



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Elektromobilių skaičiaus augimo įtaka elektros energijos kainai Lietuvoje**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Dovydas Grušauskas**

Projekto autorius

**Lekt. Eimantas Neniškis**

Vadovas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Elektromobilių skaičiaus augimo įtaka elektros energijos kainai Lietuvoje**

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

---

**Dovydas Grušauskas**

Projekto autorius

**Lekt. Eimantas Neniškis**

Vadovas

**Doc. Inga Konstantinavičiūtė**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Dovydas Grušauskas

## **Elektromobilių skaičiaus augimo įtaka elektros energijos kainai Lietuvoje**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Dovydas Grušauskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Grušauskas, Dovydas. Elektromobilių skaičiaus augimo įtaka elektros energijos kainai Lietuvoje. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Eimantas Neniškis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): studijų kryptis – energijos inžinerija, studijų kryptių grupė – inžinerijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: Elektromobiliai, elektromobilių krovimas, įprastas krovimas, išmanus krovimas, V2G krovimas, elektros energijos rinka, elektros energijos kaina, elektros energijos suvartojimas

Kaunas, 2022. 67 p.

### **Santrauka**

Šiame darbe nagrinėjama elektromobilių skaičiaus augimo bei skirtingų krovimo būdų įtaka Lietuvos elektros energijos kainai 2030 metais.

Atlikta analizė apie elektromobilių plėtrą ateityje, galimą jų įtaką elektros energetikai bei rinkos kainai, taip pat išskirti Lietuvos elektros energetikos sistemos ypatumai ir apžvelgti panašūs tyrimai. Siekiant išsiaiškinti elektromobilių įtaką Lietuvos elektros energijos kainai 2030 metais, sudarytas optimizacinis modelis, su skirtingais elektromobilių kiekiais ir skirtingomis jų krovimo galimybėmis. Gauti rezultatai parodė, kad didėjant elektromobilių skaičiui, auga ir elektros energijos kaina, ypač naudojant įprastą krovimą, tačiau parinkus išmanųjį ar V2G krovimo būdus, šį augimą galima sumažinti.

Grušauskas, Dovydas. Impact of Electric Vehicle Growth to Price of Electricity in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor Eimantas Neniškis; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): power engineering, engineering science.

Keywords: Electric cars, electric car charging, conventional charging, smart charging, V2G charging, electricity market, electricity price, electricity consumption

Kaunas, 2022. 67 pages

### **Summary**

This paper examines the impact of the growth in the number of electric vehicles and different charging methods on the price of electricity in Lithuania in 2030.

An analysis of the future development of electric vehicles, their possible impact on electricity and the market price has been performed, as well as the peculiarities of the Lithuanian electricity system have been singled out and similar studies have been reviewed. In order to find out the influence of electric vehicles on the price of electricity in Lithuania in 2030, an optimization model was developed, with different quantities of electric vehicles and different charging possibilities. The results show that as the number of electric cars increases, so does the price of electricity, especially when using conventional charging, but this choice can be reduced by choosing smart or V2G charging methods.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Santrumpų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Literatūrinė analizė .....</b>	<b>12</b>
1.1. Elektromobilių plėtra ir jų keliamos problemos elektros energetikos sistemai.....	12
1.1.1. Elektromobilių skaičiaus augimas .....	12
1.1.2. Suvartojamos galios padidėjimas .....	13
1.1.3. Elektromobilių energijos suvartojimas.....	16
1.1.4. Vidutinis kelionių pasiskirstymas ir vidutinis nuvažiuojamas atstumas .....	18
1.2. Elektromobilių krovimo būdai, jų įtaka elektros energijos kainai .....	19
1.2.1. Nekontroliuojamas elektromobilių krovimo būdas .....	19
1.2.2. Išmanus krovimo būdas .....	20
1.2.3. Dvikryptis V2G krovimas .....	22
1.2.4. Elektromobilių įtaką elektros energijos rinkai ir elektros kainai.....	25
1.3. Lietuvos elektros energetikos sistema ir elektromobiliai Lietuvoje.....	29
1.3.1. Elektros energijos suvartojimas Lietuvoje .....	29
1.3.2. Elektros energijos gamyba Lietuvoje .....	30
1.3.3. Lietuvos elektros energijos rinka.....	31
1.3.4. Elektromobiliai Lietuvoje ir pasaulyje .....	33
<b>2. Metodinė dalis.....</b>	<b>35</b>
2.1. Naudojama programinė įranga .....	35
2.2. Kuriamo modelio struktūra.....	36
2.2.1. Kuras elektros energijos gamybai .....	37
2.2.2. Modelyje naudojamos elektrinės .....	38
2.2.3. Perdavimo ir skirstymo tinklai .....	47
2.2.4. Galutinis elektros energijos suvartojimas.....	48
2.2.5. Elektromobilių suvartojama elektros energija.....	49
<b>3. Rezultatai.....</b>	<b>54</b>
3.1. 2020 metų modelis .....	54
3.2. 2030 metų bazinis modelis .....	55
3.3. Elektromobilių krovimo scenarijai .....	57
3.3.1. Įprasto krovimo scenarijaus rezultatai .....	57
3.3.2. Išmanusis krovimas .....	58
3.3.3. V2G krovimas .....	59
3.4. Gautų rezultatų palyginimas su panašiais tyrimais .....	60
<b>Išvados .....</b>	<b>62</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>63</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Įkrovimo kiekių pasiskirstymas pagal savaitės dienų tipą. [10].....	15
<b>2 lentelė</b> Procentinis kelionių pasiskirstymas pagal nuvažiuotą atstumą. [15].....	19
<b>3 lentelė.</b> EDF Group siūlomų elektromobilių krovimo planų Londone, kainų palyginimas, p/kWh. [18] .....	21
<b>4 lentelė.</b> „IgnitisOn“ stotelių siūlomos krovimo kainos, skirtingais paros laikais. [19].....	22
<b>5 lentelė.</b> Skirtingų scenarijų įtaka elektros energijos poreikiui, generacijai bei elektros energijos kainai. [26].....	26
<b>6 lentelė.</b> Elektromobilių krovimo be V2G ir su V2G technologijomis įtaka elektros energijos rinkai. [27] .....	27
<b>7 lentelė</b> Lietuvos elektros energijos faktinė įrengtoji galia 2020 m. ir planuojama įrengtoji galia 2030 m. [31] .....	30
<b>8 lentelė.</b> Faktinės kuro kainos 2020 metais ir perskaičiuotos 2030 metais, €/MWh. [40], [43], [44], [45] .....	38
<b>9 lentelė.</b> Tyrime naudojamų dujinių elektrinių parametrai. [17], [51] .....	39
<b>10 lentelė.</b> Mažeikių elektrinės elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51] .....	40
<b>11 lentelė.</b> Biokuro elektrinių elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51].....	41
<b>12 lentelė.</b> Šiukšlių deginimo elektrinių elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51] .....	42
<b>13 lentelė.</b> Vėjo elektrinių techniniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51] .....	43
<b>14 lentelė.</b> Hidroelektrinių technoekonominiai parametrai. [17], [51] .....	44
<b>15 lentelė.</b> Elektros energijos importo ir eksporto jungčių 2020 m. ir 2030 m. instaliuotos galios ir vidutinės kainos. [17], [54], [55], [56], [57].....	46
<b>16 lentelė.</b> Saulės elektrinių instaliuotosios galios ir ekonominiai parametrai. [17] .....	47
<b>17 lentelė.</b> Elektromobilių skirstiniai, pagal elektromobilių dalį, tarp visų automobilių.....	49
<b>18 lentelė.</b> Bendras elektromobilių nuvažiuojamo atstumo kiekis, pagal skirstinius. ....	50
<b>19 lentelė.</b> Elektromobilių suvartojamos energijos koeficientų priklausomybė nuo temperatūros. [13], [61] .....	50
<b>20 lentelė.</b> Elektromobilių bendros baterijų talpos pagal skirstinius. ....	51
<b>21 lentelė.</b> 2020 metų gauti modelio ir faktiniai elektros energijos gamybos kiekiai. [29], [30], [64], [65] .....	54
<b>22 lentelė.</b> Eksportuoto elektros energijos kiekio palyginimas tarp faktinių ir modelyje gautų duomenų. [29].....	55
<b>23 lentelė.</b> 2020 ir 2030 metų modeliuotų elektros energijos tinklų gamybos skirtumai. ....	56

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Elektromobilių augimo tempai pasaulyje 2012-2021 metais, tūkstančiais vienetų. [3].....	12
<b>2 pav.</b> Elektros energijos suvartojimas standartiniame namų ūkyje Vestminsteryje, Jungtinėje Karalystėje.[6] .....	13
<b>3 pav.</b> Vestminsterio miesto vienos dienos elektros energijos suvartojimas [6] .....	14
<b>4 pav.</b> Skirtingų regionų elektromobilių krovimo įpročių palyginimas. [7], [8], [9].....	15
<b>5 pav.</b> Elektromobilių krovimo skaičių kaita savaitės bėgyje. [11] .....	16
<b>6 pav.</b> Elektromobilių galios suvartojimo pasiskirstymas. [12].....	17
<b>7 pav.</b> Skirtingų elektromobilių modelių elektros energijos suvartojimas ir nuvažiuojamo atstumo priklausomybė nuo greičio [13].....	17
<b>8 pav.</b> Temperatūros įtaka nuvažiuojamam atstumui ir energijos suvartojimui. [13].....	18
<b>9 pav.</b> Privačių lengvųjų automobilių vienos dienos kelionių pasiskirstymas tarp dyzelinu ir benzinu varomų automobilių. [15] .....	19
<b>10 pav.</b> Nekontroliuojamo krovimo sukeltami piko šuoliai Jungtinės Karalystės elektros energetikos sistemos modelyje. Kairėje pusėje pavaizduotas vienos vasaros dienos grafikas, dešinėje pusėje žiemos. [16] .....	20
<b>11 pav.</b> Išmanaus krovimo įtaka Jungtinės Karalystės elektros energetikos sistemos modelyje. Kairėje pusėje pavaizduotas vienos vasaros dienos grafikas, dešinėje pusėje žiemos. [17].....	21
<b>12 pav.</b> Sumodeliuoto Kroatijos tinklo vienos paros apkrovos grafikas be ir su V2G krovimo. [23] .....	23
<b>13 pav.</b> Savaitinės krovimo išlaidos naudojant įprastą krovimą, išmanų krovimą ir V2G technologiją, dirbantiems ir pensinio amžiaus žmonės. [22] .....	24
<b>14 pav.</b> Skirtingų vieno elektromobilio krovimo būdų, paros apkrovos su standartiniais nuokrypiais. [25] .....	25
<b>15 pav.</b> Vienos paros bendras elektros energijos suvartojimas, kraunant elektromobilius ne piko ir piko metu. [26] .....	26
<b>16 pav.</b> Tyrimui naudoti skirtingų automobilių kategorijų krovimo grafikai. BEV- elektromobiliai, PHEV – įkraunami hibridiniai automobiliai. [28] .....	28
<b>17 pav.</b> Apkrovos (viršuje) ir elektros energijos kainos (apačioje) paros grafikai, gauti iš Viskonsino valstijos modelio. Geltonos linijos atspindi bazinį, be elektromobilių, modelį, mėlyna punktyrinė – 5% elektromobilių kiekio modelį. [28].....	28
<b>18 pav.</b> 2010-2020 m. galutinis suvartotos elektros energijos kiekis pagal vartotojų grupes. [31] ..	29
<b>19 pav.</b> Lietuvos elektros energetikos sistemos balansas 2020 m. [17].....	31
<b>20 pav.</b> Grafinis kainos sudarymo „Nord Pool AS“ rinkoje atvaizdavimas. [34] .....	32
<b>21 pav.</b> N1 klasės elektromobilių skaičiaus augimas Lietuvoje 2018-2021 m. [34] .....	33
<b>22 pav.</b> Elektromobilių skaičiaus augimo tikslai Lietuvoje, iki 2030 metų. [35] .....	34
<b>23 pav.</b> Bendras elektromobilių skaičius pasaulyje, 2016-2020 m. [37] .....	34
<b>24 pav.</b> Lietuvos elektros energetikos sistemos supaprastinta modelio struktūra.....	36
<b>25 pav.</b> Tyrime naudojamų dujinių elektrinių struktūrinė schema. ....	39
<b>26 pav.</b> Tyrime naudojamos naftos elektrinės struktūrinė schema. ....	40
<b>27 pav.</b> Tyrime naudojamų biokuro elektrinių struktūrinė schema. ....	41
<b>28 pav.</b> Tyrime naudojamų šiukšlių deginimo elektrinių struktūrinė schema. ....	41
<b>29 pav.</b> Tyrime naudojamų vėjo elektrinių struktūrinė schema.....	42
<b>30 pav.</b> Sausio mėnesio vidutinės darbo dienos vėjo elektrinių gamybos išnaudojimo koeficientas. ....	43



<b>31 pav.</b> Tyrime naudojamų hidroelektrinių struktūrinė schema. ....	44
<b>32 pav.</b> Tyrime naudojamo elektros energijos importo ir eksporto struktūrinė schema. ....	45
<b>33 pav.</b> Elektros energijos kainos 2020 metais Rusijos 1 zonoje. [56].....	46
<b>34 pav.</b> Gegužės mėnesio darbo dienos saulės elektrinės gamybos grafikas.....	47
<b>35 pav.</b> Tyrime naudojamų saulės elektrinių struktūrinė schema. ....	47
<b>36 pav.</b> Elektros energijos grandinė, nuo gamybos iki skirstomojo tinklo. ....	48
<b>37 pav.</b> 2020 metų sausio mėnesio vidurkinės darbo dienos elektros energijos kasvalandinis suvartojimas.....	49
<b>38 pav.</b> Elektromobilių krovimo struktūrinė schema.....	51
<b>39 pav.</b> Vidutinis elektromobilių išnaudojimas darbo dienomis. [62].....	52
<b>40 pav.</b> Vidutinis elektromobilių išnaudojimas laisvadieniais. [62].....	52
<b>41 pav.</b> Įprastinio krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai... 57	
<b>42 pav.</b> Išmaniojo krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai. . 58	
<b>43 pav.</b> V2G krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai. ....	59
<b>44 pav.</b> Elektros energijos rinkos kaina 2030 metais, esant 100% elektromobilių. d.d – darbo diena, n.d. – nedarbo diena.....	60

## Santrumpų sąrašas

### Santrumpos:

V2G – *Vehicle to grid*, dvikryptis elektromobilių krovimo būdas;

## Įvadas

Elektromobiliai šiai dienai nėra taip dažnai sutinkama transporto priemonė, kaip iškastiniu kuru varomi automobiliai, tačiau netolimoje ateityje tai turėtų pasikeisti. Tam, kad būtų įgyvendinta, Lietuvoje buvo iškelti ambicingi aplinkosauginiai tikslai. Pagal Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją - išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis energetikos ir transporto sektoriuose iki 2050 metų turėtų sumažėti daugiau nei 95%, palyginti su 1990 metų lygiu. [1] Dar vienas faktorius, kuris prisidės prie elektromobilių populiarumo didėjimo yra finansiniai veiksniai. Kamilės Petrauskienės et al. atlikto tyrimo metu nustatyta, kad eksploatacijos ir kuro kaštai yra 60% didesni benzinu varomiems ir 37% didesni dyzelinu varomiems automobiliams, nei elektromobiliams. Sumažėjus elektromobilių kainai, jie taps ekonomiškai patrauklūs vartotojams. [2]

Iš kitos pusės, elektromobilių naudojimas turi ir neigiamų savybių. Didelio kiekio elektromobilių krovimas gali padidinti elektros energijos kainą rinkoje. Šiame darbe bus atliekamas tyrimas, siekiant išsiaiškinti kokią įtaką elektros energijos kainai rinkoje turės skirtingas elektromobilių kiekis ir skirtingi jų krovimo būdai.

**Analizės objektas:** Lietuvos elektros energijos rinka.

**Analizės tikslas:** nustatyti augančio elektromobilių kiekio ir skirtingų elektromobilių krovimo būdų įtaką elektros energijos kainai.

**Analizės uždaviniai:**

1. Atlikti Lietuvos elektros energetikos sistemos ypatumų analizę;
2. Nustatyti kokį poveikį elektros energetikos sistemai gali turėti augantis elektromobilių kiekis;
3. Parinkti modeliavimo programinę įrangą ir sudaryti modelį elektromobilių poveikio Lietuvos elektros sistemos analizei;
4. Taikant modelį įvertinti elektromobilių skaičiaus ir skirtingų krovimo būdų poveikį elektros energijos kainai.

Tyrimo metodai: literatūros analizė, modelio sudarymas energetikos sistemos parametrams skaičiuoti.

Magistro darbo struktūra: magistrinis darbas susideda iš įvado, trijų pagrindinių darbo skyrių ir išvadų. Darbą sudaro: 67 puslapiai, 44 paveikslai ir 23 lentelės. Naudotos literatūros sąrašas yra 65 šaltiniai.

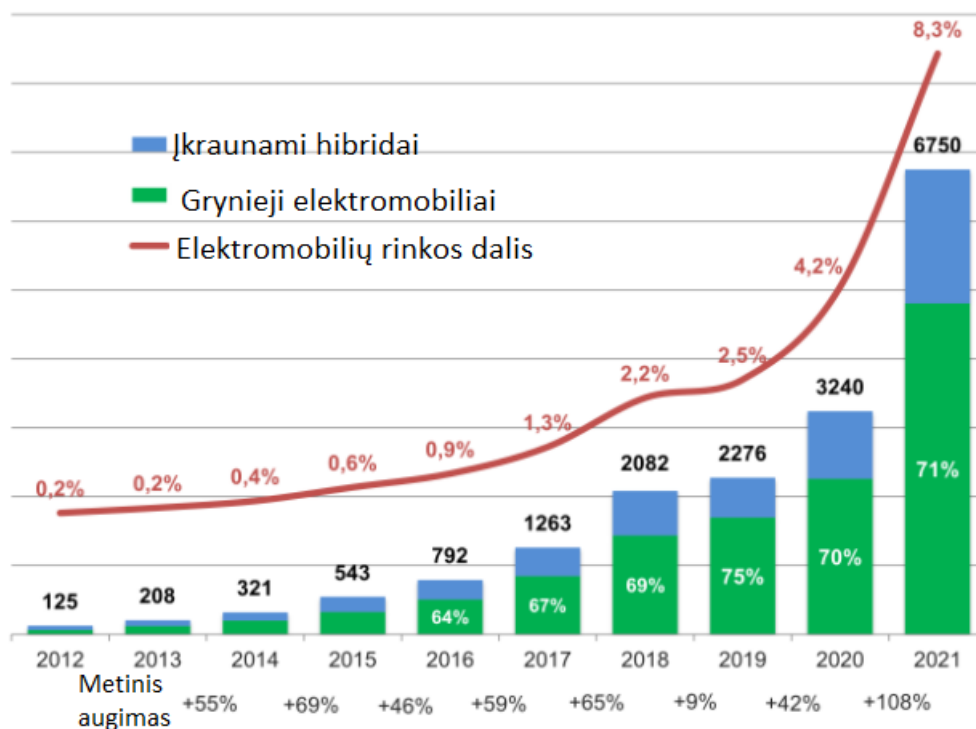
## 1. Literatūrinė analizė

### 1.1. Elektromobilių plėtra ir jų keliamos problemos elektros energetikos sistemai

Elektromobilių pakrovimas, augant elektromobilių skaičiui, daro vis didesnę poveikį elektros energetikos sistemai. Šiame skyriuje bus kalbama apie tai, kokiais tempais ir kodėl auga elektromobilių kiekis, kaip dėl elektromobilių krovimo didėja suvartojamos galios kiekis ir apie tai, kokie yra elektromobilių krovimo poreikių grafikai.

#### 1.1.1. Elektromobilių skaičiaus augimas

Elektromobilių skaičius pasauliniu mastu auga, ypač didelis augimas matomas pastaraisiais 2021 metais. Lyginant su 2020 metais elektromobilių pardavimai padidėjo 108%. Naujų lengvųjų automobilių rinkoje elektromobiliai sudarė 8,3%, o tai yra 6,75 milijonai elektromobilių visame pasaulyje. Bendrai baterijomis varomi, vadinamieji „gryniesiems elektromobiliams“, sudarė – 71%, o įkraunami hibridiniai – 29%. Elektromobilių augimo tendencija nuo 2012 iki 2021 metų pavaizduota 1 pav. [3]



1 pav. Elektromobilių augimo tempai pasaulyje 2012-2021 metais, tūkstančiais vienetais. [3]

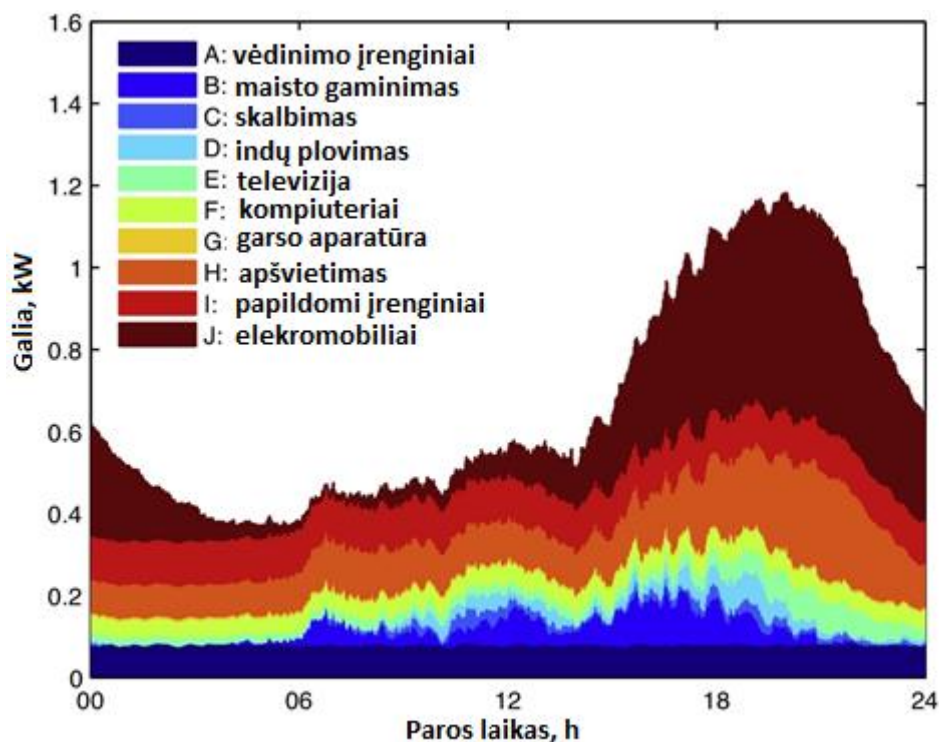
Pastarųjų metų elektromobilių augimas nėra atsitiktinis reiškinys. Elektromobilių skaičiaus didėjimas yra suplanuotas ir prie to einama jau kuris laikas. Vienas svarbiausių to pavyzdžių yra Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos. Vienas jo punktų susijęs su transporto sektoriaus dekarbonizavimu, teigia, kad siekiant apriboti klimato atšilimą iki 2 °C, lyginant su prieš industriniu laikotarpiu, kelių transporto sektorius turi būti bent 20% elektrifikuotas iki 2030 metų. Tam, kad šis tikslas būtų pasiektas, 2030 metais, turėtų būti 100 milijonų elektra varomų automobilių. Tarptautinės energetikos agentūros skaičiavimu, 2030 metais, naujų, elektra varomų transporto priemonių pardavimai turėtų siekti 35%. [4]

Europos Sąjunga, siekianti sumažinti emisijas, sukeliančias klimato šiltėjimą, siūlo įvesti įstatymą, kad nuo 2035 metų visi nauji automobiliai ir furgonai nebenaudotų išskastinio kuro. Tame pačiame siūlyme yra ir nustatyti CO<sub>2</sub> rodikliai, kad iki 2030 metų jie sumažėtų 55% automobiliams ir 50% furgonams. Tiesa, kad tai įvyktų, Europos Sąjungoje reikalingas spartesnis elektromobilių skaičiaus augimo tempas. 2020 metais, Europos Sąjungoje, kartu su Islandija, Norvegija ir Jungtine Karalyste naujų elektromobilių ir įkraunamų hibridų rinkos dalis sudarė rekordinį kiekį – 11,41%, kai metais anksčiau šis skaičius sudarė vos 3,46%. [5]

Visi šie ambicingai keliami tikslai vienaip ar kitaip turės būti įgyvendinami. Tai reiškia, kad Europa ir pasaulis žengia į elektromobilių ateitį ir tokio tipo transporto skaičius ateityje augs. Tačiau, elektromobiliai turi ir tam tikrų problemų, kurias reikės netolimoje ateityje spręsti, viena jų – augantis elektros energijos suvartojimas.

