schema .....	29
pav. 6.2 Akumulatoriaus įkrovimo stadijos .....	30
pav. 7.1 Elektros energijos vartojimas, gamyba ir kaina 2016-08-01 .....	32
pav. 7.2 Elektromobilio akumulatoriaus įkrovimo ir atidavimo į tinklą grafikas pagal elektros kainą.....	34
pav. 7.3 1 profilio SOC kreivės .....	36
pav. 7.4 2 profilio SOC kreivės .....	37
pav. 7.5 3 profilio SOC kreivės .....	37
pav. 7.6 Valdiklio loginė seka .....	38
pav. 7.7 baterijos talpos priklausomybė nuo temperatūros .....	40
pav. 8.1"Power consumption" blokas apkrovos duomenims įvesti.....	41
pav. 8.2 Lietuvos apkrovos duomenų įvedimas į „power consumption“ bloką .....	41

pav. 8.3Apkrovos galios parinkimo blokas .....	41
pav. 8.4Vėjo elektrinės galios parinkimas .....	42
pav. 8.5 Saulės elektrinės galios parinkimas.....	43
pav. 8.6 SOC, plug state ir kainos tinkamumo bloko vieta.....	43
pav. 8.7 Kainos tinkamumo jungiklis .....	44
pav. 8.8Profilio pasirinkimas.....	44
pav. 9.1 1 profilio generacijos kreivė.....	45
pav. 9.2 2 profilio generacijos kreivė.....	46
pav. 9.3 3profilio generacijos kreivė .....	46
pav. 10.1 diskontuota elektromobilio į tinklą vertė per laikotarpį.....	50
pav. 10.2 Diskontuota hibridinio automobilio į tinklą vertė per laikotarpį.....	51

## **LENTELIŲ SĄRAŠAS**

lentelė 1 Akumuliatorių palyginimas pagal cheminę sudėtį [9].....	17
lentelė 2 Elektromobilio įkrovimo lygiai per parą.....	35
lentelė 3 Elektromobilio į tinklą modelio atsipirkimo prognozavimas vartotojui.....	49
lentelė 4 Hibridinio automobilio akumuliatoriaus prognozuojamas atsipirkimas.....	50



## **SANTRUMPOS**

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

V2G – Elektromobilis į tinklą (Vehicle-to-Grid)

POD – energijos tiekimo sustabdymas didelės apkrovos metu (Pause-on-demand)

SOC – akumulatoriaus įkrovimo lygis (State of charge)

DOD – akumulatoriaus iškrovimo lygis(depth of discharge)

VDV – vidaus degimo variklis

## IVADAS

Elektromobiliai sparčiai tobulėjanti technologija. Pagrindinis jų trūkumas- problemos susijusios su energijos kaupimu. Tačiau akumuliatorių technologijoms sparčiai tobulėjant, atsiranda naujų galimybių juos panaudoti. Elektromobilis pagal vidutinius duomenis stovi apie 95 % laiko. Naktį dažniausiai yra kraunamas(jei yra galimybė), tačiau dienos metu stovi aikštelėse prie darbo su pakrautu akumulatoriumi.

Automobilio į tinklą(V2G) energijos perdavimas išmanaus tinklo aplinkoje suteikia naujų galimybių elektromobiliams, ir gali padėti sumažinti generatorių apkrovas piko metu. Panaudojant šią technologiją galima tiekti energiją į tinklą piko metu, nepamirštant pasilikti rezervą, jeigu reikės važiuoti, taip pat sekant elektros kainas galima perjungti į krovimo režimą. Šios technologijos konceptas- išnaudoti pigią energiją akumulatoriaus krovimui ne piko metu ir ją panaudoti kai elektromobilis yra nenaudojamas.

Tačiau V2G prijungimas į tinklą reikalauja didelių investicijų į infrastruktūrą ir akumulatorius. Norint kad dieną elektromobilis būtų pajungtas į tinklą reikia stovėjimo aikštelėse įrengti pakrovimo stoteles ir inverterius, kad vyktų energijos perdavimas į/iš tinklo. Taip pat akumulatoriai yra laikinas resursas, nes akumulatorius dažniausiai turi tam tikrą ciklų skaičių kurių metu galima įkrauti ir iškrauti energiją. Pastoviai naudojamas akumulatorius gali per keletą metų prarasti iki 30% talpos, senstant talpa dar labiau mažėja.

Vartotojas/gamintojas leisdamas naudoti savo akumuliatorių tinkle turi gauti kažkokią naudą, todėl kuriami modeliai kurie leidžia gauti geresnius tarifus akumuliatorių pakrovimui naktį, įvedamos skatinimo priemonės. Svarbu numatyti, kad vartotojas nepatirtų nepatogumų naudodamas šią technologiją(pvz. išsikrovęs akumulatorius kai reikia važiuoti į/iš darbo. Nepaliktas rezervas kai reikia išvažiuoti darbo metu).

Naudojant šią technologiją išmanusis tinklas galėtų pasiųsti signalą į tūkstančius priparkuotų ir prijungtų elektromobilių ir prašyti tiekti energiją į tinklą. Tai galėtų būti daroma ne tik piko metu bet ir esant dideliems nenumatytiems atvejams arba avarių atveju. Taip pat priklausomai nuo tinklo dydžio galima naudoti tik atsinaujinančius energijos šaltinius, sumažinant išmetamųjų dujų įtaką aplinkai, ne tik iš automobilių, bet ir orą teršiančių elektrinių.

**Tyrimo/projektavimo objektas** – V2G MATLAB modelis, leidžiantis įkelti poreikių duomenis prijungti įvairius kiekius elektromobilių, panaudoti įvairias įkrovimo/iškrovimo strategijas. Modelis leidžia apskaičiuoti kainas, baterijų degradaciją, įvairias įkrovimo/iškrovimo reikšmes .

**Darbo naujumas ir aktualumas.** Sparčiai tobulėjant elektromobiliams galima panaudoti jų akumulatorius naujiems tikslams

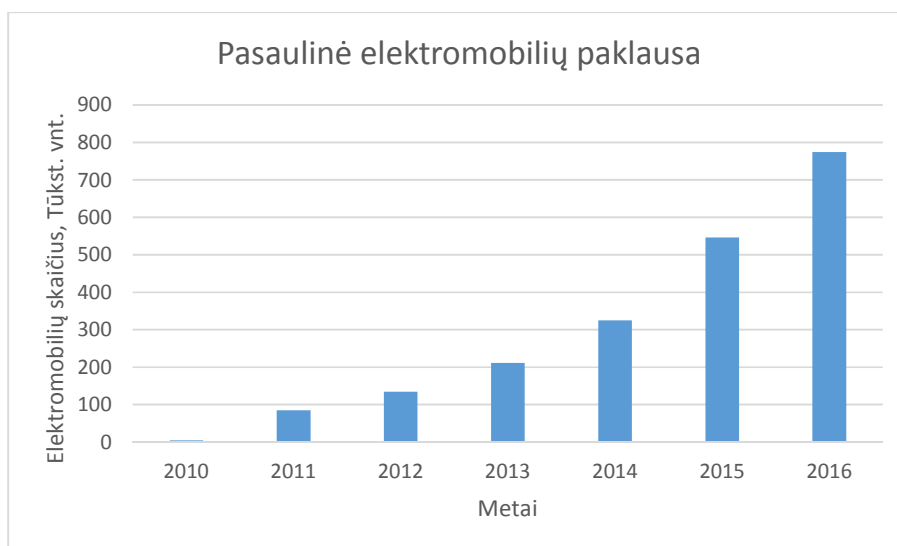
**Darbo tikslas:** Išanalizuoti V2G galimybes išmaniajame tinkle. Sukurti tinklo su V2G modelį

**Darbo uždaviniai:**

1. Išsiaiškinti elektromobilių akumuliatorių technologijas, tinklo piko apkrovos laikus ir elektros kainos nuo laiko priklausomybes.
2. Išsiaiškinti žmonių elektromobilių naudojimo įpročius ir rasti tinkamus pakrovimo lygius, kad būtų užtikrinamas V2G ne juntamumas, žmonių patogumui.
3. Išnagrinėti sistemos modelį
4. Parinkti sistemos įrenginius ir sukurti simuliaciją
5. Paskaičiuoti sistemos atsiperkamumą

## 1. TRUMPA ELEKTROMOBILIŲ ISTORIJA

Pirmieji elektromobiliai pasirodė dar XIX a., tačiau susidūrė su viena didžiausių šių dienų problemų- ribotu nuvažiuojamu atstumu. 1893 m. Raeford ir Jantoe pristatė elektromobilį su dviem akumulatoriais kurių talpa buvo po 200Ah, o svoris 420kg, elektromobilio variklis galėdavo pasiekti apie 2,5kW galią. Elektromobilių pirmasis „aukso amžius“ baigėsi apie 1910m. patobulėjus benzininiams automobiliams. Šiais automobiliais žmonės galėjo nukeliauti didesnius atstumus, eksploatacija buvo paprastesnė ir pigesnė. Nuo 1935m. iki 1960m. elektromobiliai buvo užmiršti ir atgaivinti tik susidomėjus oro tarša, bei dėl padidėjusios naftos kainos. Tačiau lūžis neįvyko, elektromobiliai buvo nepatogūs keliaujant didesnius atstumus, nebuvo pakrovimo stotelių. Vienas sėkmingesnių žingsnių grąžinti elektros variklį į automobilį tapo hibridinio automobilio sukūrimas Japonijoje[18]. Sujungus benzininį variklį ir elektrinį buvo gautos geros kuro sąnaudos. 2008m.- Kolkas svarbiausias lūžis elektromobilių istorijoje, kompanija „Tesla“ išleido „Roadster“ elektromobilį, parodydama jų potencialą. Nuo to laiko kitos kompanijos pasekė šiuo keliu ir šiuo metu elektromobilių rinka yra viena iš labiausiai augančių pasaulyje. 1.1 pav. matomas elektromobilių pardavimų didėjimas iki 2016m.



pav. 1.1 Elektromobilių paklausos augimas 2010-2016m.

## 2. ELEKTROMOBILIŲ TIPŲ PALYGINIMAS

Šiuo metu didelė elektromobilių paklausa verčia sparčiai tyrinėti ir kurti naujus modelius. Tai leidžia sumažinti elektromobilių kainą, padidinti našumą, todėl tai yra perspektyvi alternatyva pakeisti tradicinius dyzelinius ir benzininius automobilius. Mokslininkai tiria naujus metodus patobulinti baterijas taip padidinant nuvažiuojamą atstumą, bei sumažinant pakrovimo laiką, baterijų svorį ir kainą. Baterijos charakteristikos lemia elektromobilių sėkmę ateityje, nes galios atžvilgiu elektromobiliai nenusileidžia automobiliams su VDV[18].

Šiuo metų yra trys pagrindiniai elektromobilių tipai:

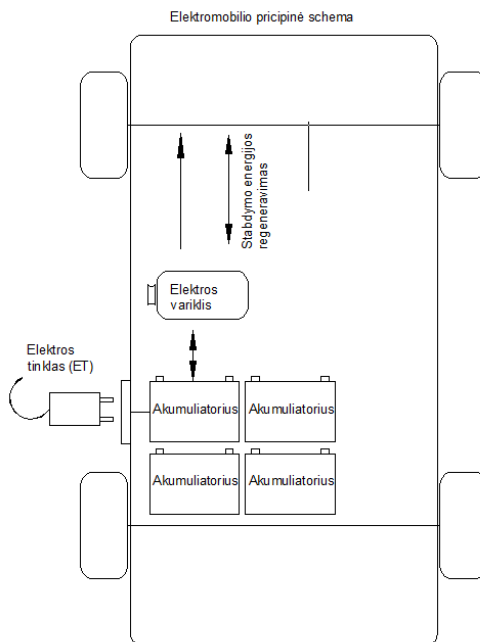
*Pilnai elektrinis automobilis*

*Hibridinis automobilis*

*Kištukinis hibridinis automobilis*

### 2.1 Elektrinis automobilis

Elektromobilio energijos šaltinis yra tik akumuliatorių baterija, todėl nuo jos talpos priklauso, elektromobilio nuvažiuojamas atstumas. 2.1 paveiksle pavaizduota principinė elektromobilio schema ir jos pagrindiniai komponentai. Važiuklės elementai beveik nesiskiria nuo įprastų automobilių, tačiau skiriasi energijos perdavimo į ratus šaltinis- tai yra elektros variklis. Elektros variklis stabdymo metu naudojamas kaip generatorius ir taip susigražinama šiek tiek energijos, kas VDV varomuose automobiliuose yra neįmanoma. Svarbiausia elektromobilio dalis yra akumuliatorius, nuo jo priklauso elektromobilio parametrai. Palyginus su hibriniais automobiliais elektromobilių baterijos yra žymiai didesnės ir tuo pačiu talpesnės. Tokių elektromobilių nuvažiuojamas atstumas deklaruojamas nuo 250km iki 500km, tačiau realiomis sąlygomis didelę įtaką turi vairavimo stilius, naudojamų elektros prietaisų skaičius, oro sąlygos.

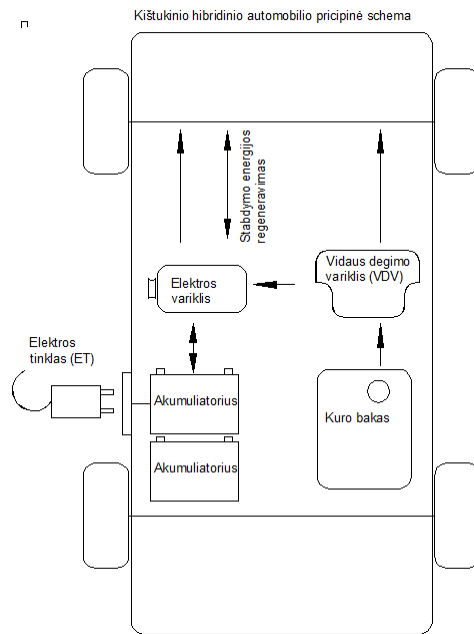


pav. 2.1 Elektromobilio principinė schema

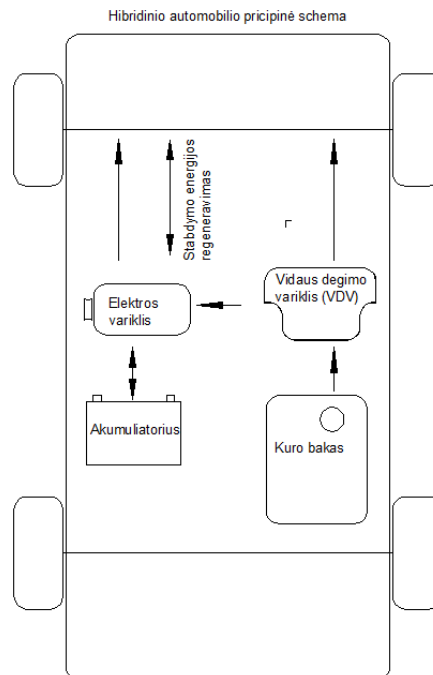
## 2.2 Hibridiniai automobiliai

Hibridiniai automobiliai yra tarpiniai tarp automobilių su vidaus degimo varikliais ir elektra varomų automobilių. Pirmąjį benziniinį-elektrinį hibridinį automobilį sukūrė Ferdinandas Porsche 1900 m., bet jis plačiai nepaplito. Buvo sukurta ir daugiau įvairių hibridinių automobilių, tačiau pirmieji visiems prieinami hibridiniai automobiliai buvo sukurti Japonijoje – Toyota Prius (1997 m.) ir Honda Insight (1999)[18].