### 1.1.2. Suvartojamos galios padidėjimas

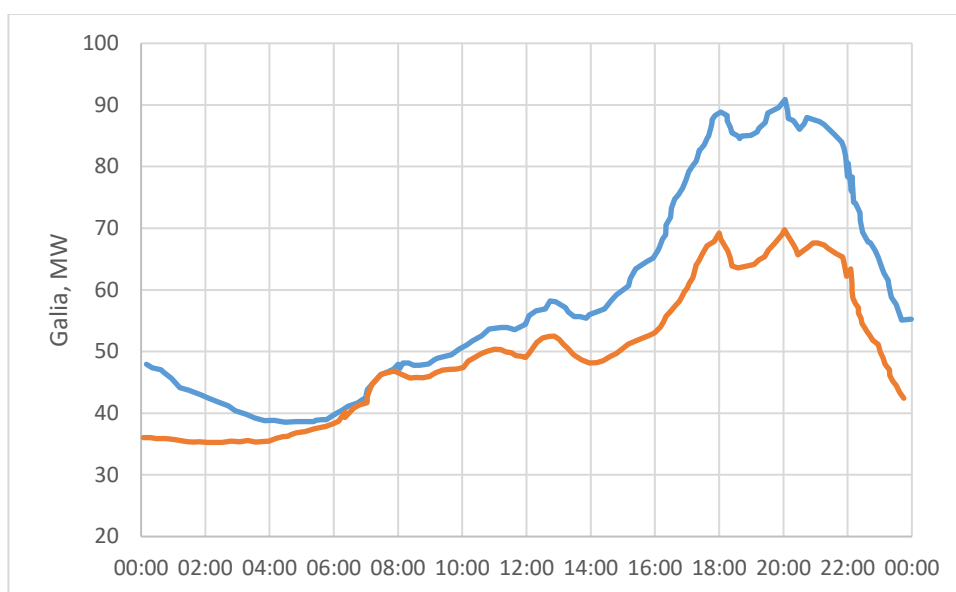
Elektromobilių kraunant, elektros energijos suvartojimas išauga. Daugeliui namų ūkių tai gali būti vienas didžiausių elektros energijos imtuvų namuose. Joakim Munkhammar et al. atliko tyrimą Vestminsterijoje, Jungtinėje Karalystėje, kuriame buvo nagrinėta elektromobilių krovimo įtaka namų ūkių elektros energijos suvartojimui. Autoriai nustatė, kad, kad vieno žmogaus namų ūkis neturintis elektromobilio suvartotų 2,695 MWh per metus, o su elektromobiliu suvartotų gerokai daugiau – 4,324 MWh per metus. Elektromobilio krovimui per metus būtų sunaudota 1629 MWh elektros energijos, o tai sudarytų 37,67% viso metinio energijos suvartojimo. Kaip pavaizduota **2 pav.**, elektros energijos suvartojimo kiekis namų ūkyje stipriai išauga vakarinėje paros dalyje, kai elektromobiliai įjungiami krovimui. Elektromobilio krovimui reikalinga galia sumažėja tik apie vidurnaktį. Tai bendrą suvartojamą galią padidina bene 2 kartus. [6]



**2 pav.** Elektros energijos suvartojimas standartiniame namų ūkyje Vestminsterijoje, Jungtinėje Karalystėje.[6]

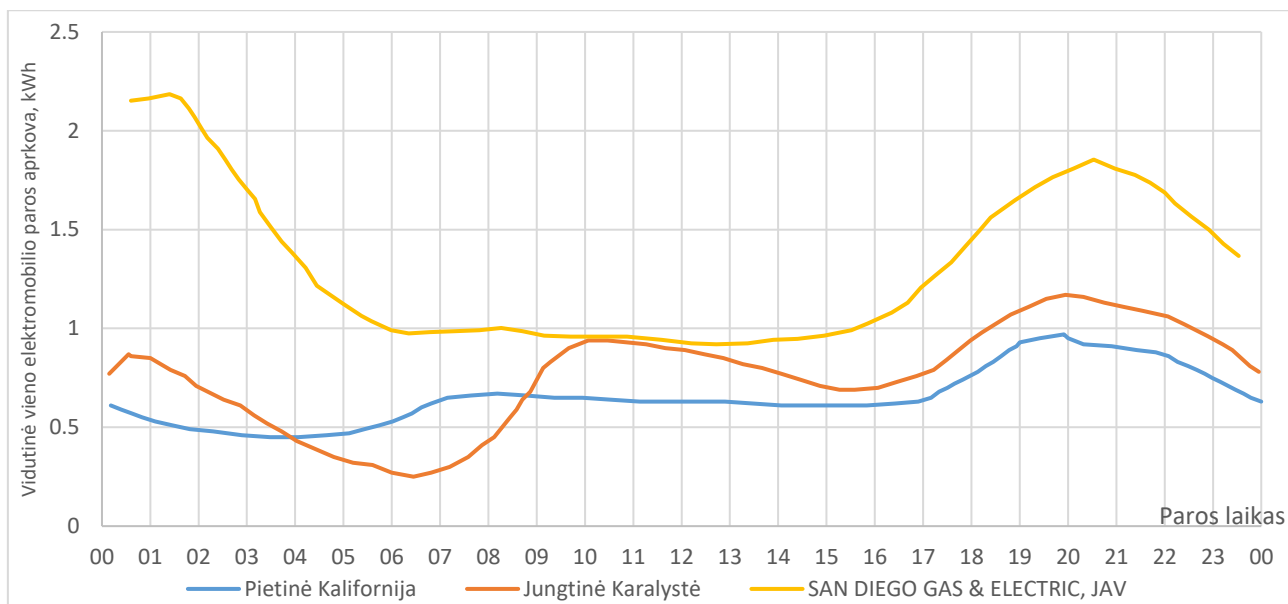
To paties tyrimo metu taip pat buvo apskaičiuota koks elektros energijos suvartojimas būtų, jei visi miesto automobiliai taptų elektriniai – iš viso 48810 automobilių.

Piko metu, dėl elektromobilių krovimo, didžiausia pareikalaujamoji galia padidėjo nuo beveik 70 MW iki 90 MW, skirtumas sudaro apie 22% pikinės galios. Bendrai metinė miesto sunaudota elektros energija išaugo nuo 431 GWh per metus iki 514 GWh per metus. Taip pat buvo analizuotas atvejis jeigu visi tinkami miesto stogai būtų padengti saulės elektrinėmis. Tokia sąlyga leido sumažinti elektros energijos suvartojimą iš tinklo iki 498 GWh per metus, dėl vietoje pasigamintos ir suvartotos elektros energijos. Kita vertus, vakarinės pikinės suvartojimo galios liko praktiškai nepakitusios, pagrindinė to priežastis, kad dažniausiai tuo metu saulės pagaminama energija buvo nulinė arba santykinai maža ir nedaranti įtakos. [6]



**3 pav.** Vestminsterio miesto vienos dienos elektros energijos suvartojimas [6]

Elektromobilių krovimo laikas yra svarbus faktorius, lemiantis kiek stipriai tai paveiks elektros energijos tinklą. Krovimo laikas dažnu atveju atspindi vairuotojų dienotvarkę. Atlikti tyrimai San Diego JAV, [7] Pietinėje Kalifornijoje valstijoje JAV [8], Jungtinėje Karalystėje [9], parodė, kad elektromobilių krovimo įpročiai turi tam tikrų panašumų. **4 pav.** pavaizduotas skirtingų regionų elektromobilių krovimo įpročių palyginimas. Jam matome, kad ankstyvoje paros dalyje, suvartojimai yra vieni didžiausių paroje, tačiau suvartojimas laipsniškai mažėja. Dienos metu energijos suvartojimas nusistovi ir aiškių pikų nėra, išskyrus Jungtinės karalystės krovimo grafiką, kur matomas pakilimas 7-10h ryto. Tokį energijos suvartojimo pokytį galima paaiškinti tuo, kad tokiu metu gyventojai išvyksta į darbovietes ir ten, esant galimybėms, prijungia elektromobilį antram krovimui į tinklą, kad šis pasikrautų iki maksimalios talpos. Ryškus pakilimas matomas ir vakarinėje dalyje, pradedant 16h, ir piką pasiekiant 20h, vėliau palaipsniui leidžiasi iki vidurnakčio. Šį piką galima paaiškinti tuo, kad baigę darbus ir atlikę vakarines keliones elektromobilių vairuotojai grįžę į namus įjungia elektromobilį į tinklą, kad vėl galėtų naudotis pilna baterija sekančią dieną. Verta pastebėti tai, kad didžiausi dienos energijos suvartojimai užfiksuoti vakare.



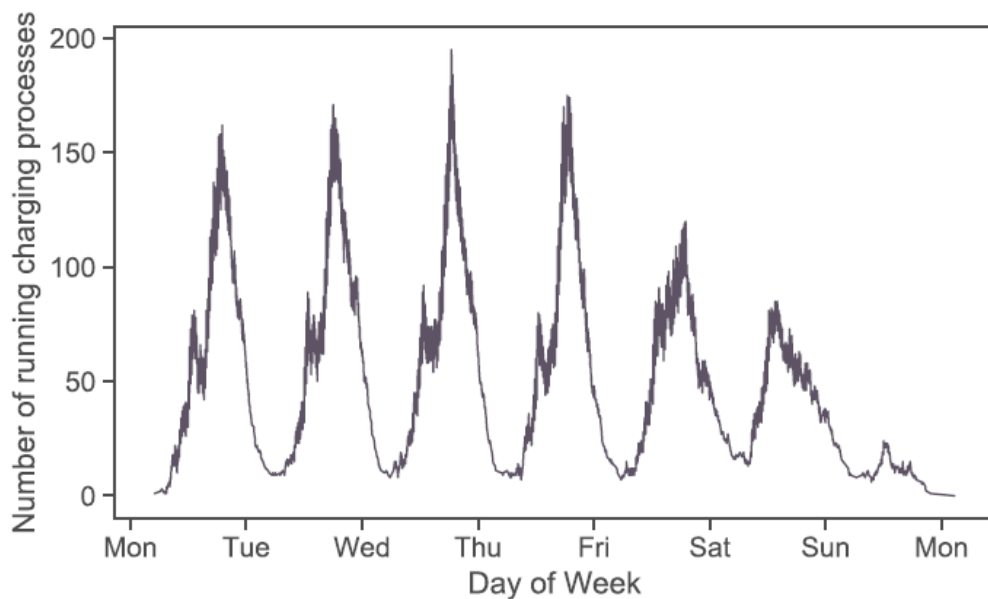
**4 pav.** Skirtingų regionų elektromobilių krovimo įpročių palyginimas. [7], [8], [9]

Jairo Quirós-Tortós et al. tyrimo [10] metu Jungtinėje Karalystėje, išsiaiškinta kaip pasiskirsto krovimo atvejų skaičius per dieną. Tyrime tirta kokia dalis vartotojų dalis krauna elektromobilius nuo 1 iki 7+ kartų per dieną. **1 lentelėje** pavaizduotas krovimo skaičiaus per dieną jų tikimybių pasiskirstymas. Nors šie pasiskirstymai yra gana panašūs tiek darbo dienomis, tiek savaitgaliais, tačiau pastebimas didesnis trijų krovimų skaičius savaitgalį, nei darbo dienomis (atitinkamai savaitgaliais – 6,62% ir darbo dienomis – 5,41%). Vienas krovimas per dieną yra dažniausiai pasitaikantis atvejis, darbo dieną – 71,26%, o savaitgaliais – 68,99%.

**1 lentelė.** Įkrovimo kiekių pasiskirstymas pagal savaitės dienų tipą. [10]

Prisijungimų tikimybė, %	1	2	3	4	5	6	7+
Darbo diena	71,26	21,15	5,41	1,51	0,44	0,14	0,09
Savaitgalis	68,99	21,51	6,62	1,90	0,63	0,24	0,11

Elektromobilių krovimo dažnis skiriasi ne tik dienos bėgyje, tačiau ir skirtingomis savaitės dienomis. **5 pav.** parodytas elektromobilių krovimo kitimo grafikas parodo, kad šeštadienį, o ypač sekmadienį, elektromobilių krovimo skaičius sumažėja, palyginus su darbo dienomis. Taip pat, penktadieniais ir šeštadieniais, įkrovimo pikai persislenka arčiau vidurdienio, kai darbo dienomis, tokie pikai dažniausi vakarinėje dalyje. [11]



**5 pav.** Elektromobilių krovimo skaičių kaita savaitės bėgyje. [11]

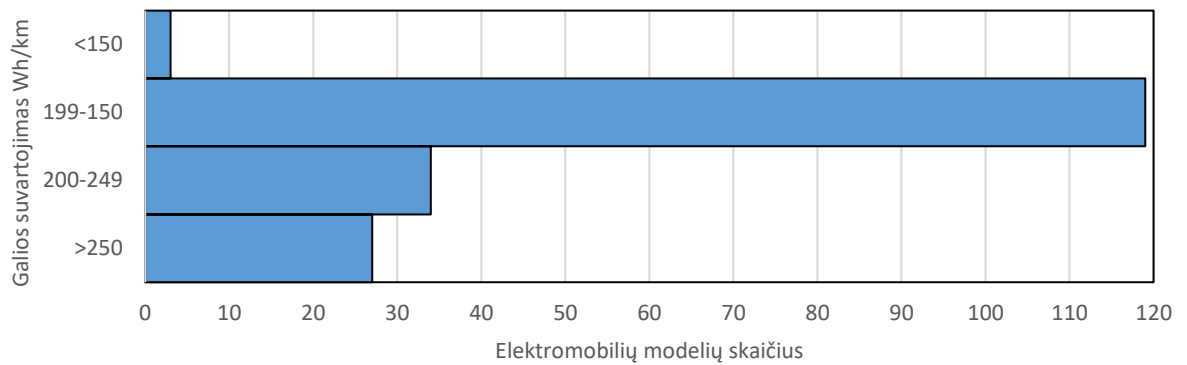
Taigi, galima daryti išvadą, kad elektromobiliai dažniausiai yra įkraunami rytinėje arba vakarinėje dienos dalyje. Tuo metu galima tikėtis didžiausio elektros energijos suvartojimo elektromobilių krovimui. Tai, kiek elektros energijos įkrovimo metu elektromobiliui reikės, priklauso nuo per kelionę nuvažiuoto atstumo kiekio ir kiek elektromobilis suvartoja energijos vienam kilometrui nuvažiuoti.

Tai, kokio energijos kiekio reikės elektromobiliams krauti, nulemia keletas faktorių. Tam įtakos turi elektromobilių gamykliniai parametrai, važiavimo greitis, aplinkos sąlygos bei nuvažiuojamas atstumas. Visi šie faktoriai ir jų įtaka bus aptarti šiame skyriuje.

### 1.1.3. Elektromobilių energijos suvartojimas

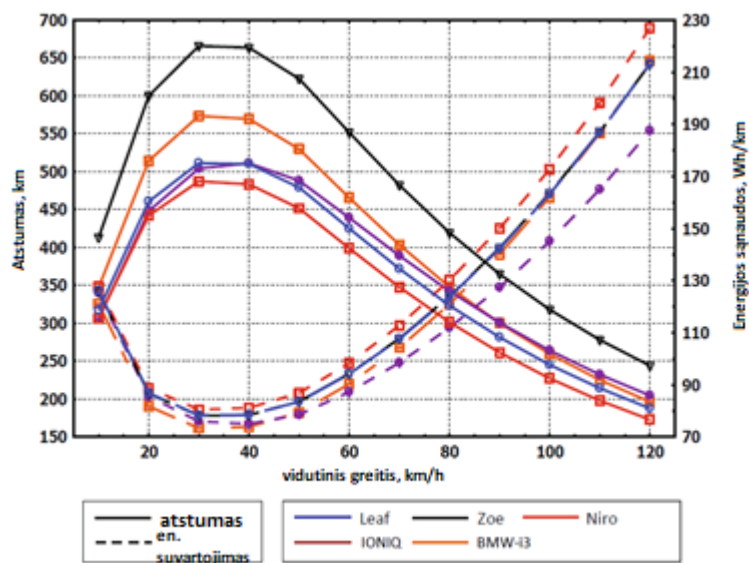
Elektromobilio vidutinis galios suvartojimas kilometrui priklauso nuo daug skirtingų faktorių. Vienas iš jų pačio elektromobilio tipas. Skirtingo dydžio, talpos, parametų elektromobiliai sunaudoja skirtingą elektros energijos kiekį, kad nuvažiuotų tą patį atstumą. **6 pav.** pavaizduotas 184 elektromobilių duomenų, sudarytų elektromobilių sunaudojamo elektros energijos kiekio vienam kilometrui nuvažiuoti skirstinys. Iš grafiko galima padaryti išvadą, kad daugiausia modelių sunaudoja tarp 150 ir 199 Wh/km. Didžioji dalis šių modelių yra mažo ir vidutinio dydžio automobiliai. Ekonomiškesnių, suvartojančių mažiau nei 150 Wh/km yra tik 3 modeliai. Didesnius energijos suvartojimus turintys elektromobiliai dažnu atveju buvo didesnio svorio vienatūriai arba krossoveriai. Vidutinis 184 elektromobilių modelių suvartojimas siekia 196 Wh/km.





6 pav. Elektromobilių galios suvartojimo pasiskirstymas. [12]

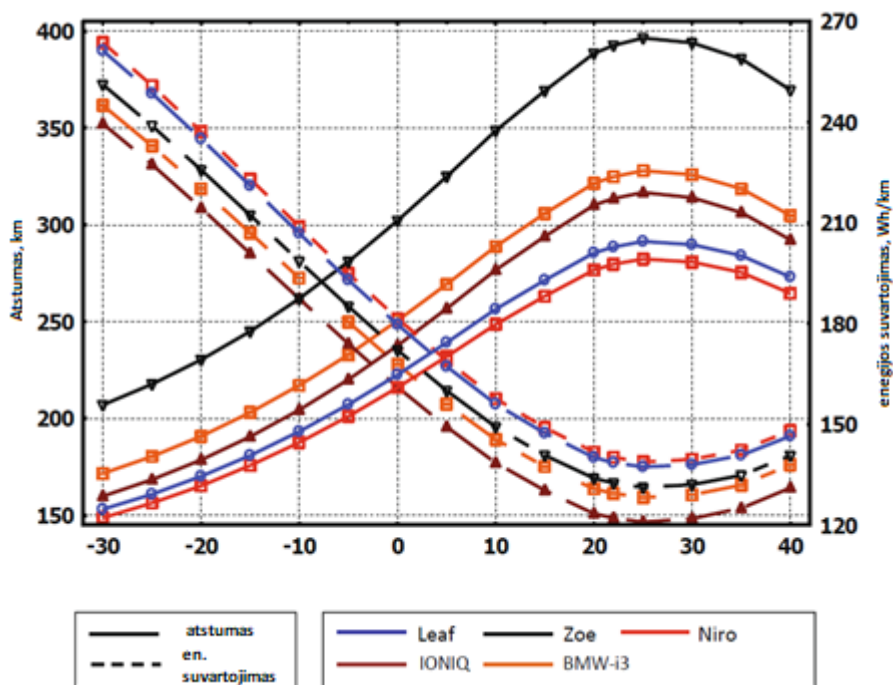
Elektromobilių vidutiniam elektros energijos suvartojimui įtakos turi ir kiti faktoriai, tokie kaip greitis, kuriuo važiuoja elektromobilis ar aplinkos temperatūra. S. Sagaria et al. atlikto tyrimo [13] metu buvo nustatyta kaip elektromobilio energijos suvartojimas keičiasi važiuojant skirtingu greičiu. Elektromobilių energijos sąnaudos ir kartu maksimalus nuvažiuojamas atstumas vienu įkrovimu turi aiškia priklausomybę nuo vidutinio greičio. Kaip pavaizduota 5 pav. Elektromobilių krovimo skaičių kaita savaitės bėgyje. [11] visų penkių elektromobilių, naudotų tyrime, ekonomiškiausias važiavimo režimas buvo tarp 30-40 km/h greičiu. Važiuojant tokiu greičiu pasiekiamas iki 80 Wh/km energijos suvartojimas. Greičiui padidėjus iki 120 km/h, suvartojimas išaugo daugiau nei du kartus visiems elektromobiliams ir dauguma atvejų viršijo 200 Wh/km.



7 pav. Skirtingų elektromobilių modelių elektros energijos suvartojimas ir nuvažiuojamo atstumo priklausomybė nuo greičio [13]

Įtakos elektromobilio nuvažiuojamam atstumui ir vidutiniam energijos suvartojimui turi ir aplinkos temperatūra. To pačio tyrimo metu nustatyta ir aplinkos temperatūros įtaka elektromobilio energijos sąnaudoms ir galimam nuvažiuojamam atstumui. Kaip matome 8 pav., optimaliausia temperatūra elektromobiliams yra 20-30C, tada energijos suvartojimas yra mažiausias, 120-150 Wh/km ribose. Neigiamos temperatūros elektromobilio energijos suvartojimą padidina energijos suvartojimą bene du kartus (prie -30C temperatūros, energijos suvartojimas yra 240-270 Wh/km). To priežastys yra

naudojami šildytuvai salonui pašildyti, sėdinių šildymas, baterijoms tinkamos temperatūros palaikymas ir kita įranga, reikalinga tinkamai vidaus temperatūrai ir komfortui palaikyti. Taip pat, žemesnių aplinkos temperatūrų metu, padangų slėgis sumažėja ir tai padidina padangų kontaktinį plotą ir pasipriešinimą su keliu, taip pat, žieminės padangos paprastai lemia didesnes kuro sąnaudas. Palyginimui, to pačio modelio Nissan Leaf elektromobilis Portugalijoje gali nuvažiuoti iki 250 km, kai šiaurinėse Europos šalyse, pavyzdžiui Suomijoje ar Švedijoje iki 170 km. [13]

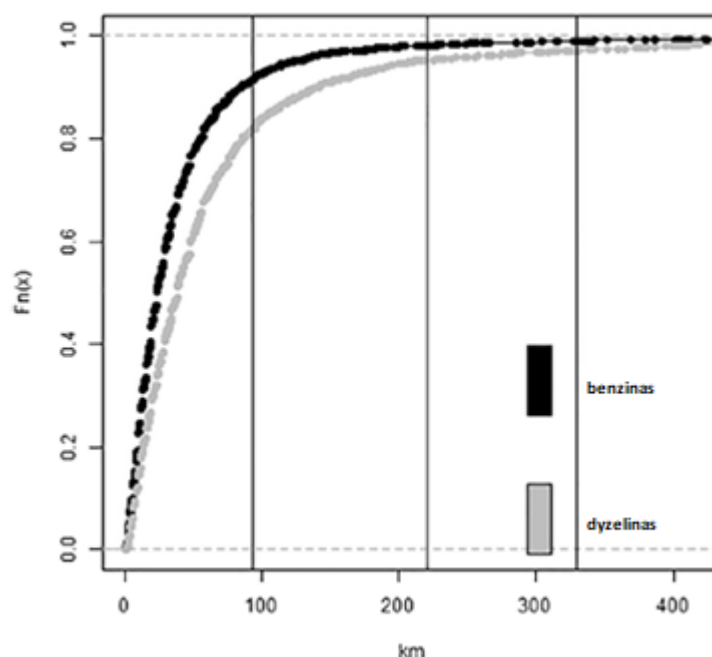


8 pav. Temperatūros įtaka nuvažiuojamam atstumui ir energijos suvartojimui. [13]

#### 1.1.4. Vidutinis kelionių pasiskirstymas ir vidutinis nuvažiuojamas atstumas

Tai, kiek elektros energijos reikės elektromobilio krovimui, priklauso nuo nuvažiuoto atstumo per dieną. Lietuvoje vairuotojai automobiliu vidutiniškai nuvažiuoja apie 27 km per dieną, per metus apie 9000 km. [14] Tačiau tai neparodo kiek ir kokių kelionių vairuotojams dažniausiai reikia.

Net įprastų, vidaus degimo varikliais varomų automobilių, vairuotojai retu atveju nuvažiuoja didesnius, nei 100 km atstumus. Leibnico Europos Ekonominių Tyrimų Centro mokslininkai Habla, Huwe, Kesternich straipsnyje [15] aprašė, kaip Vokietijoje pasiskirsto kelionės lengvaisiais automobiliais. 9 pav. pavaizduota kaip pasiskirsto vidaus degimo varikliais varomų automobilių kelionės per dieną. Nors dyzelinu varomų automobilių kelionės dažniausiai yra tolimesnės tačiau dažniausiai kelionės abiem kuro tipais neviršija 100km per dieną.



**9 pav.** Privačių lengvųjų automobilių vienos dienos kelionių pasiskirstymas tarp dyzelinu ir benzinu varomų automobilių. [15]

Tame pačiame, Habla, Huwe, Kesternich straipsnyje, nustatytos tikimybės skirtingų tipų kelionėms per dieną. Iš to galima daryti išvadą, kad dažniausiai vairuotojų kelionės būna palyginti nedidelius atstumus, iki 93km, atitinkamai dyzeliniams automobiliams 92% ir benzininiams 82% tikimybės, o beveik visos kelionės neviršija 271 km ribos. [15]

**2 lentelė** Procentinis kelionių pasiskirstymas pagal nuvažiuotą atstumą. [15]

Kuro tipas	Tikimybės, kad kelionės neviršys duoto atstumo		
	93 km	182 km	271 km
Dyzelinas	92%	98%	99%
Benzinas	82%	93%	96%

## 1.2. Elektromobilių krovimo būdai, jų įtaka elektros energijos kainai

Pagal krovimo būdą, įkrovikliai gali būti skirstomi į:

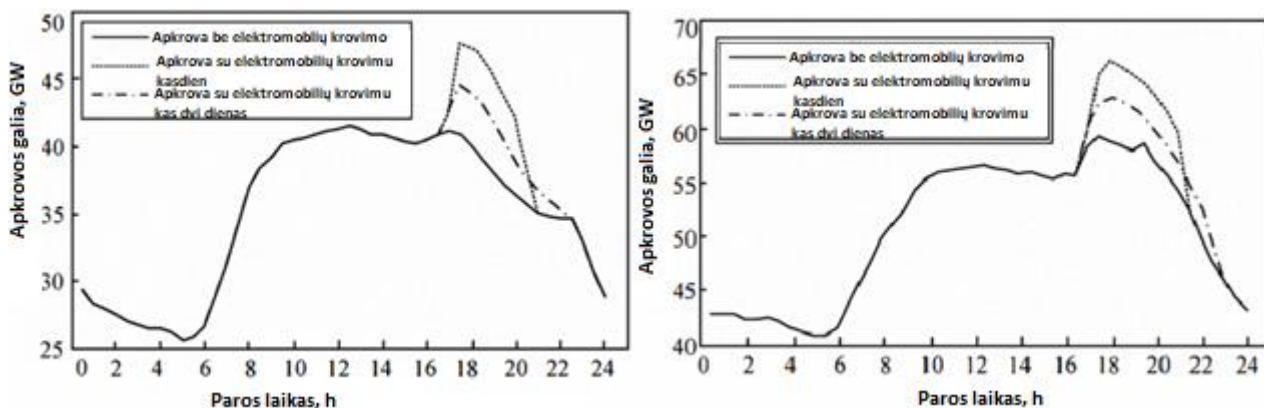
- Nekontroliojamo krovimo, be papildomų funkcijų;
- Išmanų krovimą, su galimybe atidėti ir valdyti krovimą;
- V2G krovimą, kai elektromobilis yra naudojamas kaip baterija, kurią galima pakrauti ir iškrauti.

### 1.2.1. Nekontroliojamas elektromobilių krovimo būdas

Nekontroliojamas krovimas, dar kitaip vadinamas nekoordinuotas ar nereguliuojamas, reiškia, kad elektromobiliai yra kraunami iškart, kai atvykstama į krovimo vietą namuose, darbovietėje ar kitoje vietoje. Tokio tipo įkrovikliai yra populiariausi šiuo metu. Toks krovimo būdas reiškia, kad elektromobilių krovimas dažniausiai vyksta piko apkrovų metu, o tai daro ryškią įtaką elektros energijos tinklui. Tokio krovimo būdo naudojimas ateityje gali sumažinti elektromobilių skaičiaus augimą, dėl neigiamos įtakos tinklui. Toks krovimo būdas dažniausiai naudojamas, kai yra vienas

elektros energijos tarifas, todėl vairuotojai neturi jokios naudos perkeliant krovimą vėlesniam laikui. [16]

Kejun Qian et al. atlikto tyrimo metu nustatyta, kad Jungtinėje Karalystėje, 10% viso automobilių parko sudarant elektromobiliams, elektros energijos suvartojimas piko metu išaugtų pakankamai ženkliai. [16]



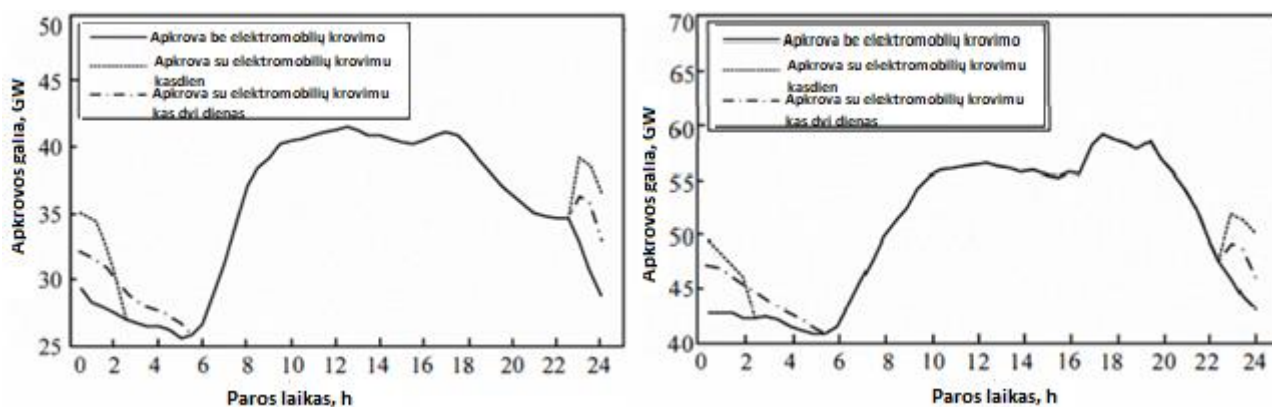
**10 pav.** Nekontroliuojamo krovimo sukeliama piko šuoliai Jungtinės Karalystės elektros energetikos sistemos modelyje. Kairėje pusėje pavaizduotas vienos vasaros dienos grafikas, dešinėje pusėje žiemos. [16]

Šio tyrimo metu nustatyta, kad 10% automobilių parko sudarant elektromobiliams, pareikalaujami piko galia vasaros metu pakyla iki 13,7% kraunant elektromobilį kiekvieną dieną, o kraunant kas antrą dieną piko galia pakyla 8,12%. Žiemos laikotarpiu piko galios buvo mažesnės, 10,06% ir 5,84%, atitinkamai kraunant kasdien ir kas dvi dienas. Šiuo atveju, žiemos periodu elektromobilių krovimas daro mažesnę įtaką elektros energijos sistemai, tačiau dėl didesnio bendro elektros energijos suvartojimo, nekontroliuojamas krovimas gali sukelti perkrovas tinkle. [16]

### 1.2.2. Išmanus krovimo būdas

Išmanaus elektromobilių krovimo metu, kroviklio algoritmai gali nustatyti optimaliausią krovimo pradžios laiką ir krovimo tempą, kad suteiktų elektros energetikos sistemai ir vartotojui maksimalią naudą. Kai krovimas perkeliamas į ne piko periodą, vartotojas gali gauti naudą iš to, kad sumažėja krovimo kaina. Sistema gauna naudą iš to, kad papildomos elektromobilių sukuriamos apkrovos tinklui yra perkeliama į laikotarpius, kai apkrovos yra sumažėjusios, taip geriau išnaudojant tinklo įrangą. Tam, kad tai būtų įmanoma, tarp elektromobilio ir elektros energetikos sistemos operatoriaus turi būti pastovus bendravimo ryšys, per išmaniuosius įrenginius ir skirtingi elektros energijos paros tarifai turi būti įvesti, kad vartotojas turėtų paskatą naudoti tokį įrenginį. [17]

Išmanus elektromobilių krovimas taip pat buvo sumodeliuotas Kejun Qian et al. tyrime, tame pačiame Jungtinės Karalystės modelyje. Tokio krovimo įtaka elektros tinklui pavaizduota **11 pav.**



**11 pav.** Išmanaus krovimo įtaka Jungtinės Karalystės elektros energetikos sistemos modelyje. Kairėje pusėje pavaizduotas vienos vasaros dienos grafikas, dešinėje pusėje žiemos. [17]

Tyrimo metu, nustatyta, kad naudojant išmanų krovimą, galima geriau išnaudoti elektros energijos tinklą elektromobiliams krauti. Išmanus kroviklis gali nustatyti krovimo pradžią pagal elektros energijos kainą, kuri pasiekia mažiausias reikšmes nakties metu, todėl toks krovimas nepadidina piko metu suvartojamos energijos ir nesuformuoja naujų pikų. [17]

Tam, kad būtų galima vykdyti išmanų krovimą, reikalingi skirtingi elektros energijos tarifai, skirti elektromobilių krovimui. Tai sprendžia elektros energijos tiekėjai. Pavyzdžiui, vienas iš Jungtinės Karalystės elektros energijos tiekėjų, EDF group yra sukūręs GoElectric elektromobilių krovimo tarifus, skatinančius perkelti elektromobilių krovimą į ne piko periodus ir siūlo rinktis tarp trijų skirtingų tarifų – vienos kainos tarifą, GoElectric 98 - naktinį tarifą darbo dienoms nuo 21h vakaro, iki 9h ryto ir visoms savaitgalio dienoms ir GoElectric 35 visų savaitės dienų naktinį nuo 24h nakties iki 5h ryto, tarifą. Pastariesiems dviems, reikalingas išmanus skaitiklis, kuris komunikuotų tarp tinklo ir krovimo vietos. [18]

**3 lentelėje** pavaizduoti skirtingi siūlomi EDF Group siūlomi planai. Siūlomi planai turi aiškia intenciją krauti elektromobilius naktį ir naudoti dviejų tarifų planus, ypač GoElectric 35, kurio kainos vartotojui yra mažiausios, o krauti elektromobilį naktį būtų labiausiai ekonomiškai, krovimo kaina sumažėtų 29,84p/kWh arba apie 87% mažesnę kainą, palyginus su krovimu piko metu.

**3 lentelė.** EDF Group siūlomų elektromobilių krovimo planų Londone, kainų palyginimas, p/kWh. [18]

Vieno tarifo kaina	GoElectric 98 krovimo piko metu kaina	GoElectric 98 krovimo ne piko metu kaina	GoElectric 35 krovimo piko metu kaina	GoElectric 35 krovimo ne piko metu kaina
25,53	35,39	16,75	34,34	4,50

Lietuvoje, specialių elektromobilio įkrovimo tarifų namuose nėra, tačiau elektromobilių krovimo platforma „IgnitisOn“, siūlo jiems priklausančiose įkrovimo stotelėse krauti su dviem skirtingais tarifais, vienas dienos, nuo 8:00h iki 19:59h, kitas nuo 20:00h iki 07:59h. Kainų skirtumus pavaizduoja **4 lentelė**. [19]

**4 lentelė.** „IgnitisOn“ stotelių siūlomos krovimo kainos, skirtingais paros laikais. [19]

Krovimo galios	150 kW+	50 kW	Lėtas krovimas
08:00-19:59	0,44€/kWh	0,44€/kWh	0,29€/kWh
20:00-07:59	0,39€/kWh	0,39€/kWh	0,25€/kWh

Greito krovimo kainos, 50 kW ir 150+ kW, galios stotelėse, tarp dienos ir nakties tarifų skiriasi 0,05€/kWh, arba apytiksliai 11%. Lėto krovimo atveju, krovimo skirtumas yra 0,04€/kWh, arba beveik 14%. Tokiu būdu elektromobilių vairuotojai, gali sutaupyti krovimo lėšų ir sumažinti elektromobilių įtaką elektros energetikos sistemai.

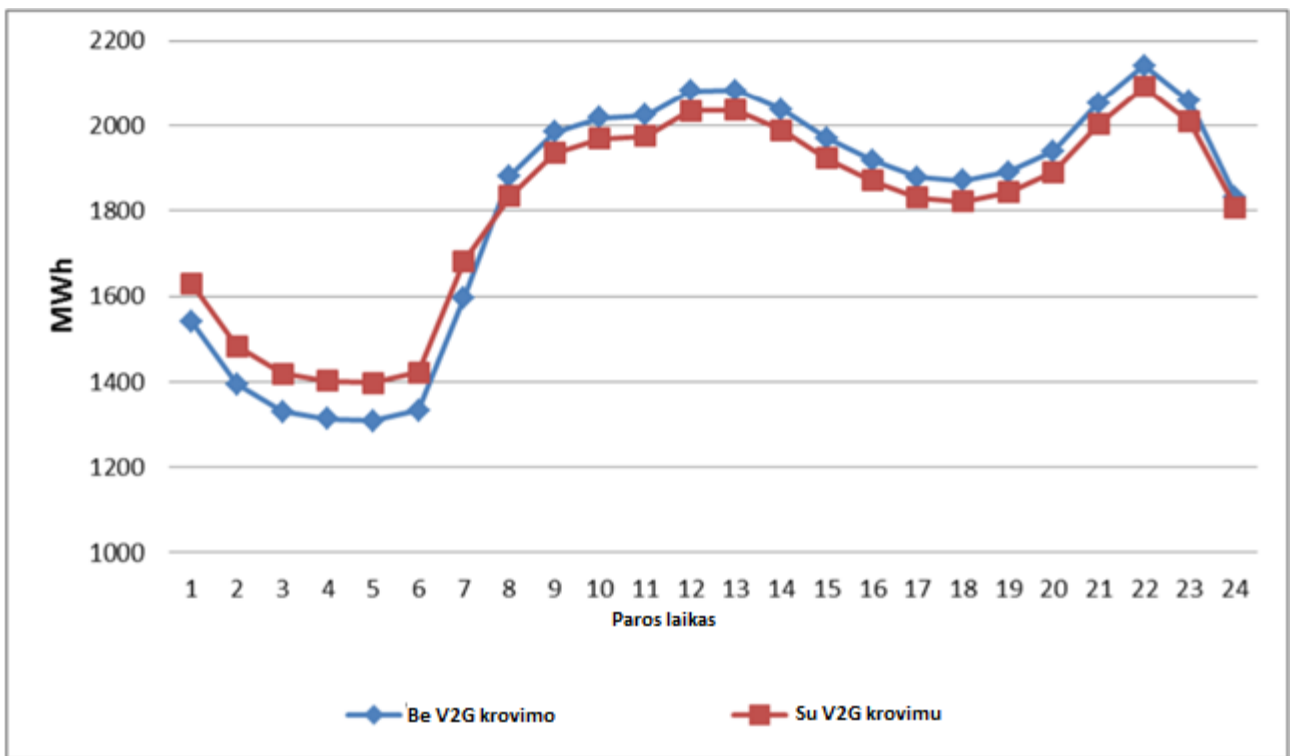
### 1.2.3. Dvikryptis V2G krovimas

Sikai Huang et al. atlikto tyrimo metu, nustatyta, kad 5,2% dienos trukmės, automobiliai yra naudojami transportui, tai reiškia, kad 94,8% laiko jie yra laisvi ir nenaudojami. [20] Tai reiškia, kad elektromobiliai turi nemažai potencialo būti išnaudojami kaip baterijos, įkraunant juos, kai bendras elektros energijos suvartojimas yra žemas ir iškraunant, kai tinklui reikalinga papildoma elektros energija, piko metu. Tokiu būdu elektromobiliai gali padidinti elektros energijos tinklo patikimumą. Tokią funkciją gali atlikti V2G krovimas. [21]

Elektromobilių panaudojimas su V2G krovikliais, gali padėti sumažinti skirstomojo tinklo nuostolius, sumažinti krovimo kaštus, taikant skirtingus krovimo kainos tarifus arba padėti sureguliuoti ir subalansuoti elektros energijos tinklą, ypač atsinaujinančių energijos šaltinių generuojamą galią. [22]

V2G technologijos panaudojimas perkelia dalį piko metu suvartojamos elektros energijos į periodus, kai elektros energija yra pigesnė. Petra Mesarić et al. atliko tyrimą, kurio metu sumodeliavo Kroatijos nacionalinio elektros energijos tinklo modelį su 9 tūkst. elektromobilių, kurio kiekvieno talpa priimta 10 kWh, o suminė gauta talpa 90 MWh. Gautas vienos paros apkrovos grafikas – **12 pav.**, su ir be V2G technologijos elektromobiliams krauti. [23]

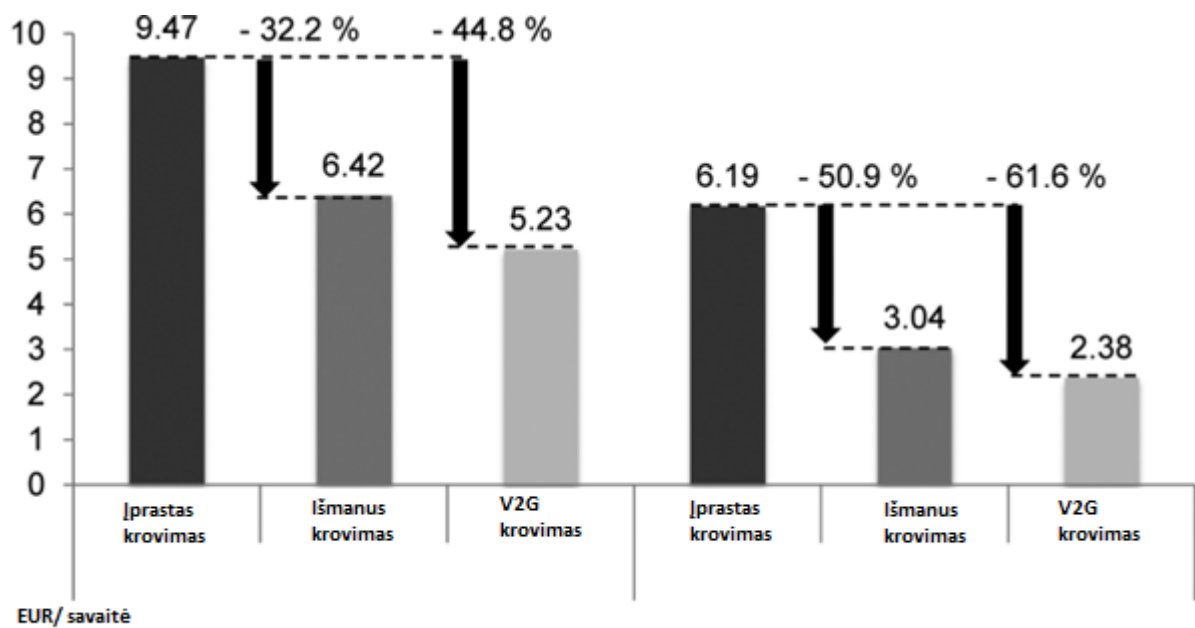
Pagal Kroatijos statistikos departamento duomenis, bendras lengvųjų automobilių kiekis 2020 metais šalyje yra 1746285. [24] Tyrimo metu naudotas 9000 elektromobilių kiekis turėjo sudaryti 0,51% viso lengvųjų automobilių parko.