Hibridiniai automobiliai būna dviejų tipų 2.2 pav. hibridinis automobilis be galimybės prisijungti prie tinklo ir 2.3 pav. „kištukinis“ hibridinis automobilis. Pagrindinis skirtumas, kad energija akumulatorius gali pasikrauti ne tik iš VDV, bet ir iš elektros tinklo. Kištukiniuose hibridiniuose automobiliuose yra žymiai didesnis akumulatorius palyginus su paprastu hibridu. Todėl miesto sąlygomis šie automobiliai kuro sąnaudomis lenkia įpratus hibridus. Hibridinio automobilio maksimalus nuvažiuojamas atstumas su pilnai įkrautu akumulatoriumi yra apie 3km, tačiau kištukinio hibrido gali siekti daugiau nei 50km.



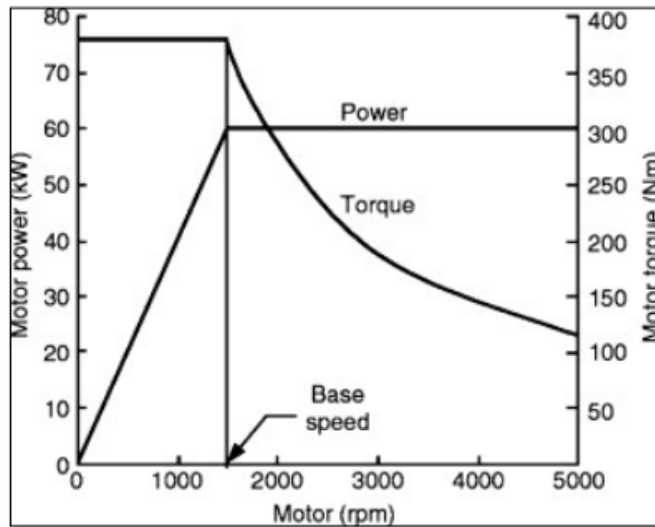
pav. 2.2 Hibridinio automobilio principinė schema



pav. 2.3 Kištukinio hibridinio automobilio principinė schema

### 2.3 Elektros variklis

Renkantis elektros variklį elektromobiliui reikia pritaikyti mechaninę charakteristiką kuo arčiau idealios hiperbolės su pastoviu sukimo momentu pagreitėjimo metu ir pastovia galia tolimesnėje eigoje. Tai pavaizduota 2.4 pav.



pav. 2.4 Elektros variklio charakteristika pritaikyta elektromobiliui[11]

Automobiliuose su VDV varikliais tai pasiekama naudojant pavarų dėžę, tačiau elektromobiliui ji nėra būtina. Naudojant specialius valdiklius galima atlikti variklio sukimo momento ir greičio reguliavimą priklausomai nuo darbo sąlygų. Nedideliuose elektromobiliuose gali būti naudojami nedideli nuolatinės srovės varikliai (apie 500-600W). Didesnės galios elektromobiliuose, naudojami asinchroniniai arba nuolatinųjų magnetų varikliai. Dėl mažesnės kainos dažniau renkamasi asinchroninius variklius nors varikliai su nuolatiniais magnetais yra didesnio našumo.[11]

### 2.4 Akumuliatorių baterija

Viena svarbiausių elektromobilių dalių yra baterija. Baterijos būna dviejų rūšių neįkraunamos (vienkartinės) ir įkraunamos (daugkartinės) - kurios naudojamos elektromobiliuose. Baterijos elektromobiliuose yra gilaus iškrovimo ciklo, jos apibūdinamos pagal šias charakteristikas:

*Galios/ svorio*

*Energijos tankio*

*Energijos/ svorio*



Kuo mažesnė ir lengvesnė yra baterija tuo ji geresnė, nes tai tiesiogiai įtakoja elektromobilio važiavimo parametrus ir energijos panaudojimą. Palyginimui su skystu kuru svorio ir energijos santykis yra prastas. Skysto kuro energijos tankis yra apie 45MJ/kg, o geriausių baterijų - 0,5MJ/kg.[11][18]

Baterija yra viena iš brangiausių elektromobilio dalių, kai kuriuose elektromobiliuose ji gali sudaryti iki pusę elektromobilio kainos. Baterijos būna įvairių rūšių: nikelio metalo-hidridų, rūgštinės, ličio ir kt.

Kiekvienas baterijų tipas turi skirtingas charakteristikas, tačiau didžioji dalis naudojamų baterijų yra ličio. Jų geriausias dydžio ir energijos santykis. 1 lentelėje palyginus nikelio metalų-hidridų akumulatorius su ličio baterijomis, jos yra kelis kartus galingesnės, taip pat ličio baterijų geresnis naudingumas, specifinė energija ir galia. Ličio baterijos gali atlaikyti daugiau įkrovimo/iškrovimo ciklų, nėra atminties efekto, taip pat jos įkraunamos greičiau.

lentelė 1 Akumuliatorių palyginimas pagal cheminę sudėtį [9]

Specifikacija	Li-Ion					
	Švino-rūgštis	NiCd	NiMH	Kobalto	Mangano	Fosfato
Energijos tankis(Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Vidinė varža	<8.3	17-33	33-50	21-42	6,6-20	7,6-15
Ciklų skaičius(80% DOD)	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
Įkrovimo laikas, h	8-16	1	2-4	2-4	<1	<1
Savaiminis išsikrovimas	5-15%	20%	30%	<5%	<5%	<5%
Celės įtampa	2.0	1.2	1.2	3.6	3.8	3.3
maksimali celės įtampa	2.4	1.2	1.2	4.2	4.2	3.6
įkrovimo temperatūra, °C	-20/+50	0/45	0/45	0/45	0/45	0/45
iškrovimo temperatūra, °C	-20/+50	-20/+65	-20/+65	-20/+60	-20/+60	-20/+60
priežiūra	kas 3-6 mėnesius	kas 30-60 dienų savaime išsikrauna	kas 60-90 dienų savaime išsikrauna	nereikalinga	nereikalinga	nereikalinga
saugumo reikalavimai	Stabili	stabili	stabili	būtina trumpojo jungimo apsauga		
naudojama nuo	1881	1950	1990	1991	1996	1999
pavojingumas aplinkai	didelis	didelis	žemas	žemas	žemas	žemas

### 3. ELEKTROMOBILIŲ ĮTAKA TINKLUI

Elektromobilio naudotojas, dažniausiai nenutuokia kokią įtaką gali sukelti kraunamas elektromobilis. Šiuo metu Lietuvoje elektromobilių krovimas yra nekoordinuotas. Tai reiškia, kad nėra dedama jokių pastangų reguliuoti ar daryti kitokią įtaką krovimo laikui ir energijos kiekiui. Vartotojai įjungia juos tada, kai nori ir gauna reikiamą energijos kiekį.

Norint kad tinklo apkrova būtų koordinuojama reikalinga infrastruktūra papildomai prižiūrėti ir sekti energijos poreikius, elektros kainas, taip sumažinant nereikalingą apkrovą, tuo pačiu padidinant sistemos stabilumą ir patikimumą.

[6] straipsniai tiria įtampos lygius ir šiluminę apkrovą, gaunamus iš skirtingų elektromobilių įsiterpimo į tinklą lygių. Dėl nesubalansuotų skirstymo sistemos parametrų, šis darbas analizuoja kiekvieną fazę atskirai. Du atvejai yra ištirti kiekviename įsiterpimo lygyje: atvejis (I) nustato to elektromobilio vietą, kuris yra toliausiai nuo paskirstymo sistemos, tuo tarpu atvejis (II) nustato arčiausiai esančio elektromobilio vietą. Rezultatai parodo, kad priklausomai nuo vietos ir prijungimo taškų, skirtumas gali būti didelis, pvz 28% ir 42%, skaičiuojant elektromobilius, kurie gali būti saugiai prijungti prie konkretaus tinklo prieš įtampai nukrentant žemiau saugios ribos. Keletas kitų tyrimų rodo, kad skirstymo tinklas gali būti stipriai veikiamas aukšto lygio PEV įsiskverbimo juos kraunant. Šie aspektai apima padidėjusią sistemos didžiausią apkrovą, nuostolį ir įtampos mažėjimą. Nurodoma, kad šie vyksmai gali būti sušvelninti naudojant koordinuotą krovimą.

Koordinuotas krovimo atveju siūloma sumažinti energijos nuotėkį ir padidinti apkrovą skirstymo tinkle, kai PHEV yra kraunami namuose. Optimalus PHEV krovimo profilis yra apskaičiuotas kuo mažesniems krovimo nuostoliams. Kadangi tiksliai numatyti namų ūkių apkrovas yra neįmanoma, yra pasitelkiamas stochastinis programavimas. Analizuojamos dvi pagrindinės technologijos: kvadratiškas ir dinamiškas programavimas, kuris gali būti pritaikomas naudojant deterministinių ir stochastinių metodus. Įvesties galimybės abiem atvejais suteikiamos kas valandą/kas dieną, esamuose apkrovos profiliuose. 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. Skirstymo tinklo nuostoliai nekoordinuoto krovimo metu yra aiškiai matomi, o koordinuoto krovimo metu poveikis skirstymo sistemai yra menkai matomas. Darbo išvada:

koordinuotas PHEV krovimas gali sumažinti nuostolius ir įtampos nuotėkį išlyginant galią. Tačiau koordinuotas krovimas reikalauja papildomų išlaidų. Tiriamas ryšys tarp tiekimo nuostolių, apkrovos veiksnių ir apkrovos variacijų, koordinuoto PHEV krovimo kontekste. Suformuluoti trys optimizavimo tikslai, mažinant nuostolius, didinant apkrovos koeficientą ir mažinant apkrovos dispersiją. Vienas abipusis pranašumas yra tai, kad galimi greitesni ir veiksmingesni sprendimai, naudojant komercinius sprendimus, kurie yra būtini realiu laiku. Antrasis pranašumas yra tai, kad duotieji tikslai gali būti lengvai integruoti į nuostolių apribojimus kitose PHEV krovimo funkcijose. Kitas pranašumas yra topologinė nepriklausomybė ir todėl atsiranda efektyvi pasikartojanti struktūra ar kita pažangesnė skirstymo sistema.

[4] pristato metodologiją elektromobilių baterijos krovimo apkrovai modeliuoti, leidžiant sudaryti skirstymo tinklą skirtingais krovimo metodais, statistiką pradžioje krovimo ciklo ir stochastinį skirstymą įjungus ir išjungus kroviklius. Darbas tiria elektromobilių pasikrovimo apkrovas skirstymo sistemoje 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 leis komunalinių paslaugų įmonėms įvertinti elektromobilio apkrovą tinklui krovimo metu, leis atnaujinti tinklo struktūrą, kur yra būtina. Siūloma metodologija taip pat padės pradėti masinį elektromobilių energijos kokybės gerinimą skirstymo sistemose, taip pat palengvins tolesnius tyrimus, tiriant bendrą ir krovimo metu esančią apkrovą tinkle.

[14] darbe siūlomas būdas kontroliuoti EV įkrovimo apkrovas reaguojant į naudojimo laiką ir kainą reguliuojamoje rinkoje. Pirma, optimizuotas įkrovimo modelis suformuotas taip, kad sumažintų įkrovimo kainą. Tada euristinis metodas yra taikomas sumažinti įkrovimo išlaidas atsižvelgiant į priimtina įkrovimo galia EV baterijoje ir pakrovimo lygį SOC. Galiausiai, įkrovimo išlaidos ir energijos poreikis skiriasi tam tikrais laiko intervalais ir yra palyginti tipiškas, tačiau optimizuotas įkrovimo modelis. Rezultatai rodo, kad optimizuotas įkrovimo modelis turi didelę naudą mažinant išlaidas.

[16] 2 koordinuojami įkrovimo režimai buvo nustatyti remiantis esama galia paskirstymo tinkle siekiant perduoti maksimalią energiją elektromobiliams. Nustatytas režimas modeliuotas stohastiniu būdu ir modifikuotas dalelių spiečiaus algoritmu. Atsižvelgiant į įkrovimo stotį vienoje gyvenamųjų namų srityje Shenzhen'e kaip pavyzdžiu, gauti duomenis apie transporto priemonių apmokestinimo modeliavimą pagal nekoordinuotą įkrovimo režimą. Remiantis pelno ir apkrovos svyravimais,

pasiūlyta koncepcija išlaidoms sumažinti. Modeliavimo rezultatai parodė, kad koordinuotas krovimas gali padidinti vartotojų pasitenkinimą ir skatinti sklandų elektros energijos tinklo darbą.

Modelis, pavadintas PHEV skirstymo grandinės poveikio modelis yra siūlomas [16]. Tai leidžia skirstomiesiems tinklams įvertinti didėjančio PHEV skaičiaus poveikį požeminiams kabeliams ir vidurinės įtampos pastočių transformatorinėms, taip pat žemos įtampos namų ūkių transformatorinėms. Atsitiktiniu būdu skirstant PHEV apkrovas per grandinę ir valandos tikslumu apskaičiuojant 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 PHEV yra kraunami tuo pačiu greičiu ir suvartoja tą patį kiekį energijos kiekviename kroviklyje. Siūloma metodika, kaip atvaizduoti didesnę elektromobilių integraciją skirstymo tinkle. Pirmiausia, vystosi mobilumo modelis, parodantis kasdienį elektromobilio veikimą. Tada apskaičiuojama galia įkrovimo ir iškrovimo metu. Judantys modeliai atnaujina baterijos SOC kiekvieną kartą, kiekviename kasdieniame žingsnyje.

Vėliau, sudėtingas apkrovos srauto skaičiavimas visuose įtampos mazguose, srovės atšakose, esančiose skirstymo tinkle yra atliekamas. Pažeidimų ar techninių kliūčių kraunant ar išsikraunant metu turi būti užtikrintas techninio pobūdžio ribojimas. Rezultate, skirstymo funkcijos visuose įtampos mazguose ir srovės atšakose, imituojant laiko intervalą, gaunamos, leidžiant nustatyti skirtingus poveikius skirtingais elektromobilių įsiterpimo į skirstymo tinklą lygius. Metodo privalumas yra tai, kad tai leidžia vertinti sistemą stambiu mastu.

Iš pavišintų rezultatų galima pastebėti, jog koordinuoto krovimo strategijos pritaikymas leidžia integruoti didesnę kiekį elektromobilių sistemoje be jokių kitimų tinkle. Šios įkrovimo schemas leidžia valdyti tinklus lengvesnėmis sąlygomis, patobulinus įtampos profilius, esant mažesniems pasipriešinimo lygiams, mažesniems elektros nuostoliams ir t.t.