**12 pav.** Sumodeliuoto Kroatijos tinklo vienos paros apkrovos grafikas be ir su V2G krovimo. [23]

Tyrimo rezultatas – sumažėjusios piko galios, nuo 2141 MWh, iki 2091,65 MWh, tai sudaro 2,3% piko galios, taip pat perkeltos suvartojimo galios nuo dienos meto į nakties periodą, sumažino energijos kaupiklių reikalingumą. [23]

Dvikryptė krovimo technologija turi privalumų ne tik elektros energijos tinklui, tačiau ir patiems vairotojams. Alexander Schuller et al. atliktas tyrimas parodė, kad naudojant išmanų arba V2G krovimą, vartotojai sutaupo iki 61,6% per savaitę krovimui išleidžiamų lėšų, kaip pavaizduota **13 pav.** [22]

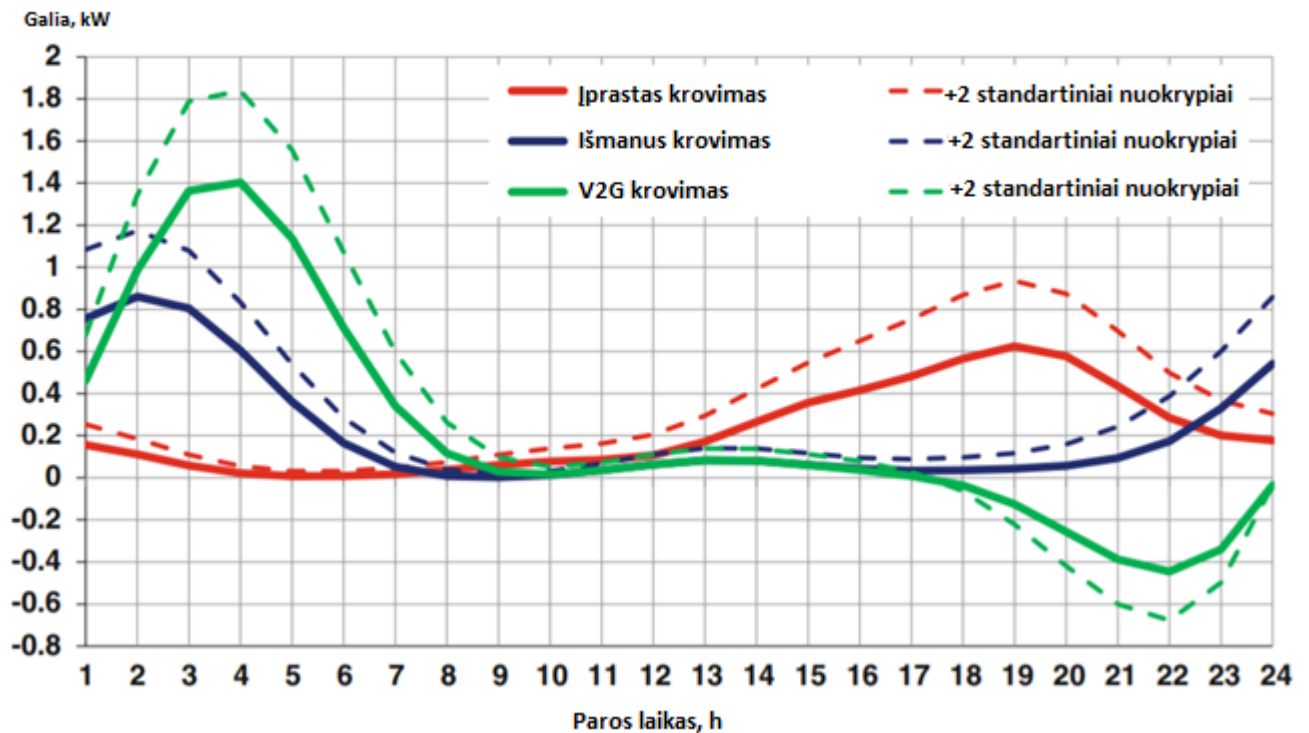


**13 pav.** Savaitinės krovimo išlaidos naudojant įprastą krovimą, išmanų krovimą ir V2G technologiją, dirbantiems ir pensinio amžiaus žmonėms. [22]

Tam, kad vartotojams finansiškai vertėtų naudoti kitus krovimo metodus, tyrimo metu buvo įvesti du tarifai – 0,175 €/kWh ir 0,169 €/kWh. Tyrime išlaidos nedirbantiems asmenims buvo mažesnės, dėl taikytos prielaidos, kad jų kelionių kiekis ir nuvažiuojamas atstumas yra mažesni. AFAP – krovimas įprastu būdu, kai tik atsiranda galimybė, yra ženkliai brangiausias krovimo būdas. Išmanus krovimo būdas, sumažina kaštus krovimui 32,2% ir 50,9%, atitinkamai dirbantiems ir nebedirbantiems žmonėms. V2G technologija šiuos kaštus sumažino dar labiau, dirbantiems žmonėms, 44,8%, nedirbantiems iki 61,6%, krovimo kainos, palyginus su įprastu, krovimo būdu. [22]

Phillip Paevere et al. atlikto tyrimo metu naudotos skirtingų krovimo būdų kreivės pavaizduotos **14 pav.** Įprastas krovimas šiame paveikslėlyje didžiausias galias suvartoja apie 19h, kai įprastą dieną, yra vienas didžiausių paros elektros energijos suvartojimų. Išmanus krovimas perstūmė šį piką į 2h nakties, kai suvartojimas yra mažiausias paroje. V2G krovimas didžiausią piką pasiekia 4h nakties, tačiau nuo 17h iki 24h, šis kroviklis grąžino elektros energiją į tinklą, taip sumažindamas vakarinį piką.[25]



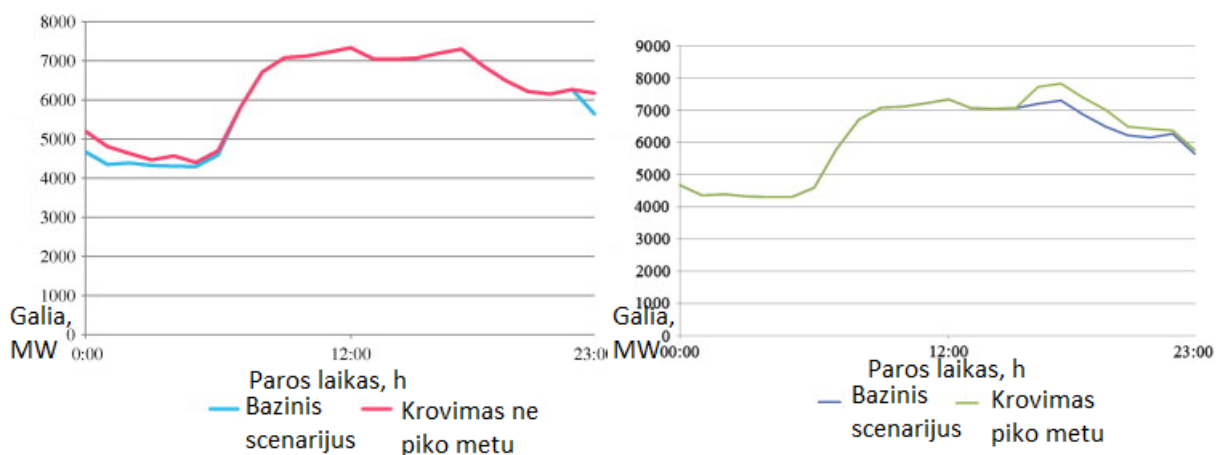


14 pav. Skirtingų vieno elektromobilio krovimo būdų, paros apkrovos su standartiniais nuokrypiais. [25]

#### 1.2.4. Elektromobilių įtaką elektros energijos rinkai ir elektros kainai

Elektromobilių krovimas padidina elektros energijos suvartojimą, dėl ko gali prireikti daugiau ir brangesnių, nei įprastai generacijos šaltinių, o dėl to gali pakilti elektros energijos rinkos kaina.

Aoife Foley et al. atliktas tyrimas su Airijos elektros energijos tinklu, parodė, kad net 10% arba 213 561 vienetų elektromobilių parkas gali daryti įtaką elektros energijos gamyba ir energijos kainai. Tyrimo metu naudotas modelis, atitinkantis 2020 metų Airijos elektros energijos tinklo prognozes. Į modelį įtraukti tokie duomenys, kaip instaliuotos elektrinių galios, gamybos kaštai, šiltnamio efektą sukeliančių dujų kainos. Elektromobilių krovimas buvo vertinamas dviem variantais, krovimas piko metu, kai vairuotojai iškart grįžta po darbo ir ne piko metu, atidedant krovimą vėlesniam laikotarpiui. 16kWh talpos baterijų įkrovimas pasirinktas laiptuotas, pirmas 4h krovimas buvo 2,9kWh, pasiekiant 73% baterijos talpos, sekantįs 2h krovimo galia sumažėjo iki 1,45kWh, kraunant iki 90% baterijos talpos, paskutinės 2h naudojo mažiausiai energijos – 0,58kWh, pakraunant elektromobilio bateriją iki maksimumo. Tyrimo metu gauti apkrovos grafikai parodyti 15 pav. [26]



**15 pav.** Vienos paros bendras elektros energijos suvartojimas, kraunant elektromobilius ne piko ir piko metu. [26]

Elektros energijos poreikis, generacija bei vidutinė elektros energijos kainos pavaizduotos **5 lentelėje**. Iš tyrimo metu gautų duomenų, galima daryti išvadą, kad elektromobiliai įtaką elektros energijos poreikiui, generacijai ir galutinei kainai. Kraunant piko metu elektros energija išauga 1,6%, o ne piko metu 1,07%, palyginus su baziniu scenarijumi, kai elektromobilių nėra iš vis. Viena iš priežasčių, kodėl elektros energijos kaina pakilo, yra padidėjęs energijos poreikis, kuris iššaukė didesnę dujinių elektrinių gamybą. [26]

**5 lentelė.** Skirtingų scenarijų įtaka elektros energijos poreikiui, generacijai bei elektros energijos kainai. [26]

Scenarijus	Poreikis, GWh	Generacija, GWh	Elektros energijos kaina vartotojams, €/MWh
Bazinis (be elektromobilių)	48 651	49 467	54,13
Krovimas ne piko metu	49 358	50 229	54,72
Krovimas piko metu	49 385	50 243	55,02

Mads Greaker et al. atlikto tyrimą, siekiant išsiaiškinti V2G krovimo įtaką elektros energetikos rinkai. Tyrimo metu sukurtas modelis, atvaizduojantis prognozuojamą Belgijos 2040 metų elektros energijos tinklą, su bendra 97,6 TWh metine suvartojama galia. Tyrimą sudaro keturi scenarijai: [27]

- Bazinis be elektromobilių;
- 2 milijonų elektromobilių, bet neturint galimybės naudotis V2G;
- 2 milijonai elektromobilių, su 10% galimybe naudotis V2G krovimu;
- 2 milijonai elektromobilių, su 20% galimybe naudotis V2G krovimu. [27]

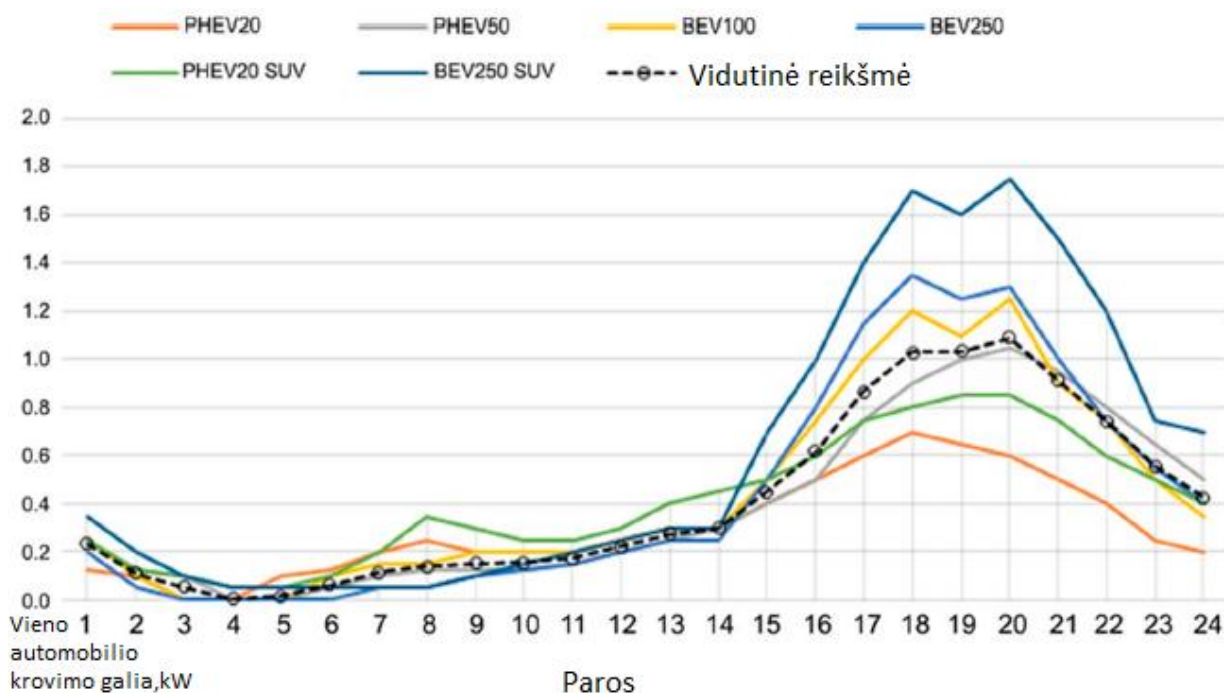
Modelyje, elektromobilių suvartojama galia priklauso nuo nuvažiuoto atstumo. Krovimo įpročiai taip pat, pavyzdžiui, jei dienos kelionės maršrutas buvo trumpesnis, elektromobilių vairuotojai krauna vėliau, kai energijos kaina nukrenta. Taip pat, kai nuvažiuojamas trumpas atstumas, baterija pakraunama pilnai ir nereikalinga elektros energija yra tiekama atgal elektros tinklui. Modelyje taip pat įvertinamas ir metinis baterijos talpos mokėstis, kuris tiesiogiai priklauso nuo baterijos talpos. Elektros energiją elektromobiliai grąžina į tinklą tik tada, kai tinkle yra pikas, nes tada elektros energijos kaina yra didžiausią ir tai generuoja didžiausias pajamas vairuotojams. [27]

Gauti tyrimo rezultatai aprašyti **6 lentelėje**. Tyrimo metu pastebėta, kad elektros energijos kainai įtaką V2G krovimo technologija daro tik, jei daugiau nei 12% elektromobilių vairuotojų turi prieigą naudotis V2G krovimu. Tai aiškinam tuo, kad esant mažiau nei 12% V2G krovimo galimybių, elektros energijos tinklas dar vis turi laisvos galios, už tą pačią elektros energijos kainą, todėl kaina nesikeičia. Esant 20% V2G krovimo galimybių, piko metu elektros energijos kaina krenta nuo 149,9 €/MWh, iki 124,9 €/MWh, arba beveik 17%. Tiesa, elektros energijos kaina ne piko metu, kai elektromobiliai yra kraunami, išauga nuo 95,2 €/MWh iki 101,5 €/MWh, arba 6,6%. Taip pat, didžiausias V2G krovimo panaudojimas padėjo sumažinti pikinės galios suvartojimus apie 9%. [27]

**6 lentelė.** Elektromobilių krovimo be V2G ir su V2G technologijomis įtaka elektros energijos rinkai. [27]

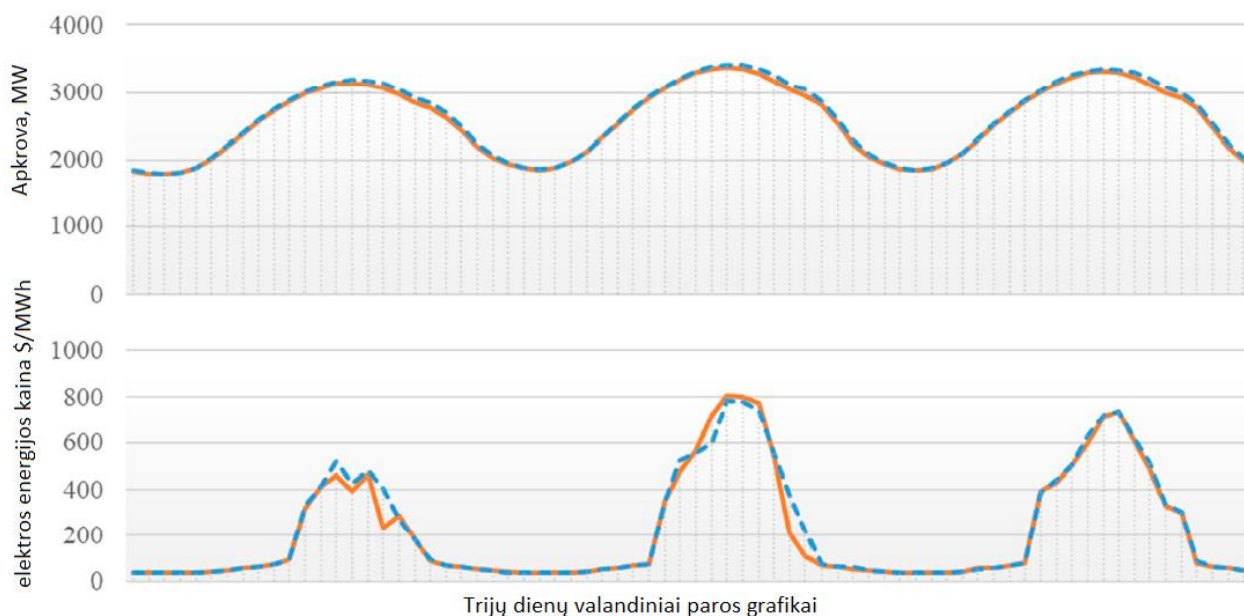
	<b>Bazinis scenarijus, be elektromobilių</b>	<b>2 milijonai elektromobilių, be V2G</b>	<b>2 milijonai elektromobilių, su 10% galimybe naudotis V2G</b>	<b>2 milijonai elektromobilių, su 20% galimybe naudotis V2G</b>
<b>Elektros kaina, ne piko metu, €/MWh</b>	95,2	95,2	95,2	101,5
<b>Elektros kaina, piko metu, €/MWh</b>	149,9	149,9	149,9	124,9
<b>Pareikalaujamoji galia piko metu, MW</b>	14 000	14 028	12 805	12 731
<b>Pareikalaujamoji galia ne piko metu, MW</b>	10 183	12 084	12 540	12 731
<b>Energijos balansas piko metu, palyginus su baziniu scenarijumi, MW</b>	0	28	-1 195	-2 124
<b>Energijos balansas ne piko metu, palyginus su baziniu scenarijumi, MW</b>	0	1 872	2 328	2 924

Megan Zielke et al. atliko tyrimą, modeliuojantį Viskonsino valstijos, JAV, 2030 metų prognozuojamą elektros tinklą ir 5% elektromobilių skaičiaus įtaką jam. Tyrimui naudoti šešių tipų automobiliai – įprasti pakraunami hibridiniai automobiliai nuvažiuojantys elektra 20 ir 50 mylių bei visureigiai nuvažiuojantys apie 20 mylių ir elektromobiliai, nuvažiuojantys 100, 250 mylių ir 250 mylių nuvažiuojantys visureigiai. [28]



**16 pav.** Tyrimui naudoti skirtingų automobilių kategorijų krovimo grafikai. BEV- elektromobiliai, PHEV – įkraunami hibridiniai automobiliai. [28]

Tyrimui naudotas Viskonsino valstijos simuliacinis elektros energijos tinklas su pagrindiniais valstijos elektros tiekėjais ir jų siūlomomis kainomis. Gauti rezultatai rodo, kad didžiausias, 5% elektromobilių kiekio scenarijus nesukelia ryškaus valandinio elektros energijos kainos augimo, kaina išauga mažiau nei 2%, tarp visų tiekėjų. Vidutiniškai elektros energijos kaina padidėjo \$1,05/MWh. Tyrimo rezultatas – net 5% elektra kraunamų automobilių nedaro ryškios įtakos elektros energijos kainai visiems elektros energijos tiekėjams valstijoje. Bendri apkrovos ir elektros energijos kainos trijų dienų grafikai pavaizduoti **17 pav.**. [28]



**17 pav.** Apkrovos (viršuje) ir elektros energijos kainos (apačioje) paros grafikai, gauti iš Viskonsino valstijos modelio. Geltonos linijos atspindi bazinį, be elektromobilių, modelį, mėlyna punktyrinė – 5% elektromobilių kiekio modelį. [28]

Taigi, elektromobilių kiekio ir jų krovimo būdų įtaka elektros energijos rinkai yra aprašyta skirtingų pasaulio vietų sistemoms. Tačiau iki šiol nėra tyrimo, kurio metu būtų išsiaiškinta ši įtaka Lietuvos elektros rinkai, o poreikis tam yra. Pagal iškeltus ambicingus tikslus, transporto sektorius turėtų būti sparčiai elektrifikuojamas netolimoje ateityje ir tam reikėtų pasiruošti, numatant iškylančias grėsmes elektros energijos rinkos kainai. Šis tyrimas yra tuo unikalus, kad dar nėra nei karto nagrinėtas ir aprašytas.

### 1.3. Lietuvos elektros energetikos sistema ir elektromobiliai Lietuvoje

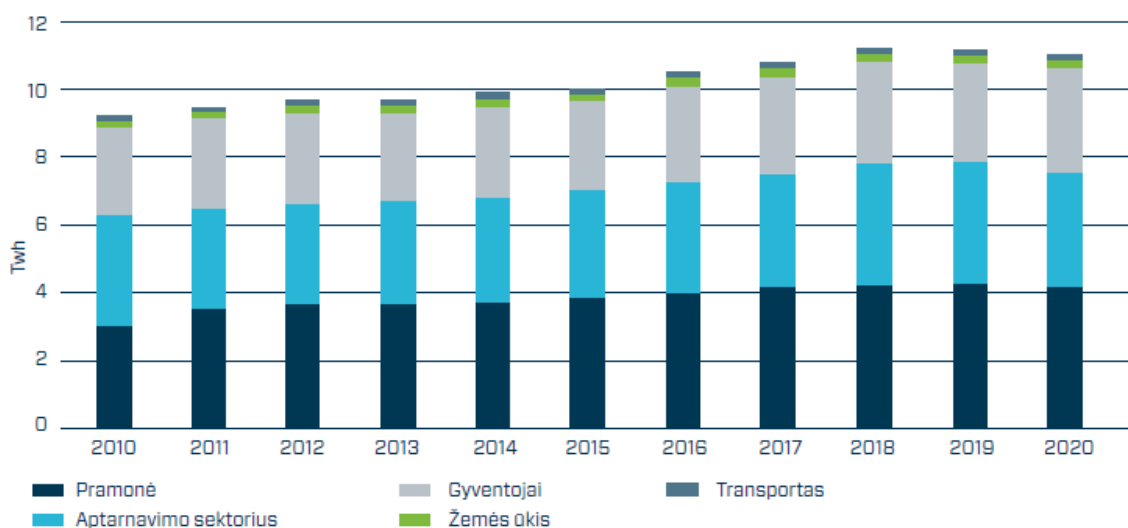
Lietuvos elektros energetikos sistema veikia sinchroniškai su IPS/UPS sistema, jungiančia Baltarusijos, Rusijos, Estijos, Latvijos, Lietuvos ir kitų šalių sistemas ir jos dažnis yra palaikomi iš centrinės dispečerinės Maskvoje. Dėl šios priežasties, Lietuva kelia tikslą – prisijungti prie Europos kontinentinių tinklų. Baltijos šalių sinchronizacija su kontinentinės Europos tinklais vyks pasinaudojant išplėsta jungtimi tarp Lietuvos ir Lenkijos („LitPol Link“), taip pat bus nutiestas naujas jūrinis kabelis („Harmony Link“). [29]

Lietuvos elektros energetikos sistema yra unikali tuo, kad apie 70% elektros energijos poreikių yra importuojama iš kaimyninių valstybių. Tai netolimoje ateityje turėtų pasikeisti, dėl NEKS keliamų tikslų didinti vietinę gamybą, ypač pasitelkiant atsinaujinančią vėjo ir saulės energetiką. Taip pat, verta paminėti, kad elektros energetikos gamybos sektoriuje, planuojama plėtra išskirtinai tik atsinaujinančia energija. Taip stengiamasi pereiti prie mažiau taršių elektros energijos gamybos būdų. [1]

Lietuva taip pat turi vieną unikalią įrenginį elektros energetikos sistemoje – Kruonio HAE, likusį nuo Ignalinos atominės elektrinės laikų. Tuo metu, hidroakumuliacinės elektrinės funkcija buvo reguliuoti energetinės sistemos darbą išlyginant apkrovimų netolygumus bei įvykus avarijai sistemoje, kompensuoti energijos deficitą. [30] Šiuo metu, didėjant atsinaujinančios energetikos sektoriui, Kruonio HAE bus vienas svarbiausių reguliavimo įrankių energetikos sistemoje, esant elektros energijos gamybos netolygumui.

#### 1.3.1. Elektros energijos suvartojimas Lietuvoje

Lietuvoje, pastarąjį dešimtmetį, galutinis elektros energijos suvartojimas kasmet nežymiai augo.



18 pav. 2010-2020 m. galutinis suvartotos elektros energijos kiekis pagal vartotojų grupes. [31]

Lietuvoje 2020 metais, galutinis elektros energijos suvartojimas siekė 10977 TWh per metus, didžiausia pareikalaujamoji energija per metus siekė 1939 MWh, o žemiausia sudarė 862 MWh. Didžiausią elektros energijos suvartojimo dalį sudaro pramonė, antroje vietoje aptarnavimo sektorius, o trečioje gyventojai. Žemės ūkis ir transportas nesudaro didelės įtakos galutiniam elektros energijos suvartojimui mūsų šalyje. Ateityje numatoma ryški transporto sektoriaus elektrifikacija. Pavyzdžiui, 2030 metais didžiausios pareikalaujamos galios prognozėje, elektromobiliai sudarys 244 MW, iš bendros 2664 MW galios, o tai sudaro apie 9%.

### 1.3.2. Elektros energijos gamyba Lietuvoje

Lietuvos elektros energiją gamina dujinės elektrinės, hidro ir hidroakumuliacinės elektrinės, vėjo ir saulės elektrinės, biokuro, biomasės ir biodujų elektrinės bei atliekų deginimo elektrinės. Siekiant užtikrinti sklandų perėjimą prie kontinentinės Europos elektros tinklo, reikalinga didesnė planuojama įrengtoji galia. Litgrid parengtame, Lietuvos elektros energetikos sistemos 400-110 kV tinklų plėtros plane 2021 – 2030 m., pateiktos elektrinių 2021 m. faktinės ir 2030 m. planuojamos įrengtosios galios pateiktos **7 lentelėje**.

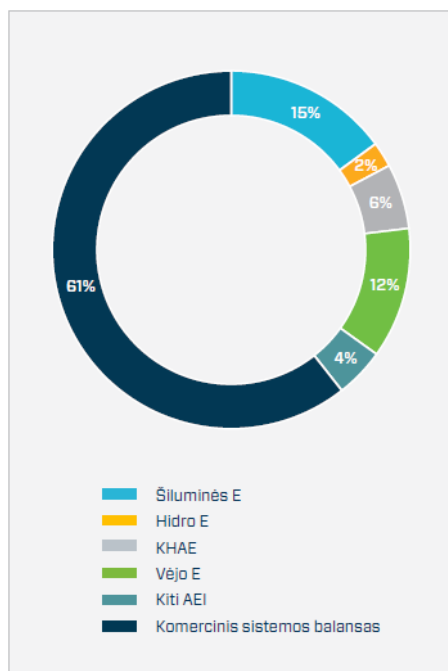
**7 lentelė** Lietuvos elektros energijos faktinė įrengtoji galia 2020 m. ir planuojama įrengtoji galia 2030 m. [31]

Elektrinės	Faktinė įrengtoji galia 2020m., MW	Planuojama įrengtoji galia 2030m., MW
Dujinės elektrinės	1914	780
Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė	900	1010
Atsinaujinantys ištekliai bendrai	936	4956
Hidroelektrinės	128	128
Vėjo elektrinės	540	1700
Saulės elektrinės	169	1250
Biokuro elektrinės	99	178
Biomasės elektrinės	63	142
Biodujų elektrinės	36	36
Atliekų deginimo elektrinės	48	70

Įrengtoji galia Lietuvoje 2020 metais siekė 3808 MW galią, o 2030 metais planuojama beveik du kartus didesnė 7016 MW galią, įskaitant 200 MW planuojamą baterijų energijos kaupimo sistemą. Didžioji dalis iš visos įrengtos galios šiuo metu sudaro dujinės elektrinės, iš jų daugiausiai Lietuvos E – 1055 MW, tačiau 2030 metais planuojama, kad vėjo elektrinės sudarys beveik pusę visos įrengtosios galios – 3400 MW, saulės elektrinės turėtų sudaryti taip pat nemažą dalį – 1250 MW.

Bendrai atsinaujinanti energetika turėtų sudaryti 4956 MW įrengtosios galios, kai 2020 m. tai sudarė tik 936 MW. [31]

**19 pav.** Error! Reference source not found. pavaizduotas 2020 metų Lietuvos elektros energetikos sistemos balansas. Didžiąją dalį pagamintos elektros energijos buvo importuota iš kitų šalių, net 61%. Elektros energijos importas buvo 11,3 TWh, o eksportas – 3,4 TWh elektros energijos. Lietuva elektros energiją importavo iš Švedijos (4,8 TWh), Rusijos (3,2 TWh), Latvijos (2,05 TWh) , Lenkijos (0,6 TWh), Baltarusijos (0,5 TWh).



**19 pav.** Lietuvos elektros energetikos sistemos balansas 2020 m. [17]

Didžiausią vietinės pagamintos elektros energijos dalį sudarė dujinės elektrinės – 15% arba 1,95 TWh ir vėjo elektrinės – 12%, o tai sudarė 1,54 TWh elektros energijos ir 6,3% daugiau, nei metais prieš tai. Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės gamyba sudarė 6% ir 0,783 TWh elektros energijos, o hidro elektrinės pagamino 0,297 TWh, o tai sudarė – 2%. Kiti atsinaujinantys elektros energijos išteklių vos 2% arba 0,6 TWh elektros energijos. [31]

### 1.3.3. Lietuvos elektros energijos rinka

Elektros energijos didmeninė prekyba Lietuvos energijos rinkoje vykdoma dviem būdais – prekyba dvišaliais sandoriais ir prekyba elektros biržoje. Nuo 2012 metų didmeninę elektros energijos prekybą Lietuvos elektros biržoje administruoja Šiaurės ir Baltijos šalių elektros biržų operatorė – bendrovė „Nord Pool AS“. [32]

„Nord Pool AS“ organizuoja didmeninę prekybą elektros energijos biržoje, užtikrina prekybos elektros energija vietos (biržos) techninį aptarnavimą ir palaikymą, skelbia informaciją apie didmeninę prekybą elektros energija biržoje ir kitas biržos veiklos sąlygas, užtikrina vienodas ir nediskriminuojančias sąlygas visiems biržos dalyviams ir kt. [32]

Lietuvos elektros birža yra pilnai integruota į Šiaurės Europos šalių elektros biržą ir veikia vadovaujantis tokiais pat principais kaip ir kitos regiono šalys. Biržoje vyksta tarptautinė prekyba, kuri yra išankstinė. Visi elektros energijos tiekimo sandoriai sudaromi prieš vartojimo momentą –

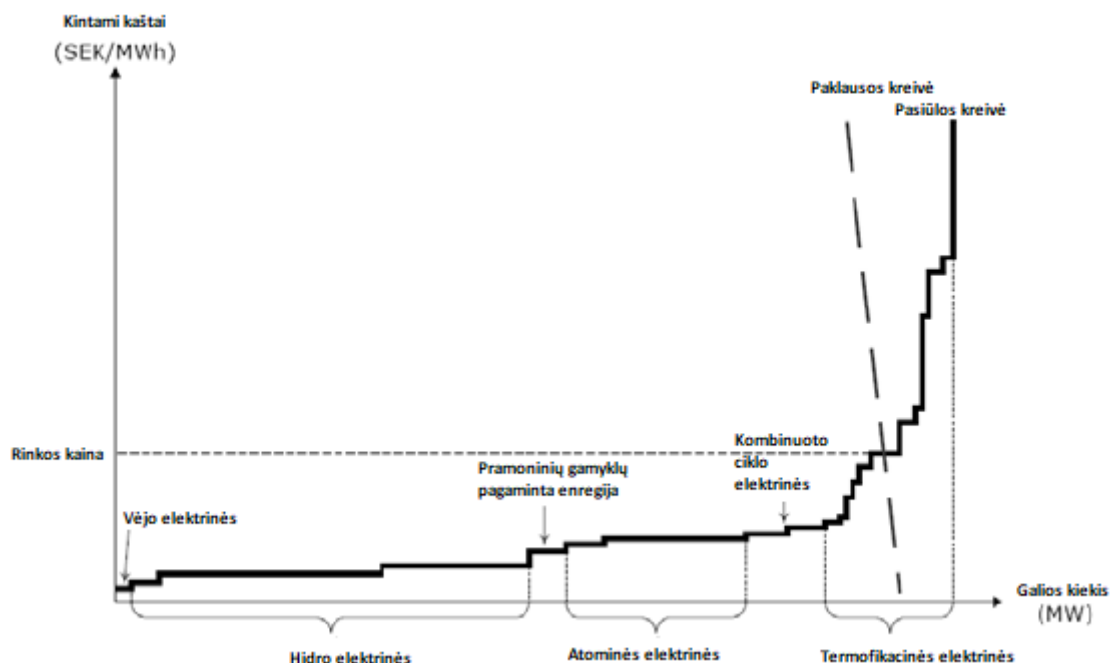


rinkos dalyviai gali rinktis iš dviejų prekybos biržoje būdų: „dienos prieš“ ir „dienos eigos“. Prekyba biržoje vyksta atskirai kiekvienai ateinančio laikotarpio valandai. [32]

„Dienos prieš“ biržos pagrindinė rolė yra nustatyti pusiausvyrą tarp pasiūlos ir paklausos. Tai yra itin svarbu elektros energijos rinkoje, dėl to, kad elektros energijos negalima kaupti ir laikyti dideliais kiekiais ir aukštų kaštų susijusių su tiekimo trikdžiais. Tokio tipo rinkos „Nord Pool AS“ biržoje yra aukciono tipo mainai, skirti apsikeisti elektros energija. „Dienos prieš“ birža gauna pasiūlymus ir prašymus iš energijos tiekėjų ir vartotojų ir suskaičiuoja valandines kainas, subalansuojant šias abi priešingas puses. „Nord Pool AS“ paskelbia kainą kiekvienai ateinančios dienos valandai, siekiant subalansuoti paklausą ir pasiūlą. Elektros energija tokio tipo biržoje yra gaminama mažiausia kaina kiekvieną dienos valandą. [33] Subalansuota kaina atspindi:

- Gamybos kaštus vienai kilovatvalandei elektros energijos nuo pačio brangiausio energijos šaltinio, reikalingo, kad būtų užtikrintas sistemos balansas;
- Kainą, kurią vartotojas yra pasiruošęs sumokėti už galutinę kilovatvalandę, reikalingą užtikrinti poreikį.[33]

Elektros energijos rinkos pasiūlos ir paklausos kreivių pavyzdys pavaizduotas **20 pav.** Punktutine linija nubrėžta paklauso kreivė, nustatoma pagal deklaruojamus vartotojų poreikius pagal galią ir kainą, ištisine juoda, laiptuota linija vaizduoja galimą maksimalią parduoti generuojamą galią ir kainą, už kurią gamintojas sutiktų gaminti elektros energiją. Šių dviejų kreivių susikirtimo taškas atspindi kokia bus visų gamintojų gaunama elektros energijos kaina ir kokią kainą mokės elektros energijos tiekėjai, pirkdami elektros energiją biržoje. [34]



**20 pav.** Grafinis kainos sudarymo „Nord Pool AS“ rinkoje atvaizdavimas. [34]

Didėjant atsinaujinančių elektros energijos šaltinių skaičiui, prognozuoti gamybos kiekius darosi vis sudėtingiau, todėl atsiranda vis daugiau noro dalyvauti „dienos eigos“ biržose. Tokio tipo birža veikia kartu su „dienos prieš“ rinka ir jos papildo viena kitą. Balansavimą perkeliant arčiau suvartojimo laiko yra naudinga rinkos dalyviams ir energetikos sistemoms taip pat, nes taip sumažėja rezervo

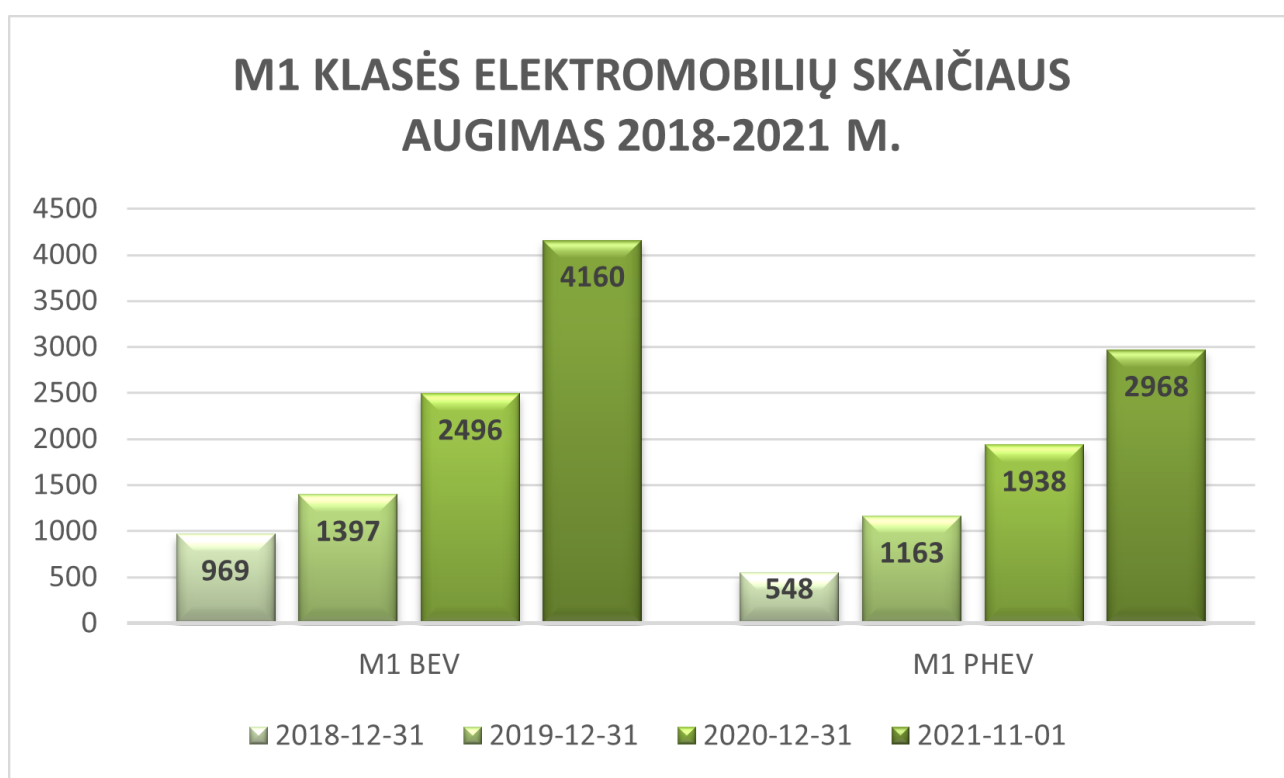


reikalingumas ir su tuo susiję kaštai. Tai yra vienas iš būdų, kaip galima suvaldyti netikėtus pasikeitimus suvartojime ir sumažinti energijos trūkumo galimybes. [33]

Tai yra nesustojanti rinka, kai prekyba vyksta kiekvieną dieną, visą parą, likus vienai valandai iki energijos reikalingumo, o kai kuriais atvejais ir tiesiogiai tą pačią valandą. Kainos yra nustatomos pagal pirmo pareikalavusio – pirmam patiekto principą, kai geriausios kainos ateina pirma – aukščiausia pirkimo kaina ir žemiausia pardavimo kaina. [33]

#### 1.3.4. Elektromobiliai Lietuvoje ir pasaulyje

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerijos, 2021 m. lapkričio 1d., duomenimis, elektra varomų, M1 ir N1 klasės elektromobilių Lietuvoje yra 7313, iš kurių 4341 yra grynieji elektromobiliai, o 2972 yra iš išorės įkraunami hibridiniai automobiliai. Jų skaičius pastaraisiais metais auga, kaip pavaizduota **21 pav.**[35]



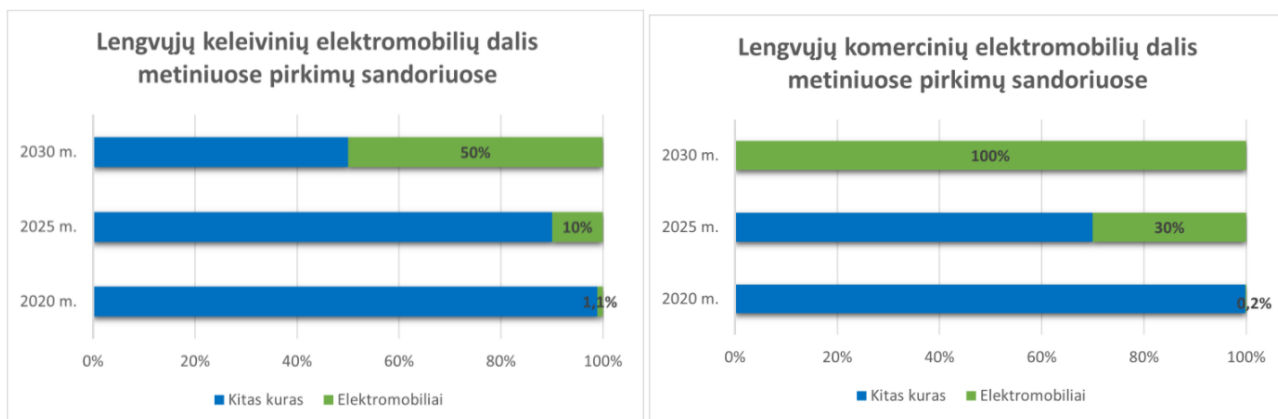
**21 pav.** N1 klasės elektromobilių skaičiaus augimas Lietuvoje 2018-2021 m. [34]

Palyginimui vien M1 klasės lengvųjų automobilių, varomų dyzelinu yra 1 092 925 vnt., dar 369 992 vnt. varomi benzinu. Nepaisant palyginti mažo elektromobilių kiekio, matomas M1 klasės elektra varomų transporto priemonių skaičiaus augimas pastaruosius 3 metus, jų kiekis padidėjo virš 4 kartų, nuo 969 iki 4160. [35]

Prie elektromobilių skaičiaus augimo galimai prisidėjo ir elektromobilių skatinimo programos. Pavyzdžiui, fizinis asmuo, norintis įsigyti naują elektromobilį, galima gauti iki 5000 eurų valstybės paramą ir dar papildomą 1000 eurų, jei sunaikinama sena transporto priemonė. [36]

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija taip pat yra užsibrėžusi aiškius tikslus iki 2030 metų, numatančius ryškų elektromobilių skaičiaus augimą, kuris pavaizduotas **22 pav.** Pagrindiniai tikslai – iki 2025 metų M1 klasės elektromobilių naujų metinių sandorių turi sudaryti ne mažiau 10%, o N1

klasės ne mažiau 30%. 2030 metais numatyta, kad 50% M1 klasės automobilių naujų sandorių bus elektromobiliai, o N1 klasės – 100%. Palyginimui, 2020 metais, M1 klasės naujų automobilių sandoriuose elektromobilių dalis buvo tik 1,1%, o N1 klasės 0,2%. [35]



**22 pav.** Elektromobilių skaičiaus augimo tikslai Lietuvoje, iki 2030 metų. [35]

Palyginimui, pasauliniu mastu, elektromobilių kiekis 2020 metais viršijo 10 mln. vienetų. Vien nuo 2019 iki 2020 metų elektra varomų automobilių padidėjo virš 3 milijonų, arba 39%, kaip vaizduojama **23 pav.** ir tai buvo mažiausias augimo tempas, nuo 2016 metų. Globaliu mastu pirmauja Kinija, su daugiau nei 5 milijonų elektromobilių, antroje vietoje JAV, su 1,77 milijono, o trečioje Vokietija, turinti 570 tūkst. [37]



**23 pav.** Bendras elektromobilių skaičius pasaulyje, 2016-2020 m. [37]

Pagal naujų elektromobilių registracijos kiekį, 2020 metais, pasaulyje pirmavo Norvegija, kurioje net 74,8% naujų automobilių pardavimų sudarė elektromobiliai, antroje vietoje Islandija, su 45%, o trečioje Švedija – 32,2%. Bendrai pasaulyje, 4,2% visų naujų lengvųjų automobilių sandorių sudarė elektromobiliai. [38]

## 2. Metodinė dalis

Augantis elektromobilių skaičius gali turėti neigiamą įtaką elektros energijos rinkos kainai, kaip jau buvo apkalbėta ankstesniuose skyriuose. Dėl šios priežasties svarbu išsiaiškinti kokią įtaką augantis elektromobilių skaičius Lietuvoje ir skirtingi krovimo būdai turės šiam faktoriui.