## 4. HARMONINIAI IŠKRAIPYMAI

Krovimo metu elektromobiliui reikalingas kroviklis, kaip sąsaja tarp elektromobilio ir tinklo. Baterijų įkroviklis yra galios elektronikos prietaisas, kuris dėl savo netiesinio pobūdžio gali sukelti žalingą harmonikų poveikį skirstomiesiems elektros tinklams. Ypač tuomet, kai prie tinko tuo pačiu metu yra prijungiamas nemažas kiekis elektromobilių, šis harmonikų poveikis negali būti nereikšmingas. Taip pat turi būti atsižvelgta ir į apkrovos padėjimo sukeltą galios faktoriaus sumažėjimą.

Indikatoriai, esantys ant įkrovimo įrenginių krovimo pradžioje rodo suminį harmonikų iškreipimą (Total Harmonic Distortion (THDi)) tarp 2,36% ir 5,26%, bet krovimo pabaigoje ši reikšmė pakyla net iki 28%. Kai kurie tyrėjai teigia, kad THD rodmenys yra mažesni ir siekia vos 1-2%, galios koeficientui esant arti vieneto. Nors THD rodmenys ir neviršija limito, tačiau nėra aišku, kokios pasekmės būtų sujungus didelį kiekį kroviklių vienu metu.

J. A. Qrr [3] naudodamas Monte Karlo modelį ištyrė harmonikų sroves, siejamas su elektromobilių baterijų krovikliais, prijungtais prie bendros magistralės. Pristato metodą nustatyti harmonikų sroves, sukeltas didelio skaičiaus elektromobilių baterijų įkroviklių. Metodu apskaičiuojamas kiekvieno individualaus kroviklio veikimo pradžios laikas ir pradinė kraunamos baterijos būseną, bandant skirtingus variantus. Pristatomas modelis, kuris leidžia dalinį harmonikų išnykimą dėl magnitudžių skirtumų ir fazės pakrypimų. Technologija, padėsianti išspręsti pateikiama kartu su pavyzdžiu, naudojantis ištyrus komercinėms reikmėms skirtą elektromobilio kroviklį. Rezultatai rodo, kad apriboti skirstymą iki 7-10 kroviklių yra tinkamas kiekis, harmonikų srovei nustatyti, naudojant centrinę ribinę teoremą.

Kita prieita išvada yra ta, kad nuspėjama harmonikų srovės vertė yra žymiai mažesnė, nei maksimali vertė, kuri būtų pasiekta jei tas pats kiekis kroviklių dirbtų vienu metu. Tačiau šis metodas tinkamas tik vienfaziams, mažo galingumo krovikliams, skirtiems lėtam baterijos įkrovimui. Jei kroviklis yra sukurtas greitam įkrovimui, nėra aišku kas būtų su efektyvumu.

**Harmonikų atsiradimas.** Fazių nesimetrija atsiranda dėl nevienodos apkrovos, netiesiniai iškreipimai – dėl apkrovos, kai kurių elementų voltamperinių charakteristikų netiesiškumo. Laikui bėgant, bendra instaliuota tokių imtuvų galia vis didėja. Didėja ir netiesinės apkrovos imtuvams tenkanti, bendroje žemos įtampos tinklų apkrovoje, dalis. Netgi tvirtinama, kad visos šalys,

priklausomai nuo jų techninio išsivystymo lygio, anksčiau ar vėliau susiduria su vis didėjančiu žemos įtampos tinklų užteršimo aukštesniosiomis harmonikomis problema [3].

Iki to momento, kol tinklo įtampa mažesnė už energijos kaupiklio įtampą, iš tinklo į tokį maitinimo bloką srovė neteka. Kai įtampa tinkle didesnė už kaupiklio įtampą, tekės srovė, užkraunanti akumuliatorių, kurią ribos 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 joje, ir praktiškai sinusinė generatoriaus sukurta įtampa moduluojama aukštesniosiomis harmonikomis. Tokiu būdu, aukštesniosios įtampos harmonikos savotiškai pasklinda aplink vartotoją, kurio apkrova netiesinė, tarsi savotiška 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 iškreipimus tenka vartotojams [7].

**Netiesinių iškreipimų faktorius.** Įtampos ar srovės kreivės formos iškreipimai kintamoje elektros energijos sistemoje atsiranda dėl aukštesniųjų harmonikų įtakos. Aukštesnės srovės harmonikos, tekėdamos tinklo elementais, sukelia įtampos kritimus šių elementų varžose, kurie sumuojasi prie pagrindinės įtampos sinusoidės, tokiu būdu iškreipdami jos formą. Tinklo įtampos ar srovės nukrypimą nuo sinusinės kreivės formos priimta apibūdinti netiesinių iškreipimų faktoriumi, THD (angl. – Total Harmonic Distortion). Srovės netiesinių iškreipimų faktorius  $THD_I$  išreiškiamas procentais % [2]:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(v)}^2}}{I_1}; \quad [1]$$

čia:  $THD_I$  – netiesinių iškreipimų faktorius %;

$I_v$  –  $v$ -tosios eilės srovės harmonika A;

$I_1$  – pagrindinė srovės harmonika A.

Analogiškai skaičiuojamas ir netiesinių įtampos iškreipimų faktorius  $THD_U$  :

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(v)}^2}}{U_1}; \quad [2]$$

čia:  $THD_U$  – netiesinių iškreipimų faktorius %;

$U_v$  –  $v$ -tosios eilės įtampos harmonika, V;

$U_1$  – pagrindinė įtampos harmonika, V.

Santykinis netiesinių srovės iškreipčių faktorius  $TDD_I$  apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$TDD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(v)}^2}}{I_L} \cdot 100\%; \quad [3]$$

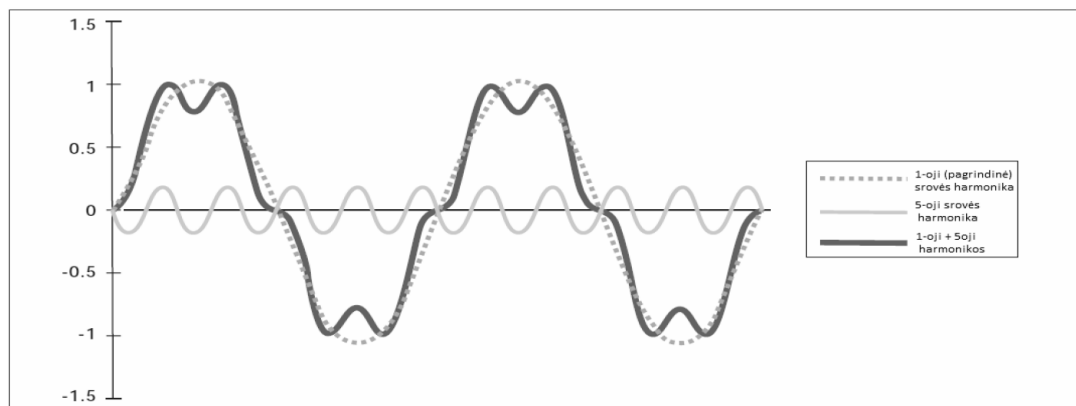
čia:  $TDD_I$  – Santykinis netiesinių srovės iškreipčių faktorius%;

$I_v$  –  $v$ -tosios eilės srovės harmonika, A;

$I_L$  – didžiausia apkrovos srovė, A.

Norint įvertinti srovės iškreipimus, tikslingiau naudoti santykinį srovės iškreipčių faktorių (angl. – Total demand distortion) išreikštą procentais nuo didžiausios srovės vertės.[2]

**Aukštesniosios eilės harmonikos.** Kintamosios srovės elektros tinklų įtampos ar srovės pagrindinė harmonika yra 50Hz (pramoninis dažnis). Harmonikos suprantamos kaip aukštesnio dažnio įtampos ar srovės sinusinės kreivės, kurios yra pirmosios (pagrindinės) 50 Hz dažnio harmonikos kartotinės. Kaip pavaizduota 4.1 paveiksle [2].



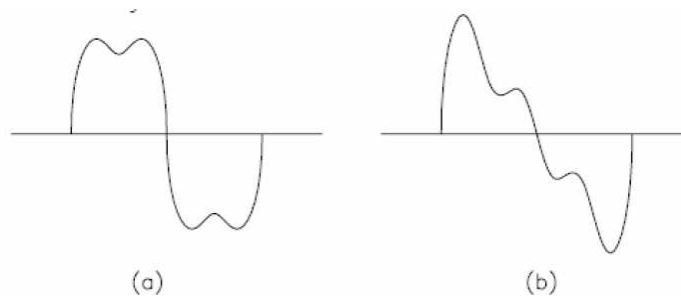
pav. 4.1 Pagrindinės ir 5 – osios eilės harmonikų srovės forma

Kadangi aukštesniosios harmonikos yra pirmosios harmonikos kartotinės, tai penktosios pramoninio dažnio sistemos harmonikos dažnis bus – 250 Hz, septintosios – 350 Hz, vienuoliktosios – 550 Hz. Norint sužinoti aukštesniosios harmonikos eilės numerį, jos dažnį, reikia padalinti iš pagrindinės harmonikos dažnio.

Trifaziai lygintuviniai imtuvai (kaip ir puslaidininkinis dažnio keitiklis) negeneruoja arba generuoja labai mažą 3-iąją aukštesniąją harmoniką, o taip pat ir aukštesnias jos kartotines - 3, 9, 15, 21-ąją, kurios yra vadinamos trilypėmis arba nulinės sekos harmonikomis. Jų nebūna daugumoje dažninių pavarų .

11-osios ir toliau sekančių aukštesniųjų harmonikų įtaka į kreivės formą mažėja iki nereikšmingų dydžių, todėl dažninėse pavarose, nesant trijų kartotinių, lieka 5 ir 7-oji harmonikos, kitaip dar vadinamos dažninių pavarų „juodaisiais arkliukais“. Sumažintas šių dviejų harmonikų dydis turėtų teigiamą įtaką kreivės formai. [2]

Srovės harmonikų iškreipius nesunku atpažinti, kadangi jų forma yra pagrindinės harmonikos kartotinė. Tačiau įvairių dažnių bendras iškraipymas neturi šios formos. Paveiksle 4 pateikta nelyginių ir lyginių harmonikų iškraipyta pagrindinės harmonikos sinusoidė.



pav. 4.2 Aukštesniųjų harmonikų iškraipyta pagrindinės harmonikos sinusoidė tik nelyginių harmonikų(a), tik lyginių harmonikų (b)

Nelyginės harmonikos tai 3-osios, 5-osios ir t.t eilės aukštesniosios harmonikos. Jos atpažįstamos, kai neigiamoji pusperiodžio pusė tiksliai atkartoja teigiamąją pusperiodžio pusę, tik priešingomis kryptimis, taipogi, kai sutampa pirmasis ir trečiasis periodo ketvirčiai, arba kai sutampa antrasis ir ketvirtasis periodo ketvirčiai. Lyginės harmonikos 2-oji, 4-oji ir t.t. Jų veikla pastebima, kai neigiamoji pusperiodžio pusė neatkartoja teigiamosios periodo pusės. Taipogi, kai sutampa periodo ketvirčiai pirmas su ketvirtu ir antrasis su trečiu. Lyginės harmonikos retai aptinkamos pramoniniuose tinkluose. [2]

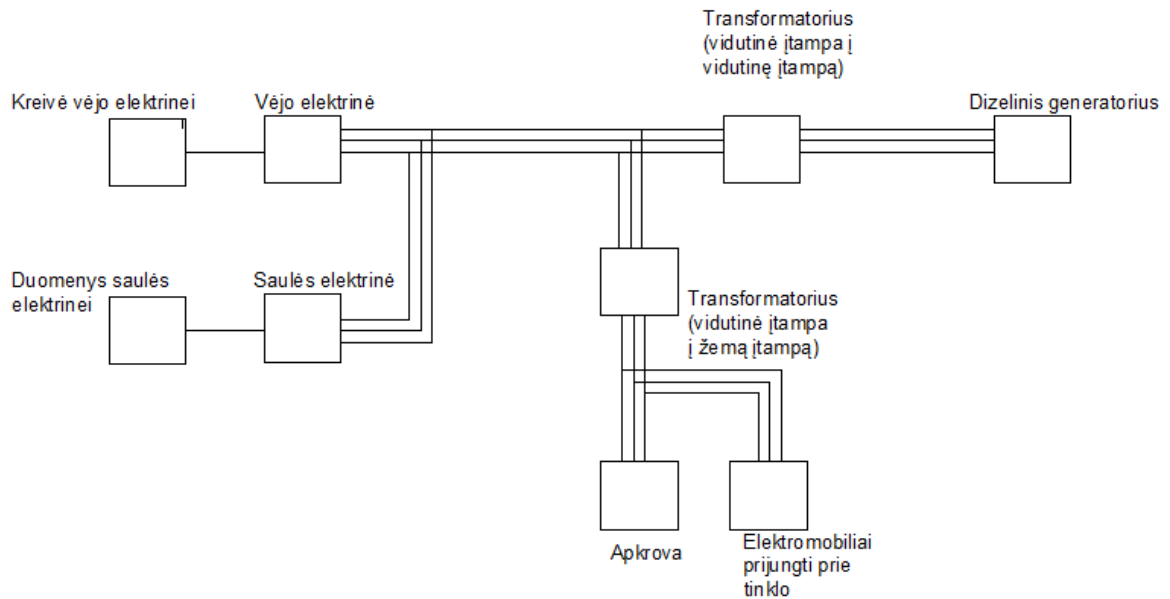
**Neigiami aukštesniųjų srovės harmonikų padariniai.** Asinchroninėse mašinose įtampos aukštesniosios harmonikos sąlygoja bendrosios srovės padidėjimą, dėl ko padidėja nuostoliai.