Pagrindinis tyrimo tikslas yra išsiaiškinti kokią įtaką elektros energijos rinkos kainai Lietuvoje turi augantis elektromobilių skaičius ir skirtingi elektromobilių krovimo būdai. Tam, kad toks tikslas būtų įgyvendintas, reikalingas modelis, kuris galėtų apskaičiuoti skirtingų scenarijų įtaką elektros energijos kainai.

Šiame modelyje turi būti įvertinti visi elektros energetikos aspektai - gamybai reikalingas kuras, elektrinės, elektros energijai gaminti, importuojama, eksportuojama elektros energija, perdavimo ir skirstymo tinklai bei galutinis elektros energijos suvartojimas. Tam, kad būtų galima lengviau suprasti visą bendrą elektros energijos grandinę, tyrimui reikalinga modelio struktūra – schema, kurioje būtų atspindėtas kelias nuo kuro išgavimo iki galutinio suvartojimo. Elektrinių instaliuotosios galios, gamybos kaštai ir pastovieji kaštai turi būti skirtingi kiekvienai elektrinei ir kiek įmanoma artimesni realioms reikšmėms. Galutinis tyrimo tikslas yra išsiaiškinti kokią įtaką 2030 metų Lietuvos elektros energijos tinklui turi skirtingas ir jų krovimo tipai. Panašūs tyrimai buvo aprašyti **1.2.4** skyriuje, tačiau Lietuvos elektros energijos rinkai šis tyrimas dar nebuvo atliktas.

### 2.1. Naudojama programinė įranga

Elektros energetikos sistemos tiriamajam modeliui sudaryti naudojama tam skirta programinė įranga – MESSAGE. Tai yra programinė įranga skirta sudaryti energetikos „bottom-up“ tipo optimizacinius modelius. Pati programinė įranga buvo sukurta IIASA (Tarptautinis taikomųjų mokslų institutas), tačiau pagal specialų susitarimą platinama IAEA (Tarptautinė atominės energijos agentūra). [39]

MESSAGE programinės įranga pasirinkta dėl keleto priežasčių. Ši programinė įranga leidžia vartotojui sukurti energijos sistemos modelį, kuris sudaro tokį gamybos planą, kad užduotas galutinis elektros energijos suvartojimas būtų patenkintas mažiausia kaina. Tam, kad tai būtų galima apskaičiuoti, reikalingi baziniai kiekvieno energetikos elemento, modelyje vadinamo technologijomis (elektrinių, perdavimo tinklų ir t.t.) ir kuru, reikalingais technologijų veikimui (biokuras, dujos ir t.t.) dydžiai. Svarbiausi kintamieji, reikalingi modelio sukūrimui yra – kuro kiekis ir kaina, elektrinių instaliuotosios galios, kintamieji ir pastovūs kaštai, statybos kaštai ir gyvavimo trukmė bei naudingumo koeficientai. [39]

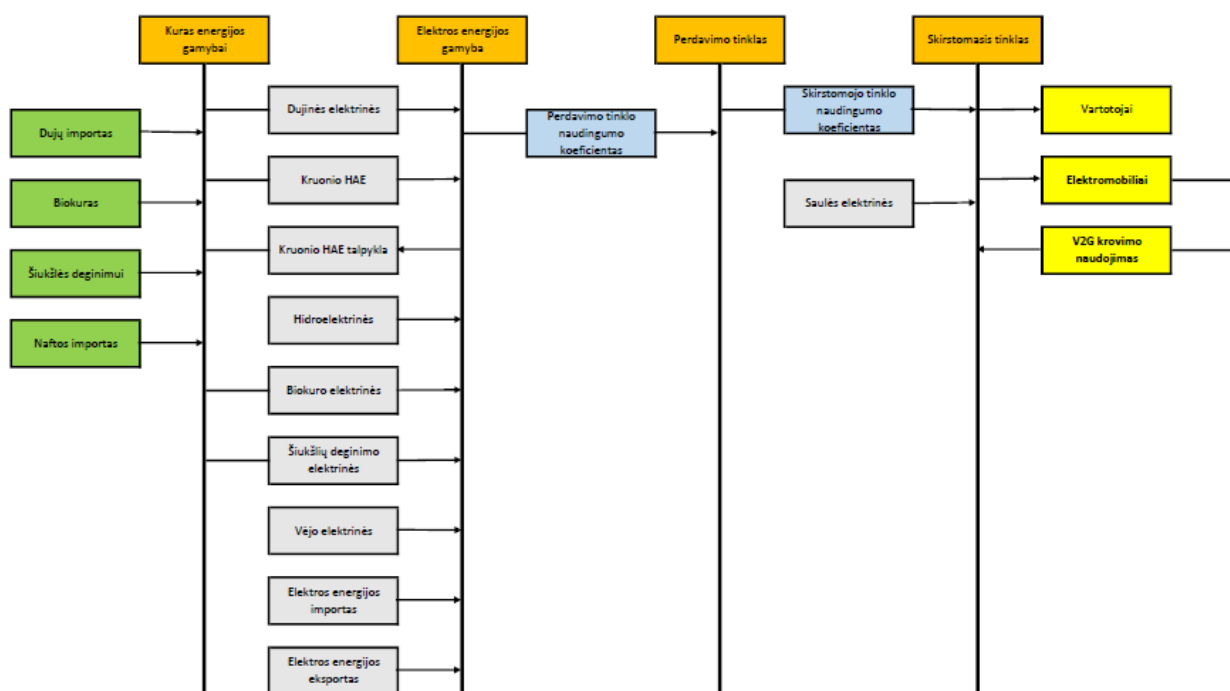
Modelyje taip pat taikoma laiko rezoliucija. Sukurtame modelyje galima metų periodą suskirstyti į kiek norima dalių. Pvz.: 12 mėnesių, po 30 dienų su 7 skirtingomis savaitės dienomis ir 24 valandomis ar 4 sezonais, su 2 dienų tipais, vieną bendrai visoms darbo dienoms ir kitą šeštadieniams, sekmadieniams ir nedarbo dienoms kartu sudėjus su 4 vienos dienos dalimis, po lygiai 6 valandas. Laiko skirstymas į periodus reikalingas tam, kad būtų galima tikroviškiau atspindėti elektros energijos rinką, kuri keičiasi nuolatos. [39]

Įvedus visus reikiamus dydžius, programinė įranga veikia minimizuojant sistemos suminius diskontuotus kaštus ir pateikia rezultatus. Iš gautos eilės rezultatų, vartotojas gali pasirinkti tai, kokie dydžiai jam yra reikalingi. Pvz.: bendras viso tinklo elektros energijos gamybos pasiskirstymas,

atskirų elektrinių gaminama elektros energija, elektros energijos gamybos kaina ir visi šie dydžiai gali būti apžvelgti pagal pasirinktus laiko skirstymo periodus. [39]

## 2.2. Kuriamo modelio struktūra

Elektros energetikos sistema supaprastinama į energijos grandines, kad būtų galima lengviau suprasti elektros energijos kelią nuo kuro išgavimo iki galutinio energijos suvartojimo. Energijos grandinės kuriamos pagal esamą ar planuojamą elektros energetikos sistemą. Šiame tyrime bus kuriamos dvi energetikos sistemos – viena 2020 m., kita 2030 m. 2020 metų sistema skirta modelio validavimui, o gauti rezultatai palyginti su faktiniais. 2030 metai pasirinkti dėl to, kad šie metai yra vieni tolimiausių, kuriems pateikiamos prognozės į ateitį. Taip pat, nuspręsta, kad vieneri metai skaidomi į 12 dalių (12 mėnesių), su dviejų dienų tipais (darbo diena ir savaitgaliai, kartu su šventinėmis dienomis), o kiekvieną dieną sudarytų lygūs 24 laiko periodai (24 valandos). Šiam modeliui sudaryta supaprastinta Lietuvos elektros energetikos sistemos modelio struktūra pavaizduota **24 pav.**



**24 pav.** Lietuvos elektros energetikos sistemos supaprastinta modelio struktūra.

Schema susideda iš 5 pagrindinių dalių:

1. Kuras elektros energijos gamybai (Dujų importas, biokuras, šiukšlės deginimui ir naftos importas);
2. Elektrinės, gaminančios elektros energiją perdavimo tinkle (Dujinės elektrinės, Kruonio HAE su talpykla, hidroelektrinės, biokuro elektrinės, šiukšlių deginimo elektrinės, vėjo elektrinės), elektros energijos importas ir eksportas iš kaimyninių valstybių;
3. Perdavimo tinklas, jungiantis elektrines ir skirstomąjį tinklą bei saulės elektrinės prijungtos prie skirstomojo tinklo;
4. Skirstomasis tinklas;
5. Galutiniai vartotojai ir elektromobiliai su skirtingo krovimo galimybėmis.

Supaprastintoje modelio versijoje pateikiami tik bendrieji elektrinių tipai, nedetalizuojant jų atskirai, kad jis būtų lengvai skaitomas ir būtų galima susidaryti bendrą energijos grandinės vaizdą. Tolimesniuose skyriuose bus aprašytos smulkesnės, atskiros modelio dalys, su visomis, modelyje esančiomis elektrinėmis, kuru ir jų parametrais.

### 2.2.1. Kuras elektros energijos gamybai

Lietuvos elektros energetikos sistemoje, energijos gamybai naudojami keturių tipų kuras – dujos, biokuras, šiuokšlės deginimui ir nafta (mazutas). Kuro kainos ateityje yra sunkiai prognozuojamos, tačiau 2020 metų, dažniausiai būna prieinami. Dėl to kuro kainų svyravimai kiekvieną mėnesį 2030 metams bus apskaičiuojami taip – 2020 metų mėnesio kuro kaina padalinta iš 2020 metų vidurkio suteiks mėnesio koeficientą, kurį padauginus iš 2030 metų vidurkio kainos bus gaunamas kasmėnesinis kuro kainos svyravimas.

Gamtinių dujų panaudojimas elektros energijos gamybai yra dažniausiai naudojama kuro rūšis Lietuvoje, iš bendros 3808 MW instaliuotos galios, 1914 MW sudaro dujinės elektrinės, naudojančios gamtines dujas. [17] Gamtinių dujų išgavimas Lietuvoje nėra vykdomas, todėl šis kuras turi būti importuojamas iš kitų šalių. Modelyje naudojamos importuojamų gamtinių dujų kainų kainos Lietuvoje, pagal valstybinės energetikos reguliavimo tarybos duomenis.[40] 2030 metų modeliui gamtinių dujų, naftos ir biokuro kainos bus naudojamos iš Europos sąjungos kuro kainų prognozės 2030 ir 2050 m. [40]

Žaliavinė nafta naudojama kaip pirminis energijos šaltinis Mažeikių naftos perdirbimo gamykloje. Naftos perdirbimo metu gautas produktas – mazutas, yra šalia esančios Mažeikių elektrinės kuras. Tam, kad būtų galima gauti tikslius duomenis, daroma prielaida, kad Mažeikių elektrinės kuras – nafta. [42] Dėl šios priežasties, modelyje turi būti dar vienas kuras – nafta. Naftos kainos baziniam 2020 m. modeliui, imamos faktinės, rinkos kainos iš Neste. [43]

Biomasės ir biodujų elektrinių kuras supaprastinimo dėlei priimami kaip vienas – biokuras, nes šių tipų elektrinės yra palyginti nedidelės galios, todėl jas galima apjungti į vieną bendrą kurą. Faktinės 2020 metų biokuro kainos modelyje bus naudojamos iš tarptautinės, Baltijos jūros regiono, biokuro biržos, kurioje dalyvauja ir Lietuva – Baltpool. [44] 2030 metų biokuro kaina naudojama iš Europos sąjungos kuro kainų prognozės 2030 ir 2050m. [40]

Šiuokšlės, kaip kuras elektrinėms, naudojamas keliose elektrinėse, tačiau šis kuras yra išskirtinis. Jo kaina yra neigiama, nes komunalinių atliekų tvarkytojai sumoka už tai, kad elektrinė šias atliekas priimtų. Tikslų duomenų, apie tai kokia yra šiuokšlių kaina gauti sunku, tačiau 2019 metais Vilniaus kogeneracinės jėgainės skelbta konkurso kaina siekė 31,86 euro už toną, tad ši kaina ir bus naudojama modelyje. [45] Kadangi buvo rastas tik kainos vidurkis, jis naudojamas visiems metų mėnesiams vienodas, 2030 metų kaina apskaičiuota kaip kuro pabrangimo koeficientų vidurkis.

Tam, kad modelyje neatsirastų sutrikimų, viso kuro kiekis numatomas kaip begalinis, taip nustatoma, kad rinka diktuočių gaminamos elektros energijos sudėtį ir neatsirastų kuro trūkumas. Bendros gautos kuro ir apskaičiuotos reikšmės kiekvienam mėnesiui pateikiamos **8 lentelėje**.

**8 lentelė.** Faktinės kuro kainos 2020 metais ir perskaičiuotos 2030 metais, €/MWh. [40], [43], [44], [45]

Kuras	Metai	Vidurkis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gamtinės dujos	2020	11,19	13,57	11,06	8,99	13,70	12,30	5,71	7,20	7,63	11,95	10,38	12,68	19,09
	2030	28,41	23,42	28,74	35,36	23,20	25,84	55,67	44,15	41,66	26,60	30,62	25,07	16,65
Nafta	2020	22,46	34,38	28,20	26,95	12,81	13,69	19,84	22,34	22,42	23,01	21,19	20,18	24,56
	2030	39,67	25,92	31,61	33,07	69,56	65,09	44,91	39,89	39,74	38,73	42,05	44,16	36,29
Biomasė	2020	10,13	12,38	12,22	12,24	10,41	8,88	8,43	8,65	8,65	9,09	9,99	10,26	10,41
	2030	30,32	24,82	20,58	17,04	16,59	18,93	22,76	26,67	31,24	34,83	35,33	34,90	33,98
Šiukšlės	2020	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38	11,38
	2030	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87	29,87

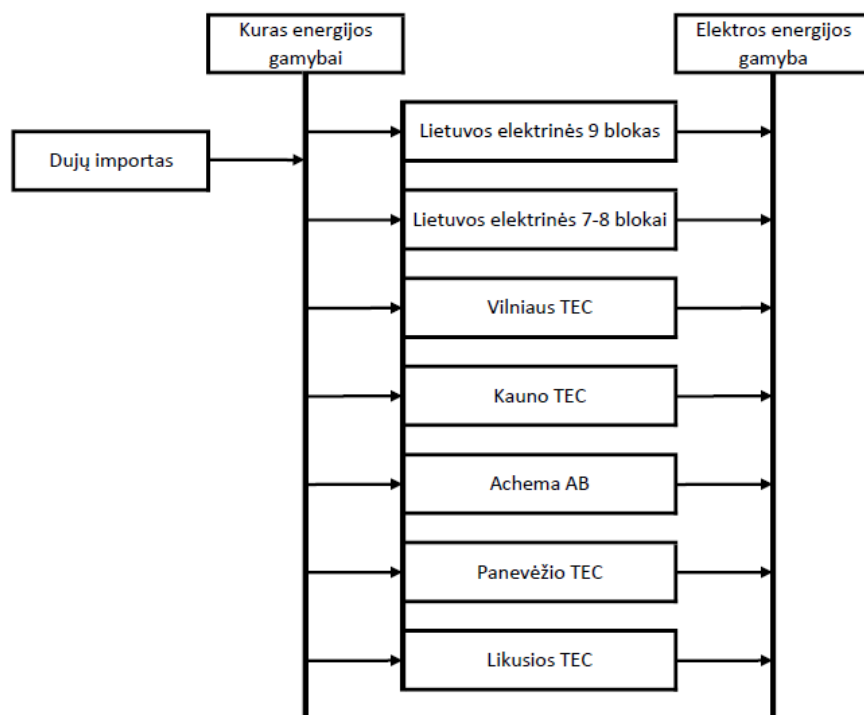
Taip pat, dujų ir naftos importui naudojami CO<sub>2</sub> išmetimų apribojimai. Šie apribojimai nustatomi importuojamam kurui, todėl, kad modelis suvartoja būtent tiek kuro, kiek reikia modeliui patenkinti. Tam, kad nereikėtų jų naudoti kiekvienai elektrinei atskirai, priimama, kad CO<sub>2</sub> mokestis taikomas šio kuro importui. Taršos mokestis 2020 metams nustatytas pagal faktines kainas – 25 €/toną [46], 2030 metams pagal prognozes – 59 €/toną [47]. Valstybinės energetikos reguliavimo tarnybos pateikiama dujų kaina yra be papildomų dedamųjų – perdavimo ir aptarnavimo mokesčių. Tam, kad šie mokesčiai būtų įvertinti, naudojamos vidurkinės dujų kainos, pateikiamos Eurostat. [48] Ši kaina naudojama kaip vidurkis, o kainų svyravimo kreivė kas mėnesį naudojama iš VERT pateikiamų mėnesinių duomenų.

### 2.2.2. Modelyje naudojamos elektrinės

Šiame tyrime naudojamos 7 tipų technologijos elektros energijai gaminti:

1. Dujinės elektrinės;
2. Naftos elektrinės;
3. Biokuro elektrinės;
4. Šiukšlių deginimo elektrinės
5. Vėjo elektrinės;
6. Hidroakumuliacinės ir hidroelektrinės;
7. Elektros energijos importas ir eksportas.

Dujinės elektrinės modelyje atvaizduojamos atskiromis technologijomis, kad būtų galima turėti detalesnę ir tikslesnę vaizdą. Tyrime naudojamų dujinių elektrinių struktūrinės schemas pavaizduotos **25 pav.** Lietuvos elektrinė yra išskaidyta į dvi atskiras technologijas, dėl to, kad 7 ir 8 blokai yra naudojami tik tretiniam rezervui palaikyti, o 9 blokas gamina elektros energiją komerciškai. [45]



**25 pav.** Tyrime naudojamų dujinių elektrinių struktūrinė schema.

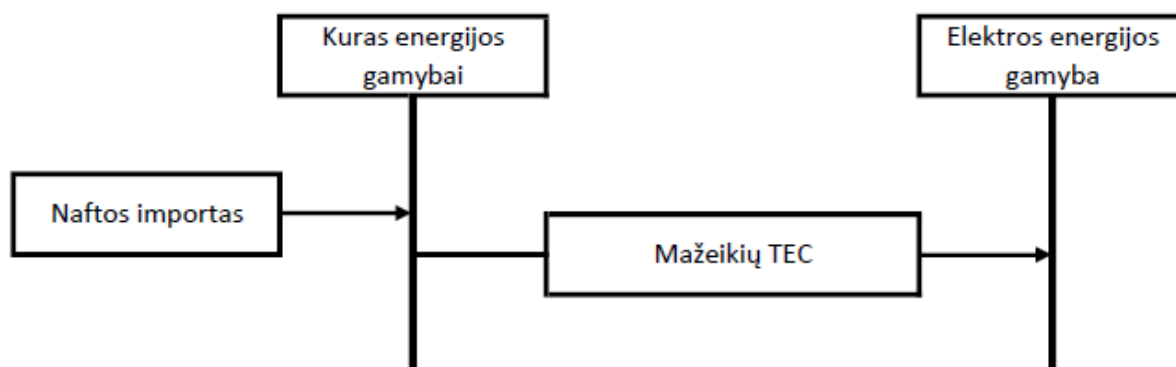
Svarbiausi modelyje naudojami elektrinių parametrai – įdiegoti galia, naudingumo koeficientas, pastovieji ir kintamieji kaštai. Instaliuotosios galios baziniam 2020 m. ir 2030 metų modeliams naudojami iš Litgrid plėtros plano [17] ir iš Lietuvos respublikos nacionalinės energetikos ir klimato srities veiksmų plano 2021-2030m. [49] AB Achemos dujų jėgainių instaliuotosios galios duomenys paimti iš oficialaus įmonės puslapio [50]. Duomenys apie kintamuosius ir pastoviuosius kaštus yra konfidencialūs ir sunkiai prieinami. Šiam tyrimui bus naudojami duomenys, naudoti kito tyrimo metu. FasTen project tyrimo esmė – Baltijos šalių dekarbonizacijos perspektyvos. Tyrime naudoti duomenys, apie elektros energijos gamybą šiose šalyse 2017 ir 2030 metais. Šie duomenys yra viešai prieinami internete. [51] Fasten project tyrime sukaupti duomenys naudojami ir sudarant šio tyrimo modelį. Instaliuotosios dujinių elektrinių galios, kintamieji ir pastovūs kaštai aprašyti **9 lentelėje**.