Sinchroninėse mašinose, be papildomų nuostolių, gali atsirasti aukštesniųjų harmonikų sukeltos pavojingos vibracijos dėl aukštesniųjų harmonikų sukuriamų momentų ženklų kitimo, kurio dažnis lygus harmonikų dažnio ir pagrindinio dažnio sumai ir skirtumui, priklausomai nuo aukštesniųjų harmonikų sukuriamų besisukančių magnetinių laukų sukimosi krypties. Dėl papildomų nuostolių magnetolaidyje didėja ir nuostoliai transformatoriuose, tame tarpe ir pastočių transformatoriuose, dėl ko sumažėja pastotės vardinė galia. Be to, aukštesniosios harmonikos gali sąlygoti rezonansinius reiškinius pastatų instaliacijoje. Fazinis kampas tarp atskirų fazių įtampų ir srovių aukštesniosioms harmonikoms tiek kartų didesnis už  $120^\circ$ , koks yra harmonikos eilės numeris. Todėl trečioji harmonika sudarys nulinę seką, penktoji - atvirkštinę, septintoji – tiesioginę ir t.t. Trečiosios harmonikos srovė nuliniame laide, jei ši srovė visose fazėse vienodo dydžio, trigubai didesnė už fazinę srovę. Tai galioja visoms aukštesniosioms harmonikoms, kurių numeriai kartotini trims. Esant pakankamai dideliame netiesinių iškreipimų faktoriui srovė nuliniame laide, kuris neapsaugotas jokia apsauga nuo perkaitimo, gali būti žymiai didesnė už srovės faziniuose laiduose. Jei abu srovės pusperiodžiai vienodi, lyginės harmonikos nepasireiškia. [3]

## 5. ELEKTROMOBILIO Į TINKLĄ (V2G) SCHEMA

Elektromobilio į tinklą (V2G) simuliacijai pasirinktas modelis Matlab aplinkoje power\_V2G(5.1 pav.). Šis modelis yra jau sukurtas ir naudojamas kaip pagrindas tolesniam tobulinimui. Norint gauti kuo tikslesnius duomenis bus trumpai aptariamas esamas modelis ir gaunami baziniai parametrai. Toliau modelis pakeitus keletą elementų bus pritaikytas, atlikti tyrimą kaip elektromobiliai daro įtaką tinklui ir kaip ją sumažinti.



pav. 5.1 Principinė tinklo su atsinaujinančiais šaltiniais schema

Šiuo atveju schema susideda iš 4 pagrindinių dalių. Dizelinio generatoriaus kuris yra pagrindinis maitinimo šaltinis. Vėjo ir saulės elektrinių parkas, gaminti energiją iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Svarbiausia dalis apkrova. Apkrova tinkle susideda iš 1000 namų bei 100 elektromobilių. Tai reiškia kad elektromobilių ir namų santykis yra 1:10. Tai yra tikėtinas santykis netolimoje ateityje, nors prognozuojama, kad elektromobiliai iki 2050m. sudarys 50% visų transporto priemonių.

### *Dizelinis generatorius*

Reikalingas energijos balansui palaikyti. Tai pat stebint variklio rotoriaus greitį galima stebėti tinklo dažnio nukrypimus.

### *Atsinaujinantys energijos šaltiniai*

Šiame modelyje yra 2 AEŠ rūšys. Vėjo elektrinių parkas kurio gaminama energija tiesiogiai priklauso nuo vėjo. Esant nominaliam vėjo greičiui, pasiekiami nominali vėjo elektrinės galia. Esant per dideliui greičiui ar vėjui nepučiant vėjo elektrinė atsijungia nuo tinklo. Saulės elektrinė gaminama energija priklauso nuo trijų pagrindinių veiksnių. Elektrinės užimamo ploto, modulių naudingumo koeficiento ir apšvietos.

### *Automobilio sujungimas su tinklu*

Prijungtas elektromobilis turi dvi pagrindines funkcijas: krauti elektromobilį kai jis prijungtas prie tinklo, bei naudoti baterijos resursus esant dideliui energijos apkrovai. Žmonių poreikiai ir galimybės yra skirtingos, todėl galima naudoti keletą elektromobilių naudotojų aprašymų:

A: žmonės kurie turi galimybę prijungti elektromobilį į tinklą darbe

B: žmonės kurie turi galimybę prijungti elektromobilį į tinklą, tačiau jų darbas yra toliau, todėl jie sunaudoja daugiau energijos važiuojant į darbą.

C: Žmonės kurie neturi galimybės prijungti elektromobilį prie tinklo darbe

D: Žmonės kurie turi elektromobilį tačiau nedirba

E: Žmonės kurie dirba naktinėje pamainoje

### *Apkrovos modeliavimas*

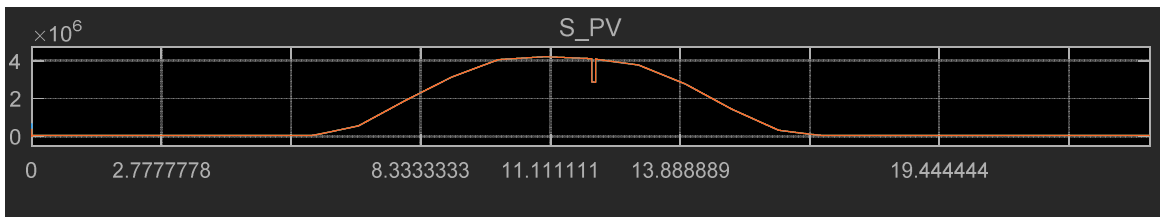
Apkrova modeliuojama pagal energijos sunaudojimą laiko atžvilgiu ir įvertinant galią.

### *Kuriama aplinka*

Modeliavimas trunka 24 valandas. Saulės elektrinė dirba normaliu režimu ir pasiekia piką vidurdienį. Vėjo greitis keičiasi keletą kartų per dieną, vakare pasiekia pasiekus per didelį greitį elektrinė nustoja veikti.

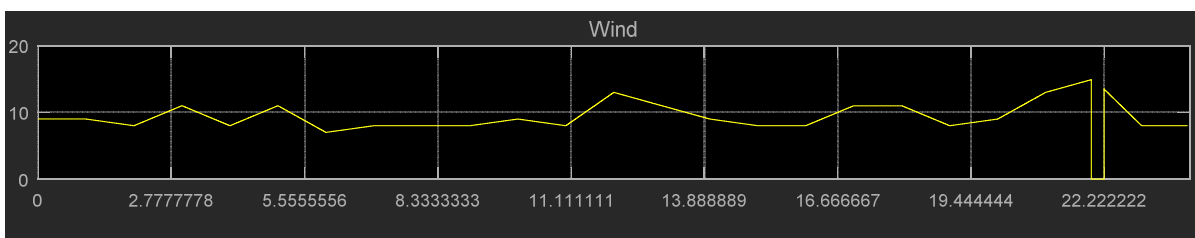
Sistemoje gaunamos kreivės ir jų paaiškinimai:

Saulės elektrinė gamina elektrą pagal standartinę kreivę- pradeda gaminti saulei pakilus apie 8valandą, pasiekia piką apie 12valandą ir saulei nusileidus apie 19valandą gamyba nutrūksta.

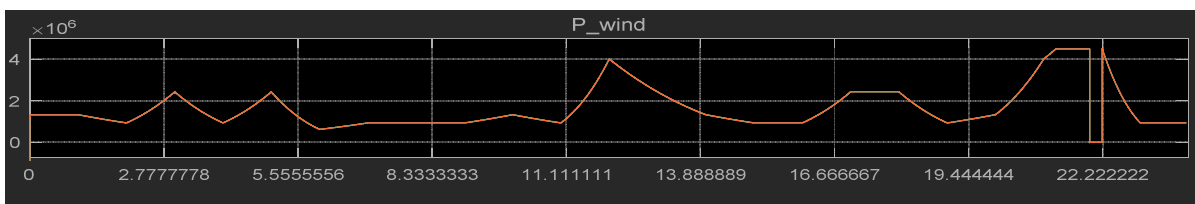


pav. 5.2 saulės elektrinės gamybos kreivė

Vėjo elektrinės gamyba priklauso nuo pateikiamos kreivės kuri šiuo atveju, kinta dienos metu ir apie 22valandą, vėjo greičiui pasiekus 12m/s elektrinė sustoja ir elektra nebegaminama.5.3pav.

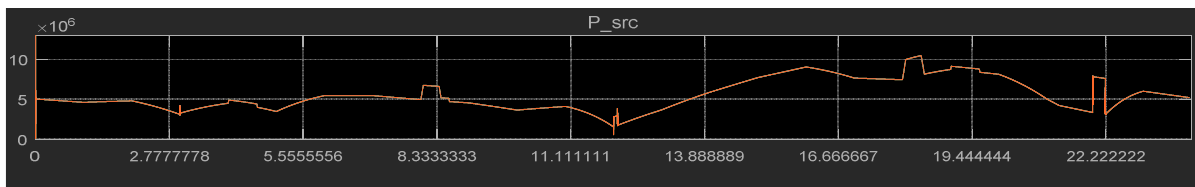


pav. 5.3Vėjo greičio kreivė



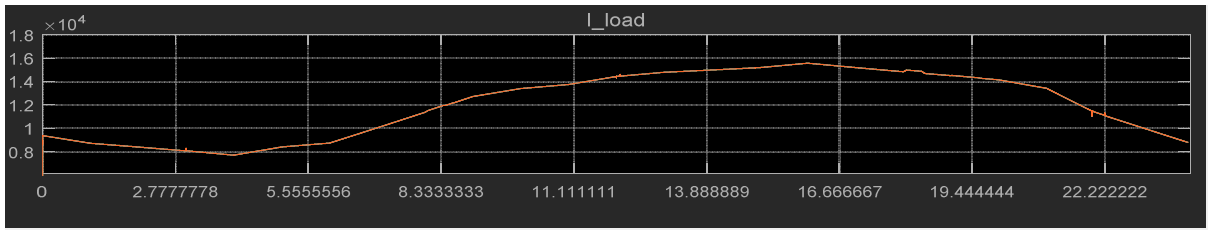
pav. 5.4Vėjo elektrinės gamybos kreivė

Dyzelinis generatorius šiame tinkle yra reikalingas palaikyti energijos balansavimui kai neveikia atsinaujinantys energijos šaltiniai. Dienos metu saules elektrinei pasiekus piką ir pučiant stipriam vėjui generatorius beveik nereikalingas, tačiau išsijungus saulės elektrinei vartojimas yra didelis ir vėjo elektrinei reikalinga pagalba. Taip pat apie 22 valandą, išsijungus vėjo elektrinei generatorius pasiima visą apkrovą 5.5 pav.



pav. 5.5 Generatoriaus gamybos kreivė

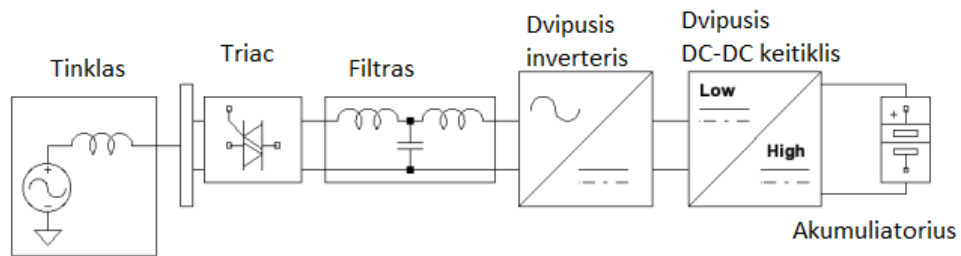
5.6 pav. pavaizduotas modelio apkrovos grafikas, kuris yra tipinis beveik visose energetikos sistemose.



pav. 5.6 apkrovos grafikas

## 6. ELEKTROMOBILIO PRIJUNGIMO PRIE TINKLO PRINCIPAI

Šiame skyriuje aprašyta svarbiausia jungtis elektromobilių prijungimui. Tai yra įkrovimo ir iškrovimo valdiklis.

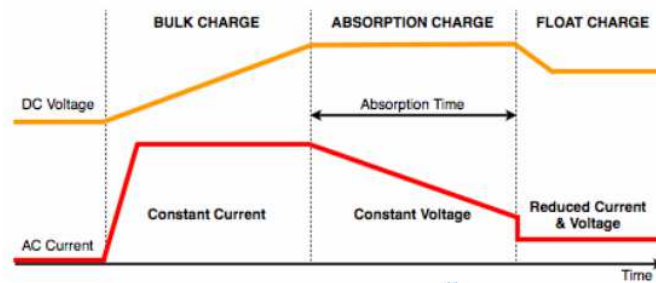


pav. 6.1 Dvipusio ryšio tarp elektromobilio ir tinklo blokinė schema

**Tinklas.** Elektros tinklas tai elektros generavimo ir jos panaudojimo šaltinių sistema. Šiuolaikinė sistema turi labai mažai kaupiklių todėl elektros tinklo generavimas turi būti visais laiko momentais lygus vartojimui. Sistemos balansas matomas iš tinklo dažnio. Sistemos operatorius turi reaguoti į dažnio kitimus. Jei dažnis per didelis sistemoje yra per daug generuojama per daug energijos, palaikyti balansui reikia šiuo atveju sumažinti generavimą arba didinti apkrovą.[11]

Elektromobilio prijungimas prie tinklo leistų palengvinti šį balansavimą, taip pat padidintų tinklo patikimumą, bei suteiktų naują būdą perduoti energiją tarp gamintojo ir vartotojo.

**Akumulatorius.** Visose sistemose kur naudojamas energijos kaupiklis, reikalinga įkrovimo kontrolė, nes reikia nutraukti įkrovimą kai kaupiklis yra įkrautas. Krovimo valdiklis turi būti universalus ir prisitaikyti prie įvairių įkrovimo, iškrovimo ir temperatūros svyravimo sąlygų.



pav. 6.2 Akumulatoriaus įkrovimo stadijos

6.2 pav. matomas 3lygių akumulatoriaus įkrovimas.

*Pirmoji stadija* pagrindinis krovimas, šioje stadijoje iš tinklo bus paprašyta maksimali srovė

*Antroji stadija* pastovios įtampos režimas. Kai pirmojoje stadijoje baterijos įtampa pasiekia reikalingą reikšmę, baterija kraunama pastovia įtampa.

*Trečioji stadija* gilusis įkrovimas, įkrovimo metu sumažinama įtampa ir srovė. Šia įtampą turi valdyti krovimo valdiklis, ji turi būti parinkta taip nesugadintu baterijos.

Šiuo metu populiariausi yra ličio jonų akumulatoriai. Per trumpą laiką užkariavę rinką šie akumulatoriai pasižymi didesne talpa, mažesniu dydžiu ir geresne kaina, nei prieš tai naudojami nikelio metalų hidridų akumulatoriai.

**Ličio jonų akumuliatorių privalumai.** Didelis naudingumas, lengvas energijos perdavimas, ilgas tarnavimo laikas, mažesnė medžiagų kaina, reikia rečiau keisti akumulatorius, geresnė energijos kiekio ir svorio reikšmė, nelieta atminties efekto, Vidutinis elektromobilis pakraunamas per kelias valandas iš 240V tinklo, arba per keliasdešimt minučių su greito įkrovimo stotelėmis.[11]

**Inverteris (NS/KS).** Inverteris yra būtinas verčiant nuolatinę srovę į kintamą. Priklausomai nuo apkrovos ir naudojimo svarbu tinkamai parinkti inverterį. Šiuo atveju parinktas inverteris su impulso pločio moduliacija.

Tokio tipo inverteris parinktas, reikalinga sinusoidė kurios amplitudę ir dažnį lengva numatyti. Amplitudė valdoma kontroliuojant visą ciklą, o dažnis valdomas didinant ar mažinant pulso ciklų skaičių.

Inverteryje naudojama H-tilto schema energijos konvertavimui iš NS/KS į KS/NS. Šio tipo inverteriai labiausiai paplitę ir nesunkiai suprantami.