**9 lentelė.** Tyrime naudojamų dujinių elektrinių parametrai. [17], [51]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Lietuvos Elektrinės 9 blokas	455	455	0,58	9100,0	9100,0	1,6	1,6
Lietuvos Elektrinės 7-8 blokai	600	-	0,38	15155,0	0,0	2,3	-
Vilniaus TEC	360	-	0,323	32510,0	32510,0	1,3	-
Kauno TEC	170	-	0,27	81300,0	-	0,8	-

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Achema AB	69	69	0,38	119980,0	119980,0	0,7	0,7
Panevėžio TEC	35	35	0,44	119980,0	119980,0	0,7	0,7
Likusios TEC	38	21	0,34	15155,0	10000,0	2,3	2,3

Modelyje yra viena elektrinė, naudojanti naftą, kaip kurą. Tai yra Mažeikių elektrinė. Jos struktūrinė schema pavaizduota **26 pav.**



**26 pav.** Tyrime naudojamos naftos elektrinės struktūrinė schema.

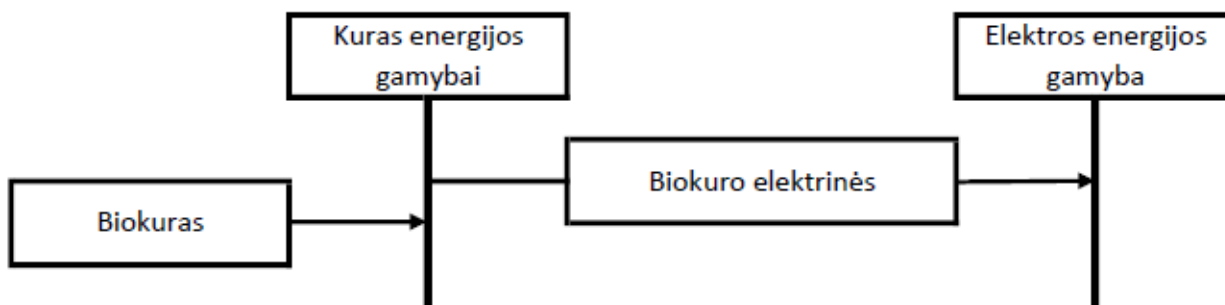
Mažeikių elektrinėje deginamas kuras gaunamas iš naftos perdirbimo, todėl pirminis šaltinis šiame modelyje bus priimamas kaip nafta. Duomenys, apie instaliuotąją galią, pastoviuosius ir kintamus kaštus yra pavaizduoti **10 lentelėje**.

**10 lentelė.** Mažeikių elektrinės elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Mažeikių elektrinė	200	200	0,153	62780,0	62780,0	0,2	0,2

Biokuro elektrinės modelyje naudojamos bendrai visoms tokio tipo kuro elektrinėms, tiek biodujų, tiek biomasės, neišskiriant jų į atskiras, dėl mažų elektrinių instaliuotų galių. Bendra schema biokuro elektrinėms pavaizduota **27 pav.**





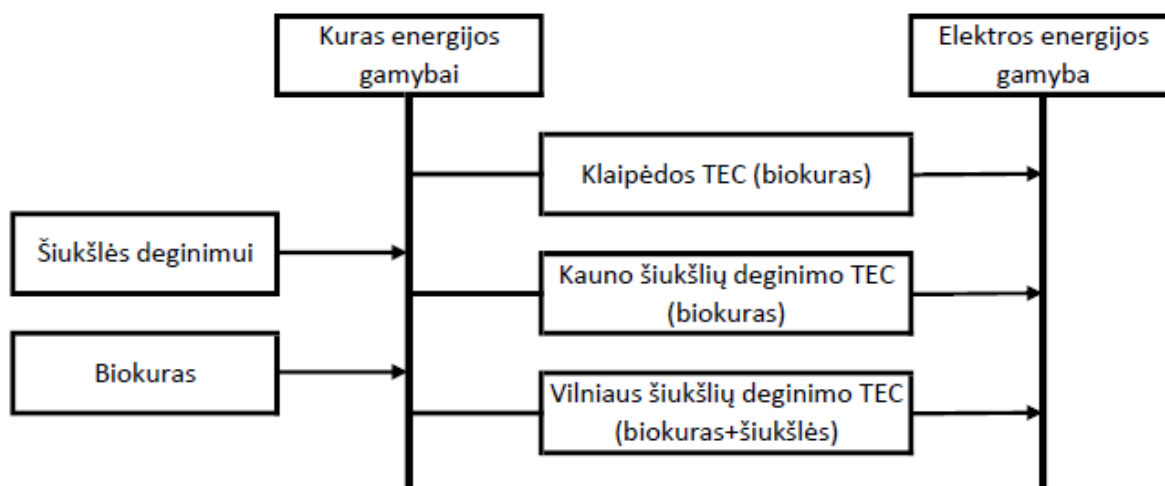
27 pav. Tyrime naudojamų biokuro elektrinių struktūrinė schema.

Biokuro elektrinių pagrindiniai parametrai, reikalingi modelio kūrimui, aprašyti 11 lentelėje.

11 lentelė. Biokuro elektrinių elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Biomasės elektrinės	99	99	0,14	2610000,00	2610000,00	3,03	3,03

Didžiosios šiuokšlių deginimo elektrinės Lietuvoje šiuo metu yra dvi, viena Klaipėdoje ir viena Kaune, tačiau 2030 metais jau veiks ir trečioji – Vilniuje. Pirmosios dvi kurui naudoja tik šiuokšles, tačiau Vilniuje bus deginamas biokuras kartu su šiuokšlėmis, todėl elektrinėje bus naudojami dviejų tipų kuras. Šiuokšlių deginimo elektrinių schema pavaizduota 28 pav.



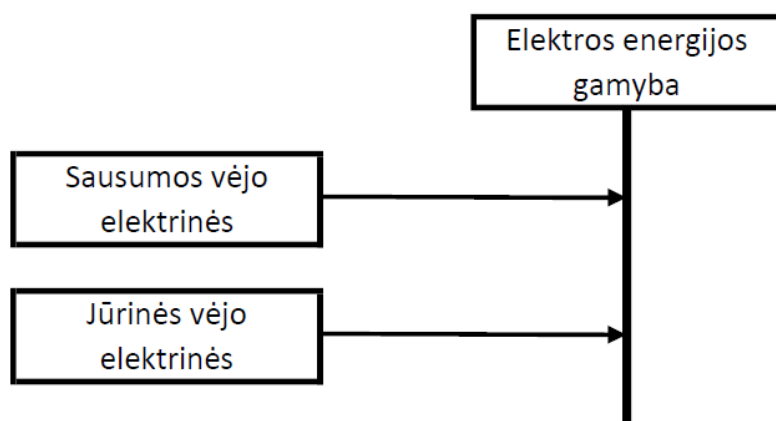
28 pav. Tyrime naudojamų šiuokšlių deginimo elektrinių struktūrinė schema.

Duomenys apie šiuokšlių deginimo elektrines pavaizduoti 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Šiukšlių deginimo elektrinių elektriniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51]

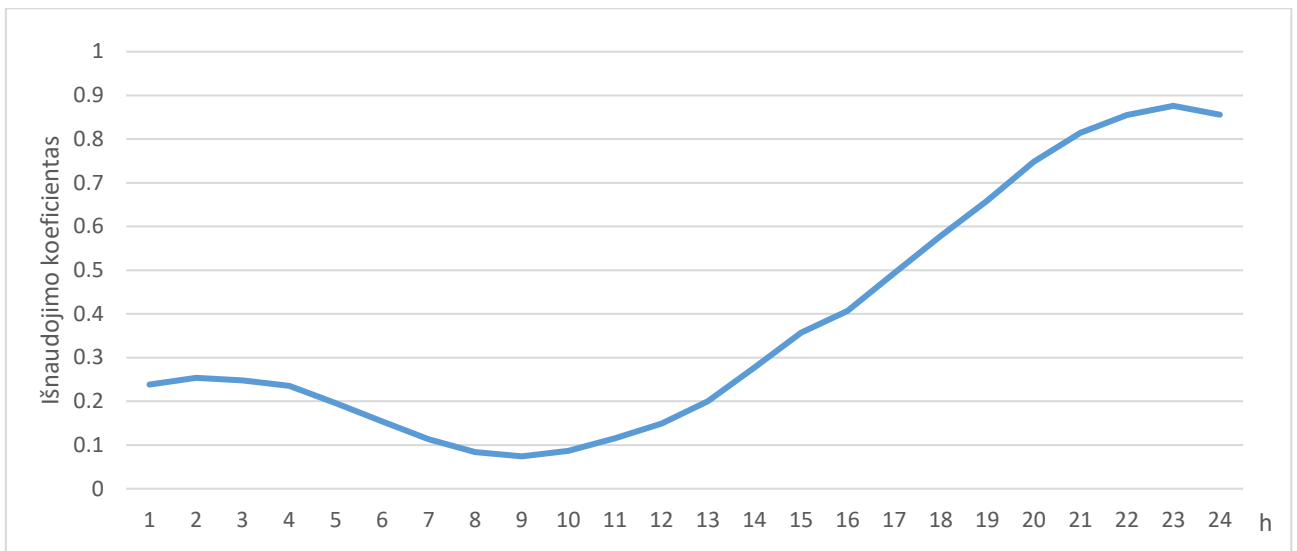
Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Klaipėdos TEC	21	21	0,22	139880,00	139880,00	19,99	19,99
Kauno šiukšlių TEC	26	26	0,22	139880,00	139880,00	19,99	19,99
Vilniaus šiukšlių TEC	-	22 šiukšlių + 79 biokuro	1,01	-	139880,00	-	19,99

Vėjo energetika Lietuvoje, Litgrid duomenimis, artimiausioje ateityje turėtų smarkiai plėstis. AB Litgrid planuoja, kad iki 2028 m., vien vėjo elektrinės jūroje gali siekti 700 MW instaliuotosios galios, o sausumos vėjo elektrinių bendroji instaliuota galia pasieks 1000 MW [17]. Vėjo elektrinių struktūrinė schema pavaizduota **29 pav.**



**29 pav.** Tyrime naudojamų vėjo elektrinių struktūrinė schema.

Kadangi vėjo elektrinės neturi jokio kuro, struktūrinėje schemoje nėra rodyklės iš kuro energijos gamybai. Taip yra ir modelyje, elektrinės neturi jokio įeinančio į jas kuro, tik išeinančią elektros energiją už pastovius ir kintamuosius kaštus. Taip pat, vėjo elektrinės nėra stabiliai elektros energiją gaminančios technologijos, jų pagaminta elektros energija kinta priklausomai nuo vėjo greičio. Šį faktorių įvertinti galima pasinaudojus portalo Renewables.ninja duomenimis. [53] Šiame portale galima perskaiciuotus vėjo ir saulės elektrinių išgaunamus elektros energijos gamybos koeficientus, pagal skirtingų šalių ar regionų faktines meteorologines sąlygas. [61] Iš šio portalo paimti duomenys buvo atrinkti taip, kad atspindėtų vėjo elektrinių bendrą metinį naudingumą ir turėtų svyravimus dienoje, tam, kad atspindėtų realią nepastovią vėjo energijos gamybą. Šie duomenys sudauginami su instaliuotomis elektrinių galiomis ir taip gaunamas kasvalandinis pagamintos elektros energijos kiekis. Pavyzdinis, sausio mėnesio darbo dienos, kasvalandinių gamybos koeficientų grafikas pavaizduotas **30 pav.**



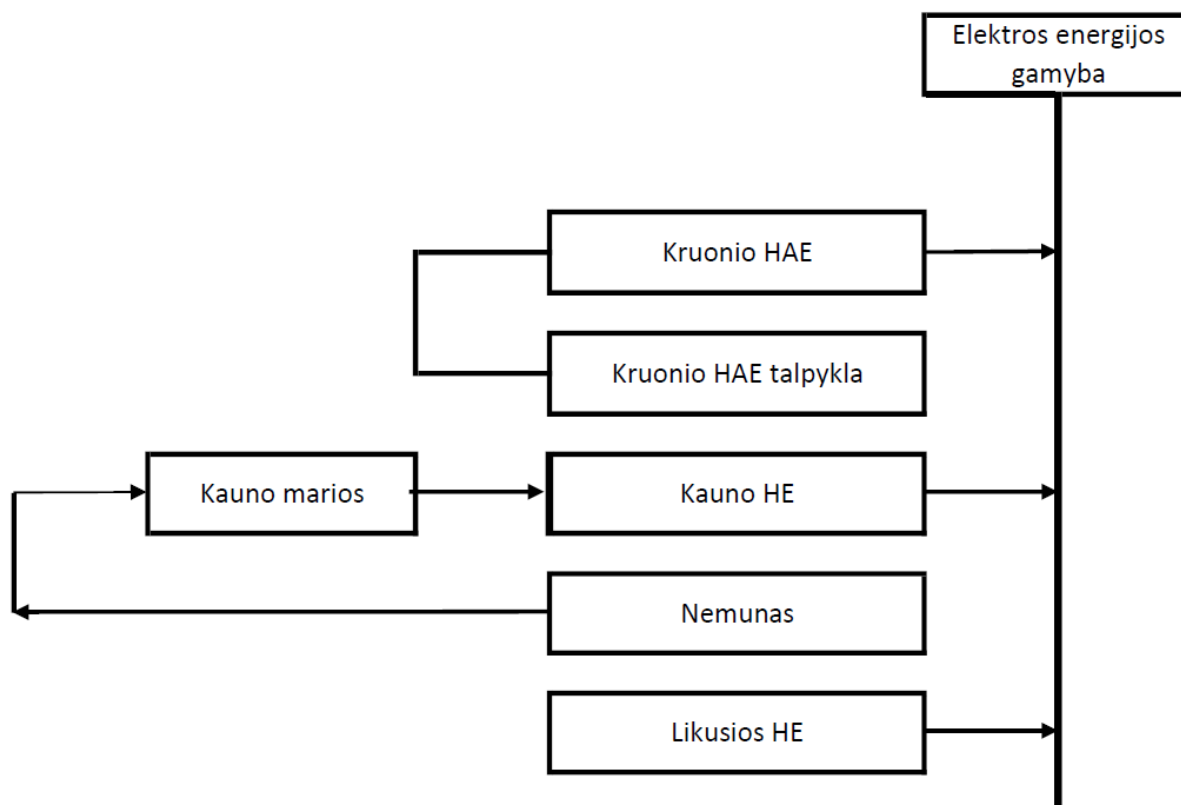
**30 pav.** Sausio mėnesio vidutinės darbo dienos vėjo elektrinių gamybos išnaudojimo koeficientas.

Vėjo elektrinių instaliuotos galios su kintamais ir pastoviais gamybos kaštais pavaizduotos **13 lentelėje**.

**13 lentelė.** Vėjo elektrinių techniniai ir ekonominiai parametrai. [17], [51]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Sausumos vėjo elektrinės	540	1000	-	25600	14000	2,8	1,5
Jūrinės vėjo elektrinės	-	700	-	-	36053	-	2,7

Lietuvoje yra dvi didžiosios hidroelektrinės – Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė ir Kauno hidroelektrinė. Likusios mažosios hidroelektrinės tyrime bus aprašomos kaip viena papildoma elektrinė. Kruonio hidroakumuliacinės elektrinės baseinas modelyje projektuojamas kaip energijos kaupykla, kurią galima pildyti ir iškrauti. Kaupykla projektuojama taip, kad elektrinei pagaminus 1 vienetą elektros energijos, 1 vienetas energijos kaupykloje sumažėja, taip atsiranda baigtinis energijos gamybos kiekis. Kai elektros energijos sistemoje yra mažesnės apkrovos, modelyje kaupykla užpildoma iš naujo, taip imituojant baseino pildymą marių vandeniu. Kauno hidroelektrinė projektuojama taip pat su energijos kaupykla. Kaupykla imituoja Kauno marias, kurias pildo Nemunas, o iškrauna Kauno hidroelektrinė, gamindama elektros energiją. Mažosios hidroelektrinės projektuojamos be baseinų, nes dėl mažų jų galių nėra užtvenkiamos upės. Hidroelektrinių struktūrinė schema pavaizduota **31 pav.**



**31 pav.** Tyrime naudojamų hidroelektrinių struktūrinė schema.

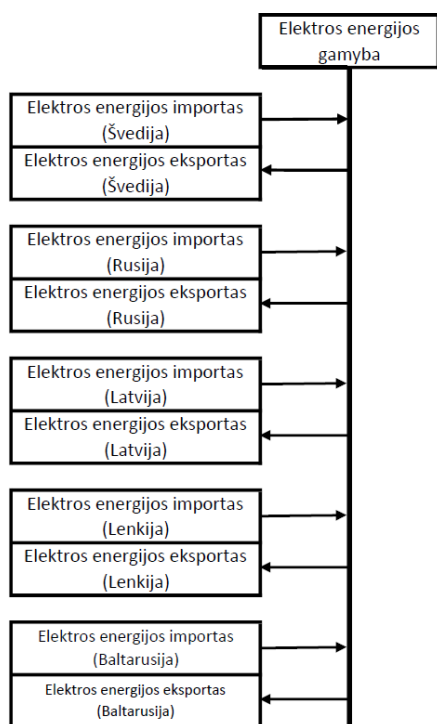
Aprašant hidroelektrines su rezervuarais, atsiranda papildomas faktorius, kuris turi būti įvertintas – kaupyklos didžiausios talpos, t.y. kiek rezervuarai gali maksimaliai sukaupti energijos. Šie duomenys taip pat yra pateikti FasTen projekto pateiktų duomenų lentelėse. Kruonio HAE rezervuaro maksimali sukaupta energija siekia – 10800 MWh. Kauno hidroelektrinės rezervuaro maksimali sukaupta energija siekia – 2603 MWh [45] Hidroelektrinių technoekonomiai rodikliai pateikti **14 lentelėje**.

**14 lentelė.** Hidroelektrinių technoekonomiai parametrai. [17], [51]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Kruonio HAE	900	1010	0,76	12990,00	12990,00	-	-
Kauno HE	101	101	1	11100,00	11100,00	-	-
Mažosios HE	27	27	1	40000,00	40000,00	0,50	0,50

Dar vienas šaltinis, iš kurio galima gauti elektros energiją arba ją atiduoti yra importas ir eksportas. Tai yra svarbus aspektas, sudarant elektros energijos sistemos modelį, nes kaip jau buvo pavaizduota **19 pav.** Lietuvos elektros energetikos sistema yra stipriai

priklausoma prie elektros energijos srautų iš kaimyninių valstybių. Šiuo metu, Lietuva elektros energija gali prekiauti su penkiomis kaimyninėmis valstybėmis: Švedija, Rusija, Latvija, Lenkija ir Baltarusija. Tačiau vykdant sinchronizaciją su kontinentinės Europos tinklais, iki 2030 metų nebeliks jungčių tiek su Rusija, tiek su Baltarusija, bus plečiama jungtis su Lenkija, statant „Harmony Link“ 700MW jūrinio kabelio jungtį ir dar labiau praplečiant „LitPol Link“ jungtį iki 800 MW galios. [17] Elektros energijos importo ir eksporto kainos „NordPool“ rinkos dalyvėms, Švedijai, Lenkijai ir Latvijai, prieinamos šios biržos portale. [49] Rusijos pirmos zonos elektros energijos kainos kitimas 2020 metais. Elektros energijos importo ir eksporto struktūrinė schema pateikta **32 pav.**



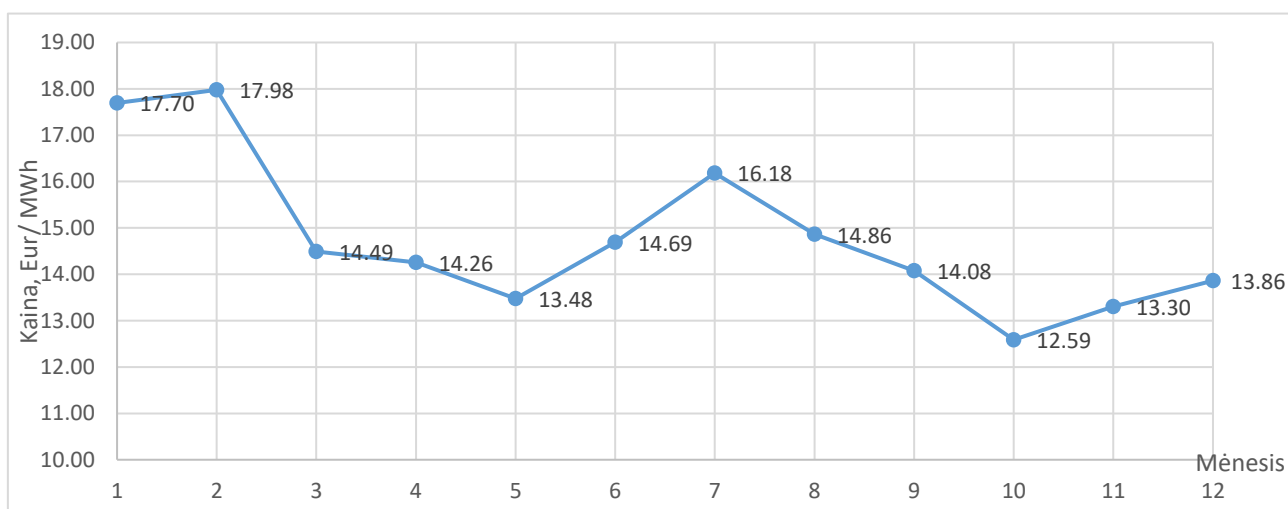
**32 pav.** Tyrime naudojamo elektros energijos importo ir eksporto struktūrinė schema.