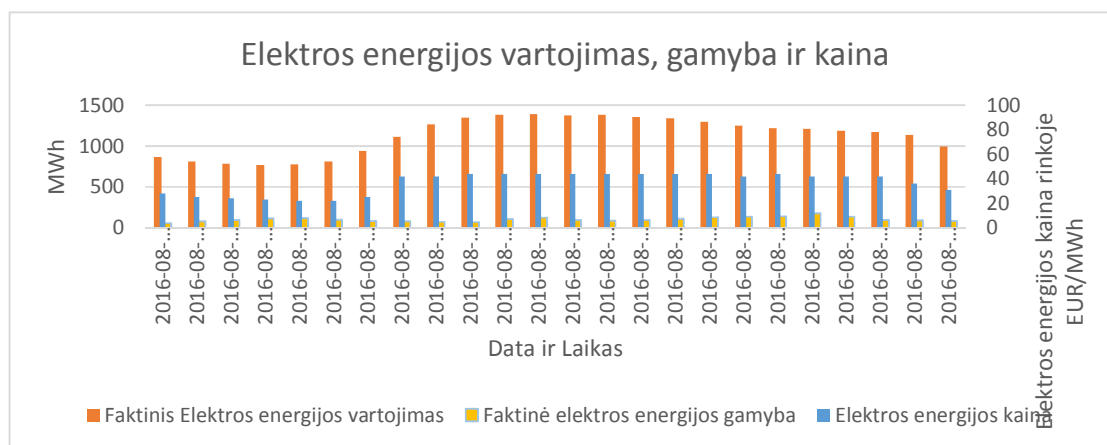
**LCL filtrai.** LCL yra labai svarbus filtruojant sinusoidines sroves kurios siunčiamos į tinklą. Be filtro nesinusoidinės srovės ir aukšto dažnio harmonikos yra perduodamos į tinklą ir gali sukelti nesinusinį įtampos nukritimą, bei padidinę įtampos iškraipymą tinkle.

## 7. PAKEITIMAI REIKALINGI MATLAB MODELIO PRITAIKYMU

**Modelio aktualumo aprašymas.** Pagrindinis V2G tikslas yra padėti tinklui. Dėl to svarbu kuo tiksliau išnagrinėti tinklo veikimą. Tam tikslui naudojami realūs duomenys iš elektros perdavimo sistemos operatoriaus LITGRID[8]. Elektros energijos vartojimas, gamyba ir kaina buvo paimti pasirinkus vieną dieną 2016 rugpjūčio 1d. Lietuvoje neapgaminama pakankamai energijos, kad būtų patenkintas elektros poreikis, todėl naudodama jungtis su Švedija, Latvija, Rusija, Lenkija ir Baltarusija, Lietuva perka elektrą iš kaimyninių šalių. Tokia situacija yra iš dalies palanki Lietuvai, tačiau šalis neturi energetinės nepriklausomybės. Nutraukus tiekimą iš keleto jungčių, Lietuvai tektų pasikliauti, tinklo stabilumui išlaikyti, Kruonio HAE. Šiuo atveju ištobulintas V2G tinklas galėtų padėti Kruonio HAE sustiprinti tinklą stichiniu nelaimių metu ar nutraukus tinklo atšakas su kitomis šalimis.

Kruonio HAE vidutiniškai turi sukaupti 8'000MWh ir 12'000MWh[8]. Netolimoje ateityje standartinė elektromobilio baterija bus 60kWh talpos tai reiškia kad pasiekti Kruonio HAE talpą reikalingi apie 130'000-200'000 elektromobilių. Valstybinės įmonės Regitra duomenis 2017.01.01 užregistruota apie 1'300'000 automobilių[20]. Atsižvelgiant į prognozes iki 2050 tikimasi, kad elektromobiliai sudarys apie 50% visų automobilių(vidutiniškai)[21]. Todėl galima tikėtis kad Lietuvoje bus elektromobiliuose sukauptą apie 40'000MWh elektros energijos. Tačiau pasiekti tokius skaičius reikalingos milžiniškos investicijos į infrastruktūrą, bei skatinimo priemonės rinktis elektromobilį.

**Elektros tinklo duomenys.** Iš Litgrid gauti duomenys 2016 rugpjūčio 1 dienos.



pav. 7.1 Elektros energijos vartojimas, gamyba ir kaina 2016-08-01



V2G sistemai geriau būtų, kad gamyba lenkia vartojimą, tačiau šiuo atveju Lietuvoje, faktinė gamyba sudaro tik iki 10% viso suvartojimo. Todėl V2G tinkamas stabilizuoti elektros energijos kainai, kuri kaip matoma iš 7.1 pav. Skiriasi dvigubai kai elektros vartojimas yra mažas (22 EUR/MWh) ir kai elektros vartojimas pasiekia piką (44 EUR/MWh). Jei šalies gamyba viršytų poreikį sudarinėjant modelį būtų lengviau nustatyti kada yra energijos perteklius. Šiuo atveju sudaromas modelis pagal elektros kainą, todėl išvedus vidurkį gauname 37 EUR/MWh. Šią reikšmę galime priimti kaip slenkstį ir sudaryti logines eilutes

„Jei elektros kaina mažesnė nei 37 EUR/MWh, elektros tinkle vartojimas nedidelis, elektromobilių galimą krauti“

„Jei elektros kaina didesnė nei 37 EUR/MWh, elektros tinkle vartojimas didelis, elektromobilis gali atiduoti energiją į tinklą“

„Jei elektros kaina lygi 37 EUR/MWh, elektros tinkle vartojimas optimalus, elektromobilis gali atiduoti energiją į tinklą ar krauti“ paskutiniu atveju atidavimas ir ar krovimas priklausys nuo baterijos įkrovimo lygio (SOC)

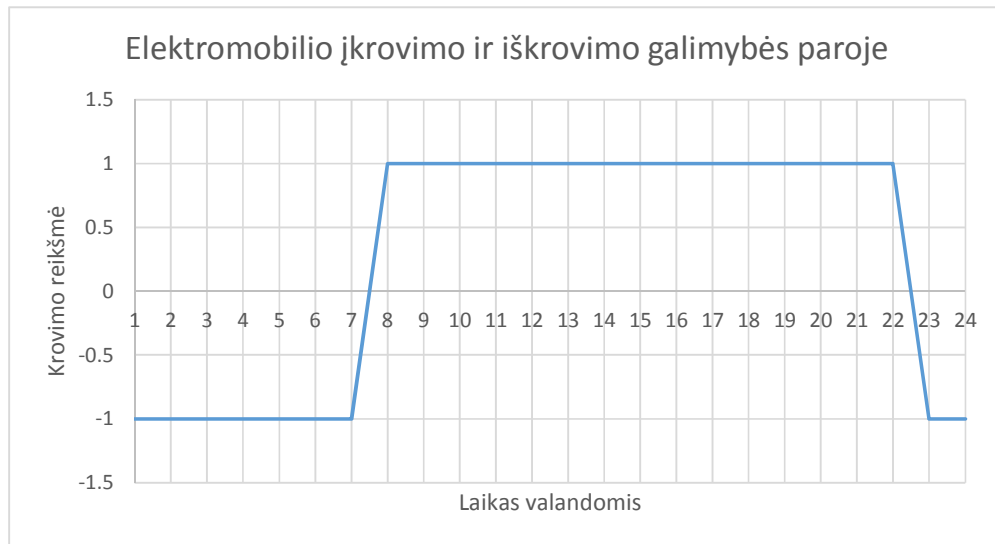
**Įkrovimo lygis (SOC).** Įkrovimo lygis parodo dažniausiai, procentais, kiek energijos yra sukaupęs akumuliatorius. 0% = baterija tuščia (sukauptas energijos kiekis 0 kWh), 100% = baterija pilnai įkrauta (sukauptas energijos kiekis lygus vardiniam elektromobilio baterijos kiekiui) Šis lygis ypač svarbus užtikrinant V2G ne juntamumą vartotojui. Ličio baterijoms nerekomenduojama kad įkrovimo lygis nukristų žemiau 20%, ir būtina tinkamai stebėti ir valdyti krovimą kai energijos kiekis yra virš 80%. Modelyje siekiant užtikrinti baterijos tarnavimo laiką reikia priimti, kad baterija niekada nebus iškraunama žemiau 20% įskaičiuojant kelionę namo. Vidutinė kelionė darbas-namai Lietuvoje yra apie 15 km, tačiau papildomai reikia pridėti atstumą nenumatytiems atvejams todėl nerizikingas atvejis būtų palikti apie 40 km nuvažiuojamo atstumo neskaičiuojant 20% kuriuos rekomenduojama naudoti tik ypatingais atvejais. Paskaičiavus kad Tesla model S su 60 kWh baterija 1 km nuvažiuoti sunaudoja 0,26% baterijos talpos (60 kWh-370 km) gauname kad prie 20% talpos reikia pridėti papildomai 10,4%. [13] SOC valdomo krovimo loginės eilutės:

„Jei SOC daugiau nei 30,4%, tada elektros energiją galima atiduoti į tinklą“

„Jei SOC mažiau nei 30,4%, tada elektros energiją reikia pirkti“

SOC ir energijos kainos loginėms eilutėms valdyti reikalingas valdiklis kuris perduotu tinklo informaciją elektromobiliui ir būtų galima nuspręsti ką daryti.

Norint viską perkelti į Matlab aplinką duomenis reikia supaprastinti. Naudojant logines eilutes gauname paros elektromobilio įkrovimo iškrovimo grafiką



pav. 7.2 Elektromobilio akumuliatoriaus įkrovimo ir atidavimo į tinklą grafikas pagal elektros kainą

Grafike yra 2 pagrindinės reikšmės -1 (įkrovimas) arba 1 (galimybė atiduoti energiją į tinklą). Iš grafiko galima spręsti, kad palankiausia kaina krauti elektromobilį bus 23:00 iki 7:00, o geriausias laikas parduoti dieną nuo 7:00 iki 22:00.

Tačiau reikia nepamiršti ir SOC reikšmės. Kad būtų gaunami įvairesni rezultatai SOC reikšmės parenkamos atsižvelgiant į įvairias situacijas sudarant profilius. Susisteminimui SOC reikšmės supaprastinamos iki

-1 (elektromobilis turi mažiau nei 30,4% akumuliatoriaus talpos)

0 (elektromobilis turi lygiai 30,4% akumuliatoriaus talpos)

1 (elektromobilis turi daugiau nei 30,4% akumuliatoriaus talpos)

SOC tikrinimas visada kai elektromobilis pajungtas prie tinklo.

Sudaryti 3 profiliai, kiekvienas iš jų atitinka įvairias gyvenimiškas situacijas.

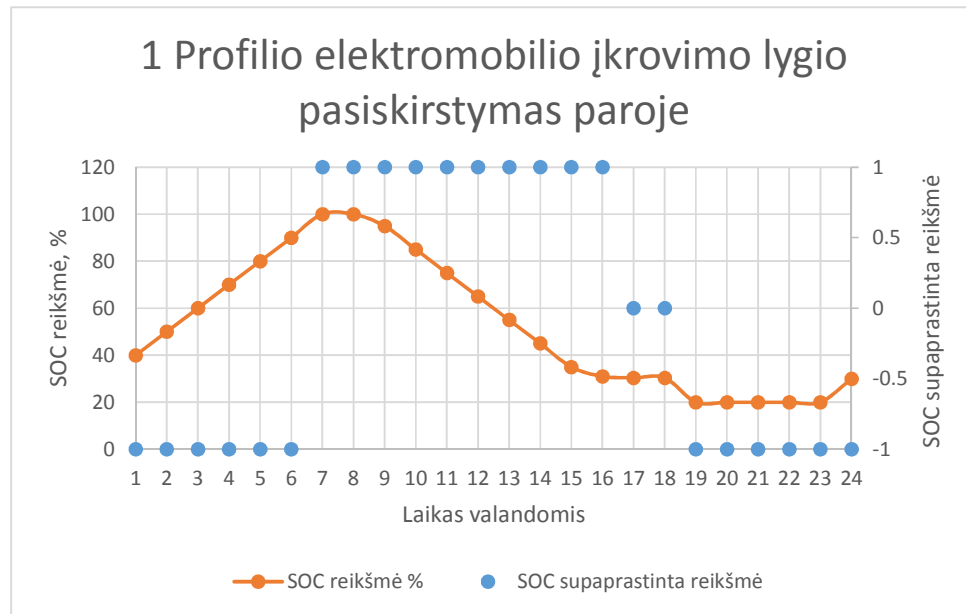
Šie profiliai surašyti 2 lentelėje.

lentelė 2 Elektromobilio įkrovimo lygiai per parą

Laikas paroje, h	profilis 1 SOC supaprastinta reikšmė	profilis 1 SOC reikšmė, %	profilis 2 SOC supaprastinta reikšmė	profilis 2 SOC reikšmė, %	profilis 3 SOC supaprastinta reikšmė	profilis 3 SOC reikšmė, %
1	-1	40	-1	25	-1	40
2	-1	50	-1	25	-1	50
3	-1	60	-1	25	-1	60
4	-1	70	-1	25	-1	70
5	-1	80	-1	25	-1	80
6	-1	90	-1	25	-1	90
7	1	100	-1	25	1	100
8	1	100	-1	25	1	100
9	1	95	-1	20	0	95
10	1	85	-1	20	0	95
11	1	75	-1	20	0	95
12	1	65	-1	20	0	95
13	1	55	-1	20	0	95
14	1	45	-1	20	0	95
15	1	35	-1	20	0	95
16	1	31	-1	20	0	95
17	0	30,4	0	30,4	0	95
18	0	30,4	0	30,4	0	95
19	-1	20	-1	20	1	85
20	-1	20	-1	20	1	75
21	-1	20	-1	20	1	65
22	-1	20	-1	20	1	55
23	-1	20	-1	20	1	45
24	-1	30	1	32	1	50

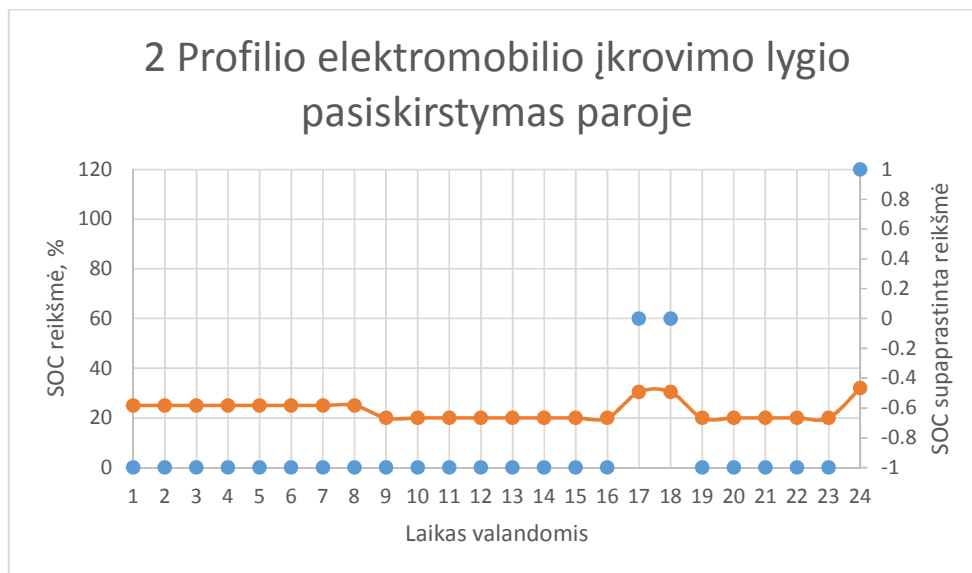
**1 profilis** – tipinis elektromobilio naudotojas per naktį paliktas krautis elektromobilis, ryte pilnai įkrautas, paruoštas, keliauti į darbą darbe elektromobilis prijungiamas prie tinklo ir patikrinęs Elektros kainos tinkamumą pradeda atiduoti energiją tinklui. X pav. Darbo pabaigoje elektromobilis

atidavęs maksimalų energijos kiekį tinklui paruoštas kelionei namo. Grįžus elektromobilis prijungiamas prie tinklo laukia kol krovimo kaina bus tinkama.



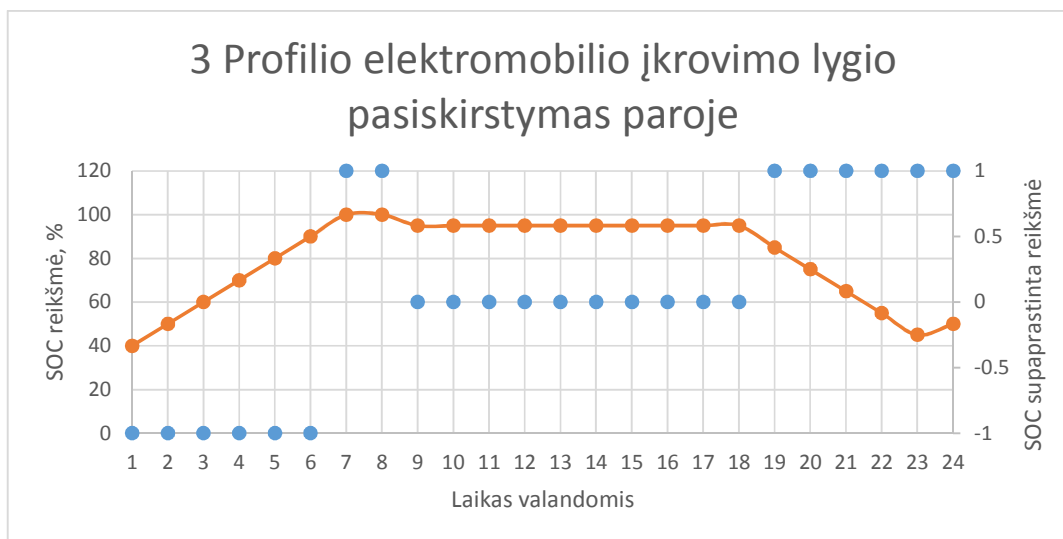
pav. 7.3 1 profilio SOC kreivės

**2 profilis** - elektromobilio naudotojas pamiršta grįžęs namo prijungti elektromobilį ir jis nesikrauna visą naktį, su baterijos likučiu galima nuvažiuoti iki darbo, tačiau darbe nėra atliekamos energijos kurią galima būtų atiduoti į tinklą. Negadinant baterijos prieš darbo pabaigą elektromobilis pakraunamas iki 30,4% grįžimui namo. Grįžus namo elektromobilis prijungiamas prie tinklo ir laukia kol įkrovimo kaina bus tinkama.



pav. 7.4 2 profilio SOC kreivės

**3 profilis** – naktį įkrovus elektromobilį vartotojas nuvažiuo į darbą, neturi galimybės prijungti elektromobilio prie tinklo. Grįžus namo, elektros kaina vis dar tinkama parduoti sukauptą energiją į tinklą. Kainai sumažėjus, elektromobilis pradamas krauti.



pav. 7.5 3 profilio SOC kreivės

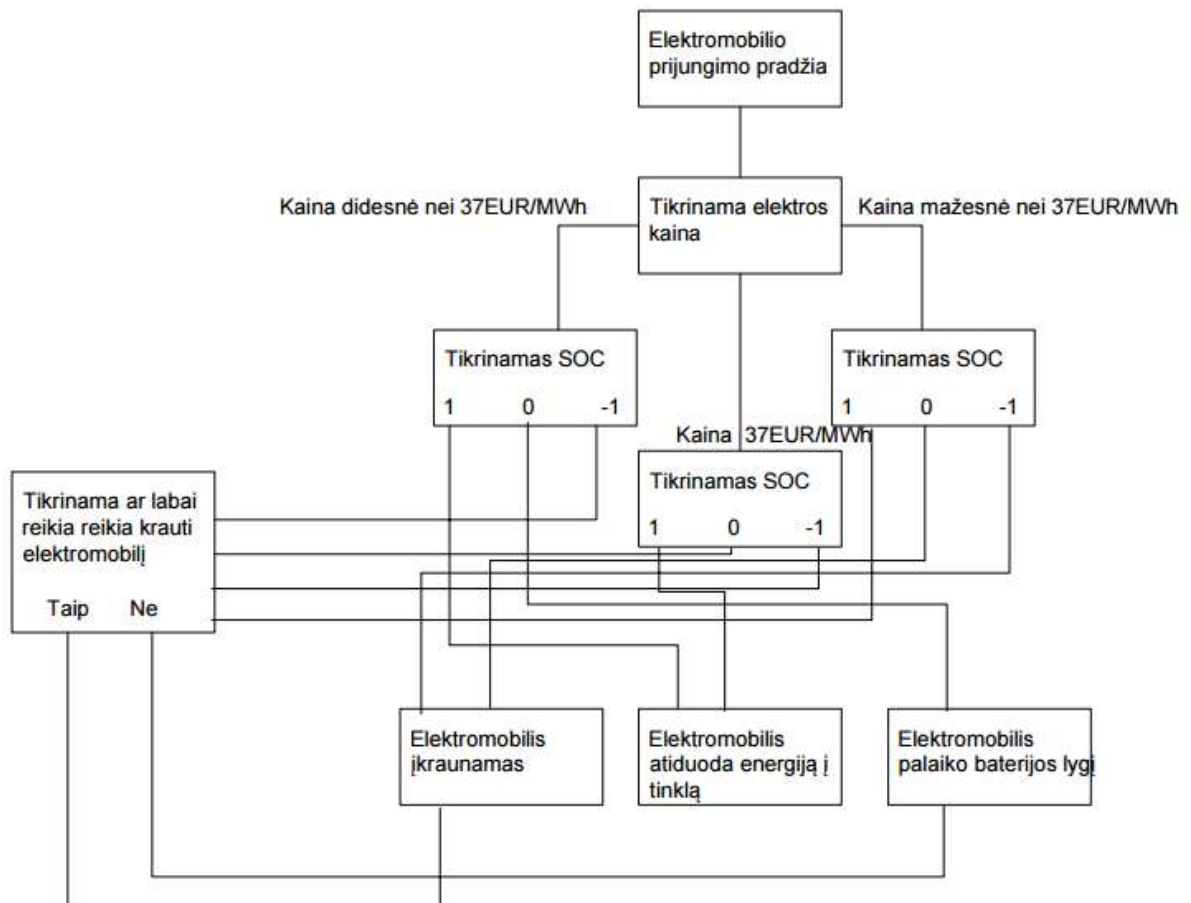
**Valdiklis.** Tinkamai valdyti įkrovimo ir atidavimo š tinklą ciklus reikalingas valdiklis, kuris gautu tinklo duomenis ir elektromobilio duomenis. Naudojant supaprastintus duomenis galima sudaryti seką pagal kurią valdiklis turi pateikti duomenis apie tinklą, elektros kainą, bei sutikrinus su SOC

priimti sprendimą elektromobilio būsenai tinkle. 7.6 pav. pavaizduota loginė seka, gaunamos reikšmės:

1- elektromobilis įkraunamas

0- elektromobilis palaiko įkrovimo lygį

-1 – elektromobilis atiduoda energiją į tinklą



pav. 7.6 Valdiklio loginė seka

**Akumulatorius.** Akumulatorius labai svarbus analizuojant elektromobilių sistemas. Akumulatorius elektromobilyje yra labai sudėtingas elementas, kuris negali būti tiksliai modeliuojamas dėl to, kad jame vyksta cheminiai procesai. Kuriant kuo realesnį akumulatoriaus modelį reikia, reikia atsižvelgti į vidinius ir išorinius veiksnius, tokius kaip temperatūra, amžius ir nusidėvėjimas naudojant Arenijaus teorijas, taip pat svarbus pakrovimo ciklas baterijos

nusidėvėjimo skaičiavime. Ličio baterijos pasirinktos šiame darbe, dėl gerų savybių, bei populiarumo naudojant elektromobiliuose.[11]

**Akumulatoriaus temperatūra.** Akumulatoriaus temperatūra realiomis salygomis stipriai daro įtaką visos sistemos darbui, tai atsitinka dėl akumulatoriuje vykstančių cheminių procesų. Dėl to modelyje temperatūrinis efektas turi būti įskaičiuotas. Palengvinant modeliavimą, temperatūra parenkama viena ir nesikeičianti per dieną, tai galima padaryti toliau plėtojant darbą.

Elektrocheminės reakcijos vykstančios akumulatoriuje priklauso nuo temperatūros. 25C yra darbinė temperatūra prie kurios atliekami testai. Arenijaus dėsnis nurodo kad cheminių procesų greitis kinta eksponentiškai priklausomai nuo temperatūros. Taip pat elektronai ar jonai, gali judėti didesniu greičiu ir mažinant savitąją celės varžą, bei padidindami įkrovimo talpą.

Žemoje temperatūroje, procesai vyksta atvirkščiai, sulėtėjus elektronų ar jonų judėjimui akumulatorius kraunasi lėčiau, bei sumažėja talpa.

Norint nesugadinti akumulatoriaus, yra nustatytos ribos, žemutinė ir viršutinė. Naudojant akumuliatorių tarp ribų, įkrovimo talpa ir iškrovimo ciklą skaičius yra optimizuotas. Akumuliatorių išlaikyti ribose naudojami šildymo ir vedimo įrenginiai.

$$\varphi = \varphi_{ref} * \exp\left(\frac{E_a(\varphi)}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right) \quad [4]$$

$\varphi$  - baterijos cheminės reakcijos greitis

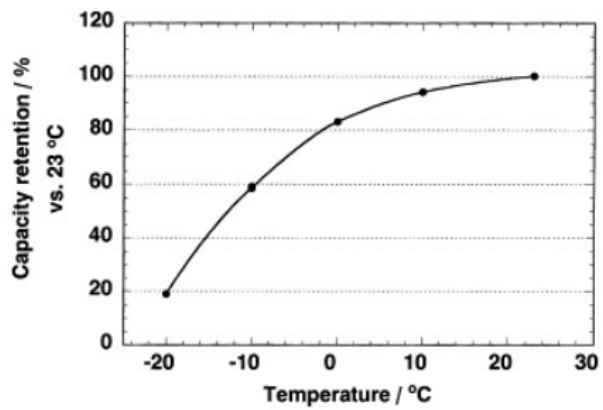
$\varphi_{ref}$  - atskaitos temperatūra

$E_a(\varphi)$  aktyvavimo energija

R - dujų konstanta 8,3144 JK-1mol-1

T - terpės temperatūra

Baterijos talpos pasikeitimų priklausomybė nuo temperatūros pavaizduota 7.7 pav. Gali būti ir kitokių kreivių priklausomai nuo cheminių savybių, tačiau ši paimta kaip pavyzdys.

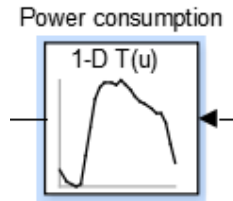


pav. 7.7 baterijas talpos priklausomybė nuo temperatūros



## 8. PAKEITIMŲ ĮGIVENDINIMAS MATLAB APLINKOJE

**Apkrovos kreivė.** Apkrovos kreivės pakeitimas į 2016-08-01 dienos apkrovą Lietuvoje. „Power consumption“ grafoje suvedami apkrovos duomenys gauti iš Litgrid[8]. Šiame bloke, duomenys turi būti suvesti proporcingai pagal didžiausią dienos apkrovą, tą dieną apkrova buvo didžiausia 12 valandą- reikšmė „1“.



pav. 8.1 "Power consumption" blokas apkrovos duomenims įvesti

Viewing "n-D Lookup Table" block data [T(:)]:

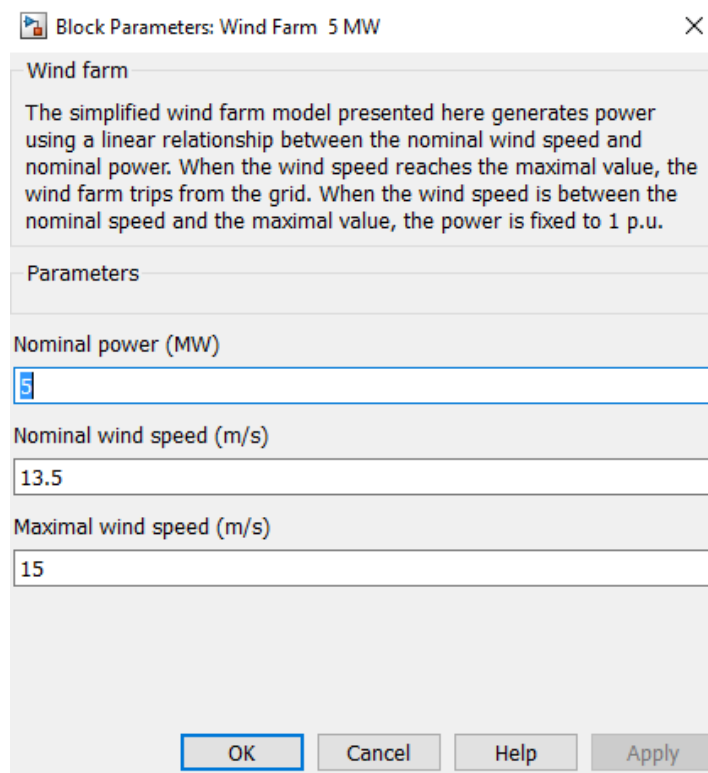
Breakpoints	Column	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
Row	--	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
(1)	--	0.621	0.583	0.562	0.553	0.558	0.583	0.677	0.802	0.91	0.967	0.994	1	0.989	0.994	0.975	0.962	0.93	0.898	0.875	0.989	0.875	0.854	0.81	0.66

pav. 8.2 Lietuvos apkrovos duomenų įvedimas į „power consumption“ bloką

**Vartotojai.** Neapkraunant programos dideliais duomenimis, sistema sumažinama 100 kartų todėl reikia pakoreguoti sistemos suvartojimą. Litgrid duomeninis Lietuvos galios poreikis yra apie 1748Mw, tačiau duotąją dieną sistemos didžiausia galia buvo 1391MW, suapvalinus įvedama kad apkrova bus 14MW.

pav. 8.3 Apkrovos galios parinkimo blokas

**Generacijos šaltinių pertvarkymas.** Šiuo metu tinkle generacija susideda iš 3 blokų: saulės elektrinės, vėjo elektrinės ir dyzelinio generatoriaus. Tam, kad sistema būtų privesta kuo arčiau prie Lietuvos energijos generacija iš atsinaujinančių šaltinių turi būti pakeista realesniais duomenimis. Lietuvos energetikos ministerijos duomenimis [22] šiuo metu Lietuvoje yra apie 500MW vėjo elektrinių instaliuotos galios, ir apie 70MW saulės elektrinių instaliuotos galios. Norint neapkrauti programos dideliais duomenimis sistema modeliuojama 100 kartų mažesnė. Todėl reikia pakeisti saulės ir vėjo elektrinių galias. Vėjo elektrinės galia keičiama į 5MW 8.3 pav., o saulės elektrinės galia keičiama į 0,7MW 8.4pav. Saulės elektrinės galia šiame modelyje yra tiesiogiai priklausoma nuo modulių ploto, todėl keičiant galią reikia keisti elektrinės plotą. Dyzelinis generatorius paliekamas kaip energijos šaltinis imituojantis elektros importą iš kitų šalių, jo galia 15MW.



Block Parameters: Wind Farm 5 MW

Wind farm

The simplified wind farm model presented here generates power using a linear relationship between the nominal wind speed and nominal power. When the wind speed reaches the maximal value, the wind farm trips from the grid. When the wind speed is between the nominal speed and the maximal value, the power is fixed to 1 p.u.

Parameters

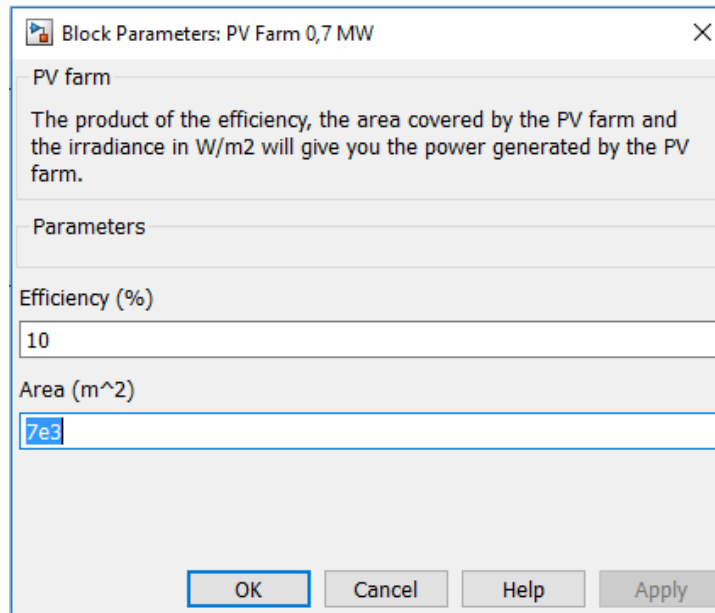
Nominal power (MW)

Nominal wind speed (m/s)

Maximal wind speed (m/s)

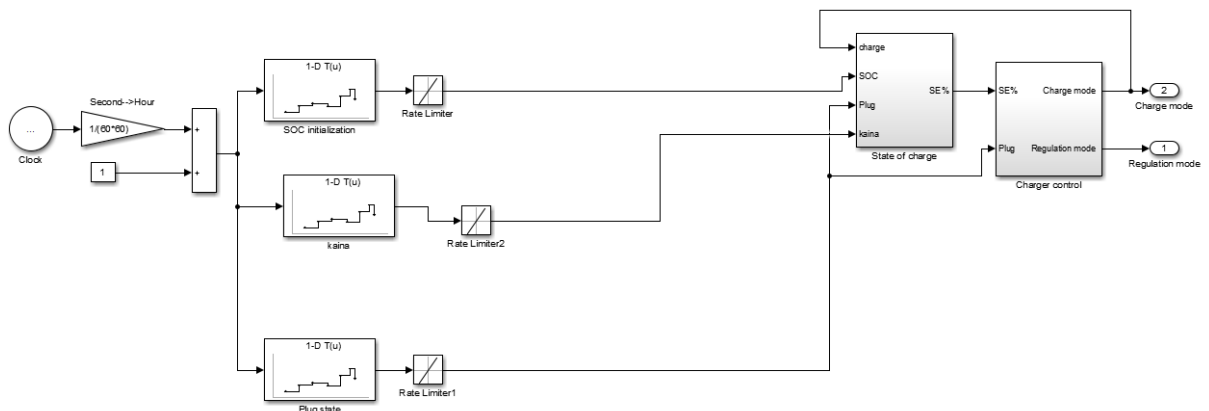
OK Cancel Help Apply

pav. 8.4 Vėjo elektrinės galios parinkimas



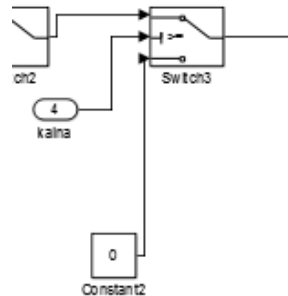
pav. 8.5 Saulės elektrinės galios parinkimas

**SOC, „Plug State“, elektros kaina.** Taip pat modelyje reikia atnaujinti SOC, „plug state“, blokus, bei sukurti naują bloką „kaina“. Šiuose blokuose suvedami duomenys apie SOC iš 2 lentelės. „plug state“ blokas nurodo ar elektromobilis prijungtas prie tinklo duotuoju laiku. Kainos blokas sukuriamas taip kad leistu krovimą kai energijos didesnė už vidutinę duotąjį dieną ir kad neleistų krovimo kai kaina sumažėja, tai plačiau aprašyta 7 skyriuje.



pav. 8.6 SOC, plug state ir kainos tinkamumo bloko vieta

Kad kainos blokas būtų prijungtas reikia pridėti papildomą jungiklį sekančiame „State of charge“ bloke 8.7 pav.



pav. 8.7 Kainos tinkamumo jungiklis

**Profilio parinkimas.** Norint kad modelis veiktų tik su pasirinktu V2G profiliu kuris buvo modifikuotas reikia atjungti visus kitus profilius tai atliekama pagrindiniame lange pasirinku V2G bloką. Šiuo atveju modifikacijos buvo padarytos 1 profilio parametrams todėl visi sekantys profiliai nustatyti kaip „0“ reikšmės ir nenaudojami.

Number of cars (profile 1)	100
Number of cars (profile 2)	0
Number of cars (profile 3)	0
Number of cars (profile 4)	0
Number of cars (profile 5)	0

pav. 8.8 Profilio pasirinkimas

## 9. GAUTŲ DUOMENŲ ANALIZĖ

Generacijos duomenys. Norint palyginti duomenis bus vykdomos 4 simuliacijos.

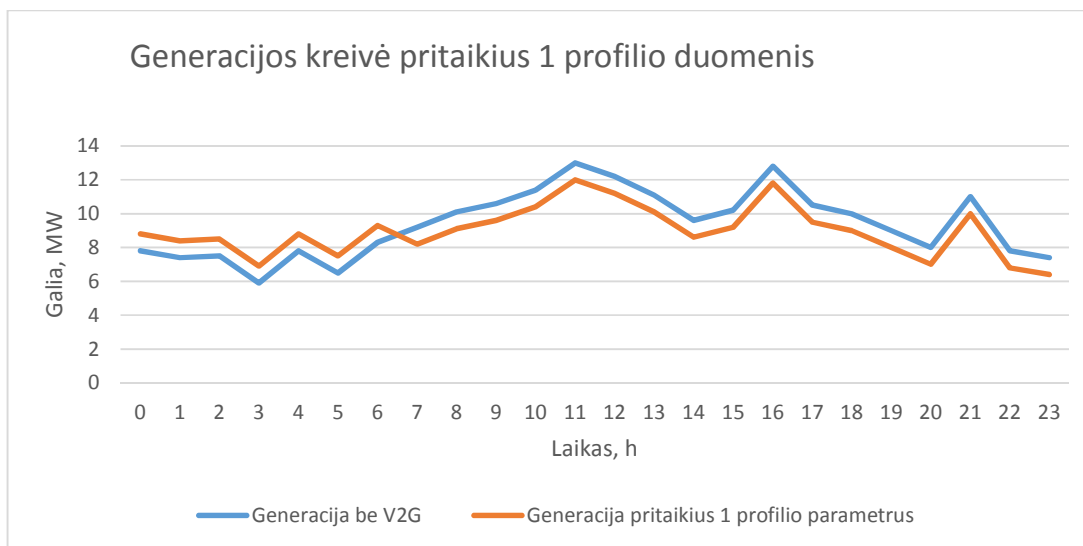
Tinklas be V2G

Tinklas su 1profilio parametrais

Tinklas su 2profilio parametrais

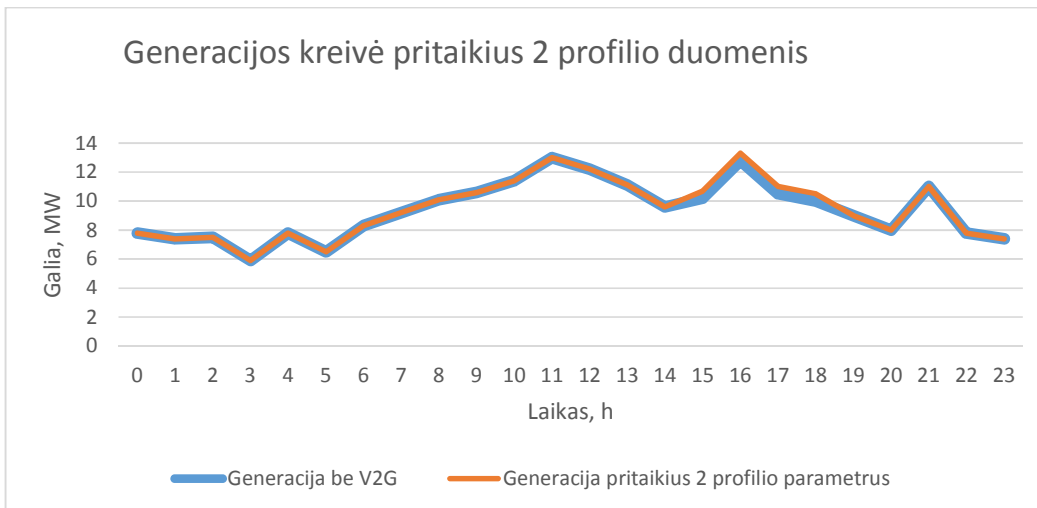
Tinklas su 3 profilio parametrais

**1 Profilio kreivė.** 9.1 pav. Ši kreivė parodo tobulos V2G sistemos veikimą ir viso darbo tikslą, tai yra naktį energijos suvartojimas yra pakeliamas, o dieną kai energijos trūksta sumažina galios reikalavimus iš tinklo.



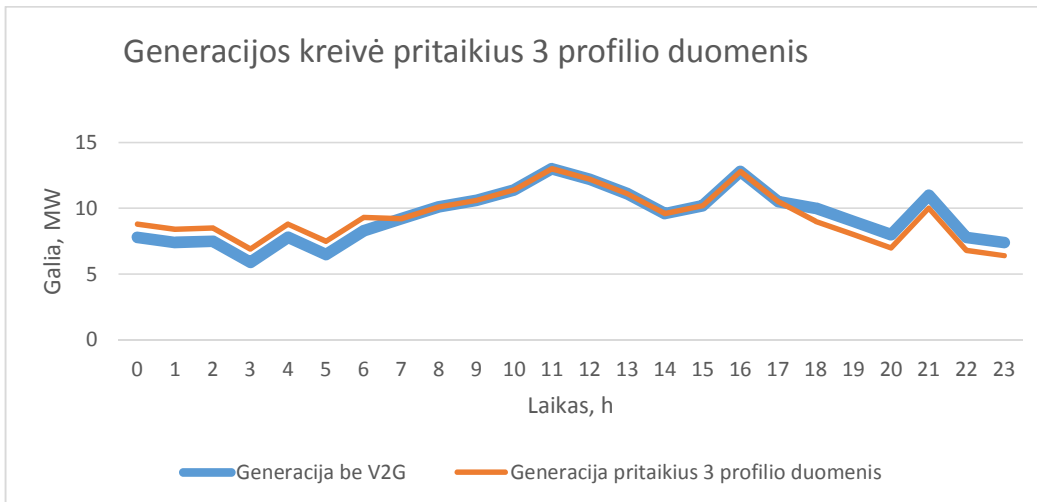
pav. 9.1 1 profilio generacijos kreivė

**2 Profilio kreivė.** Ši kreivė skirta kreivė skirta parodyti modelio neveikšnumui jei naudotojas yra neatsakingas, kaip buvo aprašyta 7 skyriuje, elektromobilis nebuvo pajungtas krautis naktį, todėl generatorius dirbo normaliu režimu, o dieną tikrinant kainos parametrus elektromobilis negalėjo atiduoti energijos į tinklą, nes buvo neįkrautas 9.2 pav. Apie 17h elektromobilis, kad nebūtų gadinamas akumulatorius pareikalauja papildomos energijos iš tinklo taip dar padidindamas apkrovą tinkle. Tai sukuria vieną iš V2G tinklo funkcijų „Pause on demand“ (POD). Ji bus aptariama vėliau.



pav. 9.2 2 profilio generacijos kreivė

**3profilio kreivė.** Šis variantas, kai elektromobilis nėra prijungiamas prie tinklo dieną (darbo metu), nėra pats blogiausias. Naktį energija yra naudojama krovimui, o vakare grįžus iš darbo yra ir prijungus elektromobilį yra vėl tikrinama energijos kaina, jei tinkama elektromobilis spės atiduoti dalį energijos į tinklą.



pav. 9.3 3profilio generacijos kreivė

POD. „Pause On Demand“ tai tinklo funkcija leidžianti sustabdyti elektromobilių krovimąsi kai tinklo apkrova didelė. Ši funkcija nesunkiai išspręstu dalį problemų kylančių tinklui dėl didelės elektromobilių naudojamos galios. Vartotojai prijungę elektromobilius „piko“ metu tiesiog negalėtų

jų įkrauti. Tačiau šią funkciją reikia būtinai su galimybe krauti elektromobilį didesne kaina piko metu.

## 10.ELEKTROMOBILIO Į TINKLĄ EKONOMINĖ ANALIZĖ

Projekto ekonominiam įvertinimui naudosime atsipirkimo trukmės metodą. Šis metodas parodo laiką, per kurį iš elektromobilio gaunamos įplaukos padengia investicijai skirtas išlaidas. Kuo trumpesnis yra atsipirkimo laikas, tuo projektas yra naudingesnis. Kai pradinės investicijos susilygina su gautais pinigų srautais projektas atsiperka[23]:

$$K = \sum_{t=0}^{T_a} CF_t \quad [5]$$

K- pradinės investicijos;

$CF_t$  – pinigų srautas laiko momentu t;

$T_a$  – atsipirkimo trukmė.

Norėdami įvertinti projekto pinigų vertės kitimą bėgant laikui, kurį nurodo diskonto norma k, pinigų srautai yra diskontuojami ir taip ieškomas balansas:

$$K = \sum_{t=0}^{T_a} \frac{CF_t}{(1+k)^t} \quad [6]$$

Atsipirkimo trukmė, diskontuojant pinigų srautus, skaičiuojama:

$$T_a = \frac{-\ln(1 - \frac{k \cdot K}{CF})}{\ln(1+k)} \quad [7]$$

Čia k-diskonto norma;

K-pradinės investicijos;

CF-metinis pinigų srautas.

$$CF_t = NP + C_a \quad [8]$$

čia  $CF_t$  – metinis pajamų srautas, €/m.;

NP – Grynasis pelnas, €/m.;

$C_a$  – nusidevėjimo ir amortizacijos išlaidos, €/m

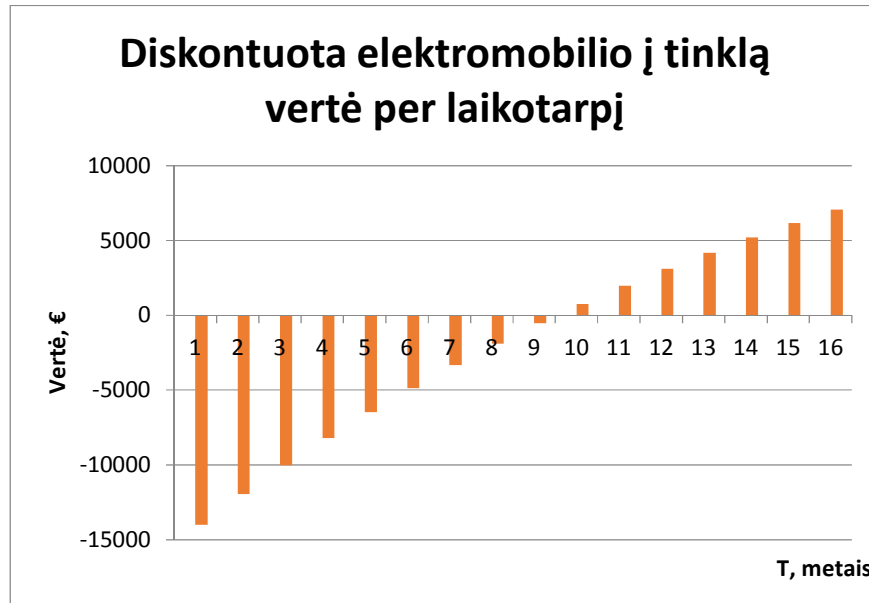
Investicijų likvidumą, kuris yra atvirkščiai proporcingas rodiklių vertėms, apibūdina atsipirkimo laiko rodikliai. Kuo laiko rodiklio reikšmė mažesne, tuo didesnis likvidumas ir projektas yra priimtinesnis.[23]



## Elektromobilio į tinklą ekonominiai skaičiavimai

lentelė 3 Elektromobilio į tinklą modelio atsipirkimo prognozavimas vartotojui

	Reikšmė	Komentarai
Akumulatoriaus talpa, kWh	60	Iš gamintojo svetainės
Akumulatoriui įkrauti reikalinga energija įskaičiavus nuostolius 15%, kWh	69	15% - vidutiniai nuostoliai prarandami kraunant elektromobilį (60kWh+15%)
Maksimalus energijos kiekis perduodamas į tinklą paliekant SOC>30,4% , kWh	41,76	SOC lygis nustatytas 7 skyriuje (60kWh-30,4%)
Maksimalus energijos kiekis perduodamas į tinklą įskaičiavus nuostolius 10%, kWh	37,584	Perduodant energija atgal į tinklą reikalinga konversija NS/NS ir NS/KS įskaičiuojami jos nuostoliai (41,76kWh-10%)
Energijos supirkimo kaina, €/kWh	0,186	Saulės elektrinės integruotos į namą supirkimo kaina
Pradinės investicijos, K	14000	Akumulatoriaus kaina 200€/kWh Įkrovimo/iškrovimo stotelės kaina 2000€
Metinis pinigų srautas, CF	2047	Metinis uždarbis (37,584kWh*365*0,186€) – amortizacija ir nuvertėjimas (504€)
Atsipirkimo trukmė, T <sub>a</sub>	9	Pagal 7 formulę, metais



pav. 10.1 diskontuota elektromobilio į tinklą vertė per laikotarpį

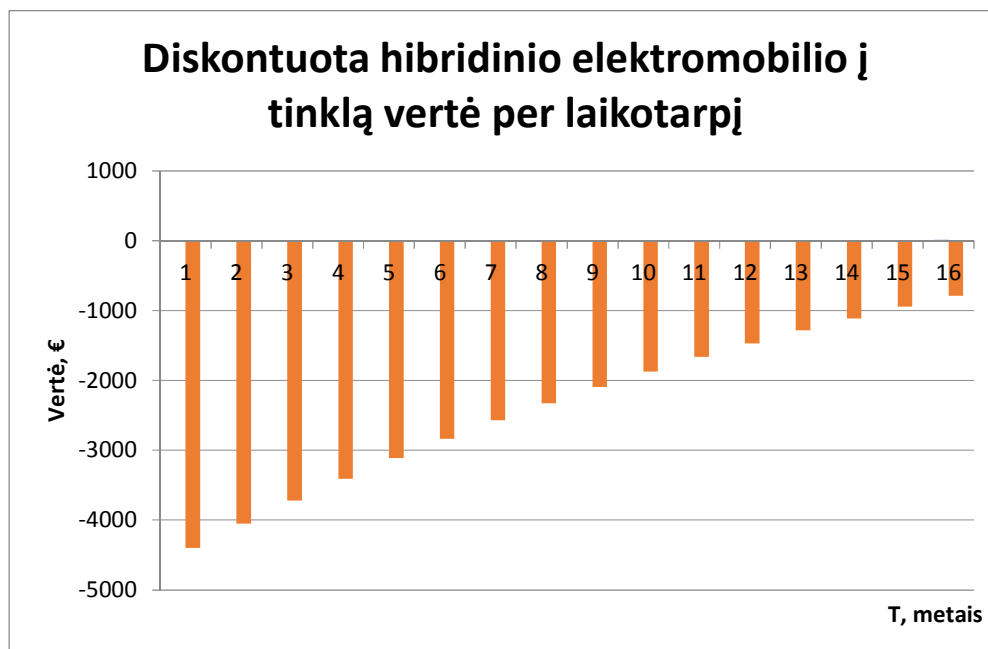
Remiantis 3 lentelėje pateiktais skaičiavimais gauta, kad elektromobilio akumulatorius atsipirks per 9 metus, bet nėra aiškus akumulatoriaus gyvybingumas po 9 metų, nes elektromobilių rinka yra nauja ir technologijos sparčiai tobulėja.

### Hibridinio elektromobilio į tinklą ekonomiai skaičiavimai

lentelė 4 Hibridinio automobilio akumulatoriaus prognozuojamas atsipirkimas

	Reikšmė	Komentarai
Akumulatoriaus talpa, kWh	12	Iš gamintojo svetainės
Akumulatoriui įkrauti reikalinga energija įskaičius nuostolius 15%, kWh	13,8	15% - vidutiniai nuostoliai prarandami kraunant hibridinį automobilį (12kWh+15%)
Maksimalus energijos kiekis perduodamas į tinklą paliekant SOC > 30,4% , kWh	8,352	SOC lygis nustatytas 7 skyriuje (12kWh-30,4%)
Maksimalus energijos kiekis perduodamas į tinklą įskaičius nuostolius 10%, kWh	7,5168	Perduodant energija atgal į tinklą reikalinga konversija NS/NS ir NS/KS įskaičiuojami jos nuostoliai 8,352kWh-10%)

	Reikšmė	Komentarai
Energijos supirkimo kaina, €/kWh	0,186	Saulės elektrinės integruotos į namą supirkimo kaina
Pradinės investicijos, K	4400	Akumuliatoriaus kaina 200€/kWh Įkrovimo/iškrovimo stotelės kaina 2000€
Metinis pinigų srautas, CF	350,6	Metinis uždarbis (7,5168kWh*365*0,186€) – amortizacija ir nuvertėjimas (158€)
Atsipirkimo trukmė, T <sub>a</sub>	24	Pagal 7 formulę, metais



pav. 10.2 Diskontuota hibridinio automobilio į tinklą vertė per laikotarpį

Remiantis gautais duomenimis hibridinio automobilio akumulatorius per yra per mažos talpos, kad V2G tinkle dirbtų efektyviai.

## 11. IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę buvo nustatyta, kad 2030-2050m tikimasi, kad elektromobilių dalis rinkoje sieks nuo 30% iki 50%. Tai lems žymiai didesnę energijos suvartojimą, beto bus reikalingos didelės investicijos į elektros tinklo atnaujinimą. Šiame darbe išsiaiškintos technologijos gali sumažinti pasekmes tinklui.
2. Išnagrinėjus literatūros šaltinius, buvo nuspręsta sukurti 3 profilius kurie atitiktų realias gyvenimo situacijas ir juos panaudoti modeliuojant sistemą. Taip pat išnagrinėjus vidutinio nuvažiuojamo atstumo duomenis buvo nustatyta, kad bateriją galima iškrauti iki 30,4%, tokia talpa modelyje naudotam elektromobiliui vis dar leistu palaikyti gyvybingą bateriją ir patenkinti vairuotojams reikalinga atstumą važiuojant namo, ar atsitikus nenumatytam atvejui.
3. Šiame darbe išnagrinėtas jau sukurtas modelis, susidedantis iš atsinaujinančių šaltinių, apkrovos, elektromobilių ir tinklo reguliavimo. Gauti pradiniai duomenys reikalingi tolimesniam modelio tobulinimui.
4. Matlab modelis buvo patobulintas pritaikant realia apkrovos kreivę, įvedant elektros kainos reguliavimą. Taip pat pritaikyti pagal literatūros analizę gauti akumuliatorių duomenys ir sudaryti elektromobilių naudotojų profiliai. Gauti duomenys panaudoti skaičiuojant technologijos atsiperkamumą vartotojui.
5. Paskaičiavus šios technologijos atsiperkamumą prieita išvada, technologijos naudojimas vartotojui atsipirks tik naudojant didelės talpos akumulatorius, nes pirminis įkrovimo/iškrovimo stotelės įrengimas yra per brangus. Taip pat tolimesniuose tyrimuose nerekomenduojama tirti hibridinių automobilių akumuliatorių panaudojimo, nes jie yra per mažos talpos V2G modelyje veikti efektyviai.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

### Elektroniniai leidiniai:

1. Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates  
Prieiga per internetą:  
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0378775313010215> ;  
žiūrėta: 2016-06-12
2. Mažos galios autonominės vėjo jėgainės sistemos tyrimas,  
Prieiga per internetą:  
<http://gs.elaba.lt/object/elaba:1908231/1908231.pdf>;  
žiūrėta 2016-06-12
3. Aukštesniųjų įtampos harmonikų aktyviųjų filtrų efektyvumo tyrimas  
Prieiga per internetą:  
[http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1917209/datastreams/ATTACHMENT\\_1917212/content](http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1917209/datastreams/ATTACHMENT_1917212/content);  
žiūrėta 2016-06-12
4. Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.mdpi.com/1996-1073/7/4/2449/pdf> ;  
žiūrėta 2016-06-12
5. Electric vehicle smart charging and vehicle-to-grid operation,  
Prieiga per internetą:  
<http://www-tandfonline-com.ezproxy.ktu.edu/doi/abs/10.1080/17445760.2012.663757> ;  
žiūrėta 2016-06-12
6. Wide area control for improving stability of a power system with plug-in electric vehicles,  
Prieiga per internetą:  
[http://brain2grid.org/documents/mypaper/EFRI\\_publication\\_1288190162.pdf](http://brain2grid.org/documents/mypaper/EFRI_publication_1288190162.pdf) ;  
žiūrėta 2016-06-12

7. AUKŠTESNIOSIOS HARMONIKOS ŽEMOS ĮTAMPOS TINKLUOSE,  
Prieiga per internetą:  
[http://elibrary.lt/resursai/Mokslai/VIKO/EIF\\_051118/Bugenis\\_Krikstaponis\\_Skucas.pdf](http://elibrary.lt/resursai/Mokslai/VIKO/EIF_051118/Bugenis_Krikstaponis_Skucas.pdf) ;  
žiūrėta 2016-06-12
8. Litgrid, Lietuvos elektros sistemos duomenys,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.litgrid.eu/index.php/sistemas-duomenys/79> ;  
žiūrėta 2016-06-12
9. Lithium-Ion Batteries for Off-Grid Systems,  
Prieiga per internetą:  
<https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/equipment-products/lithium-ion-batteries-grid-systems> ;  
žiūrėta 2016-06-12
10. Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0306261913004121> ;  
žiūrėta 2016-06-12
11. Real-Time Modelling of Vehicle-to-Grid System,  
Prieiga per internetą:  
<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/51ae419aeae4d.pdf> ;  
žiūrėta 2016-06-12
12. Utilization of excess wind power in electric vehicles,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0301421513006411> ;  
žiūrėta 2016-06-12
13. Sensitivity of battery electric vehicle economics to drive patterns, vehicle range, and charge strategies,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0378775312005290> ;  
žiūrėta 2016-06-12

14. An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve,  
Prieiga per internetą:  
<http://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/7da7/1a588ccbcd673dd122295ea46c1dedcf7adf.pdf>  
žiūrėta 2016-06-12
15. Harmonic Study of Electric Vehicle Chargers,  
Prieiga per internetą:  
<http://joa.csee.org.cn/Public/DownloadFile.aspx?FileStorageId=e5efbbe1-8534-4b16-8478-db08467cca9b> ;  
žiūrėta 2016-06-12
16. Coordinated Charging Optimization Strategy of Electric Vehicles ,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.aidic.it/cet/16/51/205.pdf> ;  
žiūrėta 2016-06-12
17. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction,  
Prieiga per internetą:  
<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0378775310019142> ;  
žiūrėta 2016-06-12
18. Elektromobiliai ir jų plėtros perspektyvos,  
Prieiga per internetą:  
<http://gjstudija.net/ltma/ltma-darbai/LTMAMD-7-VA-Elektromob.pdf>;  
žiūrėta 2016-06-12
19. 24-hour Simulation of a Vehicle-to-Grid (V2G) System  
Prieiga per internetą:  
<https://se.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/24-hour-simulation-of-a-vehicle-to-grid-v2g-system.html> ;  
žiūrėta 2017-01-23
20. Valstybinės įmonės Regitra duomenys  
Prieiga per internetą:  
<http://www.regitra.lt/lt/opendata?datayear=2016&dataquery=>  
žiūrėta 2017-01-23
21. European environment agency  
Prieiga per internetą:

<http://www.eea.europa.eu/themes/transport/electric-vehicles/electric-vehicles-and-energy> ;  
žiūrėta 2017-04-13

22. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija

Prieiga per internetą:

<https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai> ;  
žiūrėta 2017-05-10

23. R.P.Deksnyš, K.Danilevičius, V.Miškinis, R. Staniulis (2008) . Energetikos ekonomika.  
Kaunas: Technologija.