Elektros energijos importo kainos „Nordpool“ [54] grupei priklausančioms šalims – Švedijos ir Latvijos, gaunamas iš šios organizacijos tinklalapio pateikiamų oficialių duomenų. Lenkijos valandinės kainos gaunamos iš TGE tinklalapio [55], kuris teikia oficialius duomenis apie Lenkijos elektros energijos tinklo kainas kiekvieną metų valandą. Kainos Baltarusijos ir Rusijos rinkoms yra priimanamos kaip bendros Rusijos 1 zonos kainos [56], dėl sunkiai prieinamų duomenų. Valandinių elektros energijos kainų 2030 metais gauti nėra įmanoma, dėl mažo nuspėjamumo rinkose, todėl šiame modelyje valandiniai elektros energijos kainos kitimai naudojami tokie patys kaip ir 2020 metais. Tačiau vidutinės kainos naudojamos pagal Energy Brainpool [57] pateikiamas prognozes. Šioje pateikiamoje prognozėje, Europos Sąjungos kainos turėtų padidėti beveik 2,3 karto, palyginus su 2020 duomenimis. Šis koeficientas ir buvo naudojamas darbe, skaičiuojant 2030 metų importo kainas. Elektros jungčių su kitomis valstybėmis techniniai ir ekonominiai parametrai aprašyti **15 lentelėje.**

**15 lentelė.** Elektros energijos importo ir eksporto jungčių 2020 m. ir 2030 m. instaliuotos galios ir vidutinės kainos. [17], [54], [55], [56], [57]

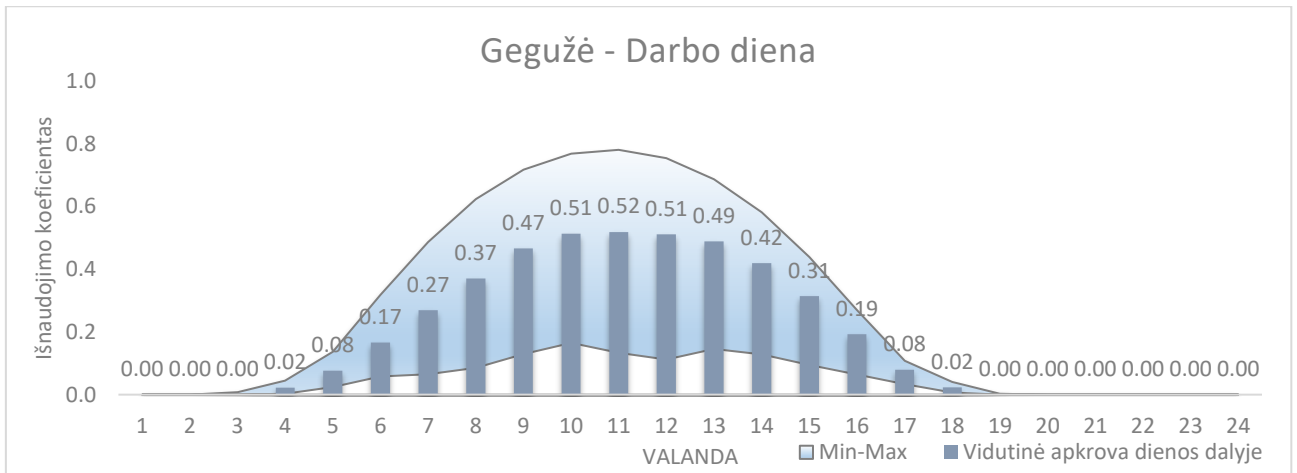
Jungtis	Instaliuota galia 2020 m., MW	Vidutinės kainos 2020 m. €/MWh	Instaliuota galia 2030 m., MW	Vidutinės kainos 2030 m., €/MWh
Jungtis Švedija	700	25,86	700	59,48
Jungtis Rusija	į LT 600, į RU 680	14,61	-	-
Jungtis Latvija	į LT 1500, į LV 1200	34,04	į LT 1500, į LV 1200	78,29
Jungtis Lenkija	500	54,27	700	124,75
Jungtis Baltarusija	į LT 1300, į BY 1350	14,61	-	-

**33 pav.** Elektros energijos kainos 2020 metais Rusijos 1 zonoje. pavaizduotas Rusijos pirmos zonos elektros energijos kainos kitimas 2020 metais.



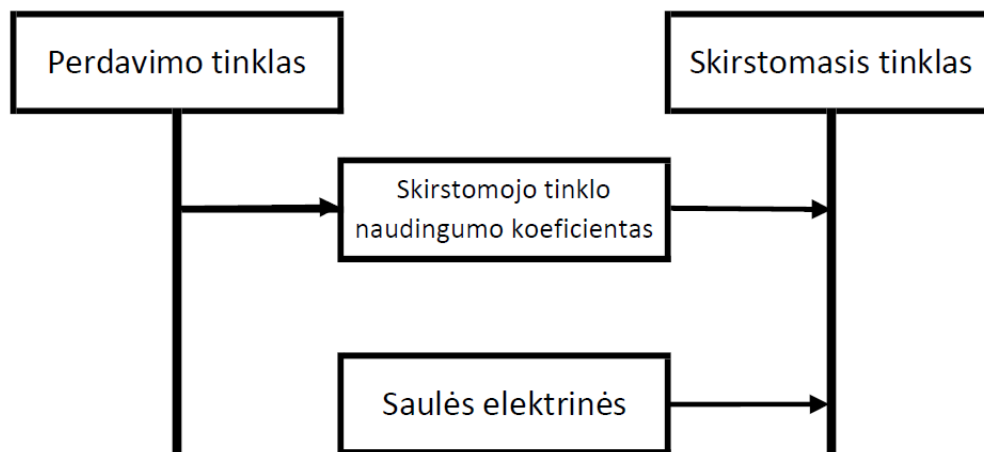
**33 pav.** Elektros energijos kainos 2020 metais Rusijos 1 zonoje. [56]

Saulės elektrinės, kurios yra prijungtos prie skirstomojo tinklo, modelyje sudaromos panašiai kaip ir vėjo elektrinės. Pasitelkiant Renewables.ninja duomenis, sudaromi saulės elektrinių gamybos kasvalandiniai koeficientai. [53] Taip pat, kaip ir vėjo elektrinėms, laikas skirstomas į 12 mėnesių su 2 dienų tipais ir 24 valandomis, perskaičiuojami vidurkiniai duomenys šiems laiko skirsniams. Šie duomenys sudauginami su instaliuotomis elektrinių galiomis ir taip gaunamas kasvalandinis pagamintos elektros energijos kiekis. Pavyzdinis, gegužės mėnesio darbo dienos, kasvalandinių gamybos koeficientų grafikas pavaizduotas **34 pav.**



34 pav. Gegužės mėnesio darbo dienos saulės elektrinės gamybos grafikas.

Saulės elektrinių struktūrinė schema pavaizduota 35 pav.



35 pav. Tyrime naudojamų saulės elektrinių struktūrinė schema.

Saulės elektrinės, dėl mažos galios ir žemos įtampos, yra jungiamos prie skirstomojo tinklo. Šiame modelyje, taip pat saulės elektrinių gaminama energija eis tiesiai į skirstomąjį tinklą. Visos saulės elektrinės yra apjungiamos į vieną, dėl beveik identiško jų veikimo ir gaminamos energijos pobūdžio. Saulės elektrinių techniniai ir ekonominiai parametrai pavaizduoti 16 lentelėje.

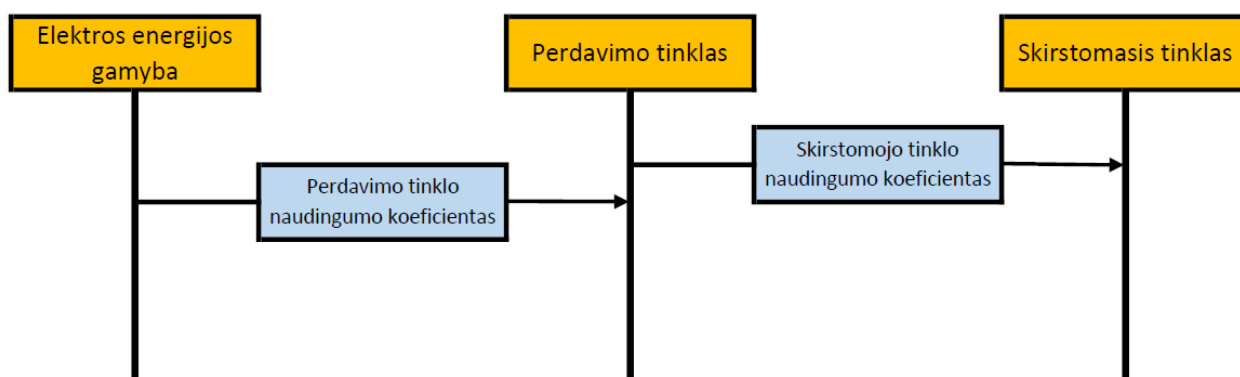
16 lentelė. Saulės elektrinių instaliuotosios galios ir ekonominiai parametrai. [17]

Elektrinė	Instaliuota galia 2020 m., MW	Instaliuota galia 2030 m., MW	Naudingumo koeficientas	Pastovūs kaštai 2020 m., €/MW	Pastovūs kaštai 2030 m., €/MW	Kintami kaštai 2020 m., €/MWh	Kintami kaštai 2030 m., €/MWh
Saulės elektrinės	169	1250	-	11000	11000	-	-

### 2.2.3. Perdavimo ir skirstymo tinklai

Vienas iš svarbiausių elektros energetikos sistemos elementų – perdavimo ir skirstomasis tinklai. Perdavimo tinklas yra aukštos įtampos tinklas, prie kurio prijungtos beveik visos elektrinės.

Skirstomasis tinklas – vidutinės ir žemos įtampos tinklas, prie kurio prijungti beveik visi vartotojai ir saulės elektrinės. Šiame modelyje elektros energijos tinklai bus aprašomi vienu parametru – naudingumo koeficientu. Tai parodo kiek vidutiniškai elektros energijos prarandama dėl įvairių nuostolių. Schematiškai, elektros perdavimo ir skirstomasis tinklai pavaizduoti **36 pav.**



**36 pav.** Elektros energijos grandinė, nuo gamybos iki skirstomojo tinklo.

Modelyje, perdavimo tinklas yra aprašomas kaip technologija, kuri sudaugina pagamintos elektros energijos sumą su naudingumo koeficientu ir tarsi perkelia energiją į perdavimo tinklą. Kaip jau buvo atvaizduota **35 pav.**, saulės elektrinės modelyje yra prijungtos prie skirstomojo tinklo. Todėl naudojant identišką technologiją, kaip ir perdavimo tinkle, šių elektrinių pagaminta elektros energija pridama prie energijos, paimtos iš perdavimo tinklo ir sudauginus su skirstomojo tinklo naudingumo koeficientu, gaunama galutinė energija, kurią gauna vartotojai.

Perdavimo tinklo nuostoliai tinkle sudaro maždaug 3,10 %, kai skirstomojo tinklo nuostoliai apie 7,49%. [58] Todėl koeficientai, iš kurių dauginama pagamintos elektros energijos suma, bus atitinkamai – 0,969 ir 0,925.

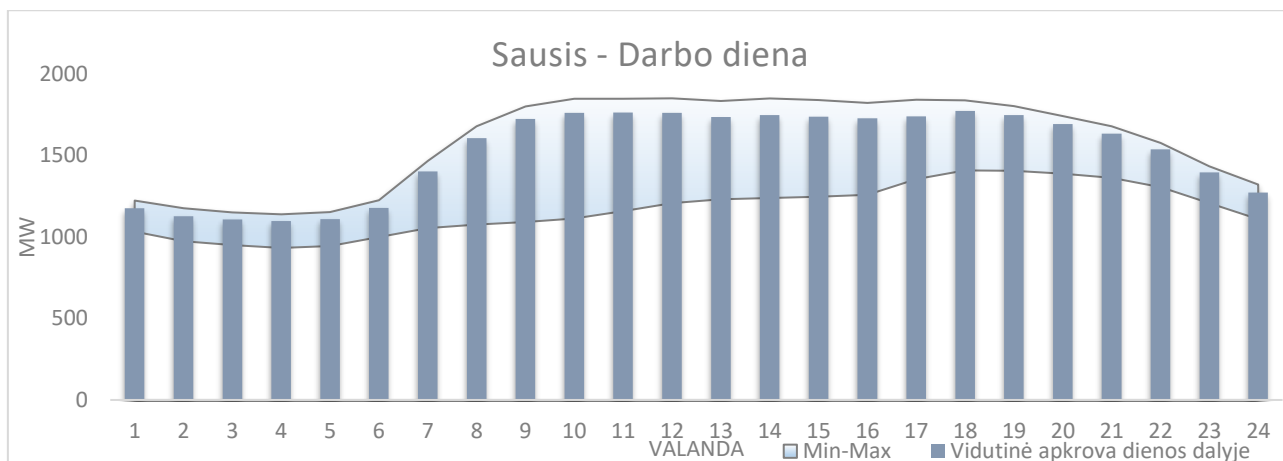
#### 2.2.4. Galutinis elektros energijos suvartojimas

Suvertota elektros energija yra tarsi pradinis taškas, nuo kurio pradedamas modelio skaičiavimas, įvertinant kokie yra elektros energijos suvartojimo reikalavimai, yra apskaičiuojama tokia elektrinių suminė generacija, kad galutiniai elektros energijos suvartojimai kiekvienu laiko periodu būtų patenkinti 100%. Šiame modelyje, elektros energijos suvartojimas bus skirstomas į dvi dalis – įprastas vartotojų ir elektromobilių krovimo.

Įprastas vartotojų, kasvalandinis suvartojamos elektros energijos kiekis pateikiamas AB, „Litgrid“ svetainėje. 2020 metų galutinis metinis elektros energijos bendrasis suvartojimas sudarė – 10,977 TWh, vidutiniškai per valandą suvartojant 1348 MW elektros energijos. [59] 2030 metais prognozuojama, kad jis bendras metinis energijos suvartojimas pakils iki 13,7 TWh. [29] Modeliui reikalingi kasvalandiniai elektros energijos suvartojimai 2020 metams bus imami iš Litgrid pateikiamų sistemos kasvalandinių duomenų, juos perskaičiuojant į atskirų mėnesių darbo dienų ir savaitgalių vidurkius. 2030 metų kasvalandiniai elektros energijos suvartojimų svyravimai bus naudojami pagal 2020 metų kasvalandinius kainų svyravimus. Svyravimai bus apskaičiuojami valandos reikšmę padalinus iš metinio 2020 metų vidurkio, tada gautas koeficientas bus sudaugintas iš 2030 metų prognozuojamos elektros energijos kainos.

Pavyzdinis 2020 metų sausio mėnesio vidutinės darbo dienos, elektros energijos suvartojimas pavaizduotas **37 pav.**





**37 pav.** 2020 metų sausio mėnesio vidurkinės darbo dienos elektros energijos kasvalandinis suvartojimas.

### 2.2.5. Elektromobilių suvartojama elektros energija

Elektromobilių krovimo suvartojamas energijos kiekis yra apskaičiuojamas pagal elektromobilių kiekį, nuvažiuojamus atstumus, suvartojamas galias, vidutinę temperatūrą ir krovimo tipą. Visų pirma, pagal VĮ „Regitros“ duomenis, apskaičiuojamas bendras automobilių kiekis Lietuvoje. 2020 metais bendras automobilių skaičius Lietuvoje sudarė apie 1 558 977 vienetų. Kadangi automobilių skaičius Lietuvoje neturi ryškaus augimo, paprastumo dėlei, priimama, kad toks pat liks ir 2030 metais. [58] Pagal pasirinktą skirstinį kas 25%, nuo 0% iki 100%, apskaičiuojami tikslūs elektromobilių kiekiai kiekvienam skirstiniui, apskaičiuoti duomenys pateikiami **17 lentelėje**.

**17 lentelė.** Elektromobilių skirstiniai, pagal elektromobilių dalį, tarp visų automobilių.

Lietuvoje registruotų automobilių skaičius	Elektromobilių dalis	Elektromobilių skaičius iš viso
1558977	0%	0
1558977	25%	389744
1558977	50%	779489
1558977	75%	1169233
1558977	100%	1558977

Turint skirtingų elektromobilių kiekį, apskaičiuojama kiek kilometrų vidutiniškai nuvažiuoja elektromobiliai. Pagal **2 lentelėje** pateiktą automobilių kelionių pasiskirstymą, paskaičiuojamas vidutinis nuvažiuojamas atstumas per dieną. VĮ „Regitros“ duomenimis didžioji dalis automobilių yra dyzeliniai, todėl naudojami dyzelinių automobilių kelionių pasiskirstymai. [58] Kadangi vidutiniškai Lietuvoje automobiliai nuvažiuoja 9000 km atstumą [14], bendras elektromobilių skaičius yra sudauginamas su šiuo kiekiu ir gaunamas visų elektromobilių nuvažiuojamas atstumas per metus. Nuvažiuojamas atstumas yra galutinis užduodamas poreikis modelyje. Sudauginus su elektromobilių skirstiniais, gaunamas bendras nuvažiuojamo atstumo per metus kiekis, pateiktas **18 lentelėje**.

**18 lentelė.** Bendras elektromobilių nuvažiuojamo atstumo kiekis, pagal skirstinius.

Elektromobilių dalis	Elektromobilių skaičius iš viso	Nuvažiuojamas atstumas milijonais kilometrų per metus
0%	0	3507.70
25%	389744	7015.40
50%	779489	10523.09
75%	1169233	14030.79
100%	1558977	3507.70

Elektromobilių vidutinės suvartojamos galios nurodytos **6 pav.** Elektromobilių galios suvartojimo pasiskirstymas. [12] Įvertinus skirtingų elektromobilių, skirtingą suvartojamą vidutinį suvartojimą elektros energijos kiekį nuvažiuoti 1 km, apskaičiuojamas bendras suvartojamas elektros energijos kiekis reikalingas nuvažiuoti vieną milijoną kilometrų. Modelyje naudojamas, apskaičiuotas vidutinis elektromobilių suvartojimas siekia 195,66 Wh/km [11], šis suvartojimas sudaugintas su nuvažiuojamais per metus atstumais, sudaro elektros apkrovą modeliui. Vidutinės temperatūros įtaka elektromobilių suvartojamai galiai pavaizduota **8 pav.** Temperatūros įtaka nuvažiuojamam atstumui ir energijos suvartojimui. [13] Apskaičiavus visų paveikslėlyje pavaizduotų elektromobilių vidutinės suvartojamos galios reikšmes nuo temperatūros, galima surasti priklausomybę, kuri parodo elektromobilių suvartojamos galios priklausomybę nuo išorės temperatūros. Gautą priklausomybę sudauginus su oficialia vidutine daugiamete kiekvieno mėnesio temperatūra, nurodyta Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos puslapyje, bus gauta bendra suvartota kiekvienos kategorijos elektromobilių elektros energija. [61] Šie koeficientai naudojami sudaryti elektromobilių suvartojamos energijos mėnesinėms kitimo kreivėms. Apskaičiuoti kiekvieno mėnesio energijos suvartojimo koeficientai, priklausantys nuo temperatūros pateikti **19 lentelėje**.

**19 lentelė.** Elektromobilių suvartojamos energijos koeficientų priklausomybė nuo temperatūros. [13], [61]

Mėnesis	Vidutinė daugiametė temperatūra, °C	Vidutinis suvartojimo koeficientas
Sausis	-2,96	1,566
Vasaris	-2,54	1,566
Kovas	0,59	1,429
Balandis	7,28	1,301
Gegužė	12,44	1,189
Birželis	16,06	1,099
Liepa	18,42	1,059
Rugpjūtis	17,72	1,099
Rugsėjis	12,83	1,189
Spalis	7,17	1,301
Lapkritis	2,49	1,429
Gruodis	-1,21	1,493

Darbo dienų ir savaitgalių nuvažiuojamas atstumas per dieną taip pat skiriasi. Tam, kad tai būtų galima įvertinti, buvo panaudotas Jiahang He et al. atliktas tyrimas su automobilių panaudojimu kiekvieną valandą, kiekvieną savaitės dieną. [62] Tyrimo metu, per vienerių metų tarpą, buvo rinkti

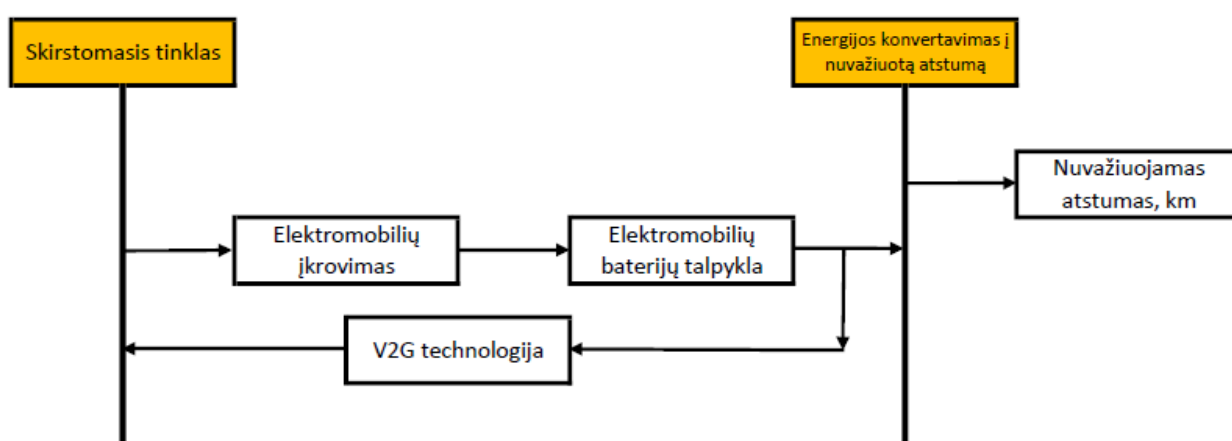
duomenys apie automobilių panaudojimą kiekvienos savaitės dienos, kiekvieną valandą. Šie duomenys buvo panaudoti nustatant automobilių naudojimo intensyvumą darbo dienomis ir savaitgaliais. Apskaičiuota, kad iš bendro visos savaitės panaudojimo, darbo dienomis, automobiliai naudojami 84,6% viso laiko, o nedarbo dienoms lieka 15,4% iš viso bendro automobilių panaudojimo.

Elektromobilių suvartojama galia imama iš kaupyklos, kuri sudaro suminę visų elektromobilių talpą. Bendra elektromobilių talpa apskaičiuojama panašiai kaip ir suvartojamos energijos kiekis. Tam, kad tai būtų galima apskaičiuoti, reikalingi elektromobilių baterijų talpos duomenys. Jie imami iš EV Database svetainės 219 skirtingų elektromobilių modelių baterijų talpų duomenų bazės. [11] Iš visų 219 modelių baterijų talpų pasiskirstymo, apskaičiuotas vidurkis gaunamas 64,08 kWh. Elektromobilių baterijų įkrovikliui parinktas naudingumas 83%, pagal W. Schram et al. atlikto tyrimo gautų rezultatų vidurkį. [63] Elektromobilių baterijų talpos, pagal skirtingus elektromobilių skirstinius pateiktos **20 lentelėje**.

**20 lentelė.** Elektromobilių bendros baterijų talpos pagal skirstinius.

Elektromobilių dalis	Elektromobilių skaičius iš viso	Bendra elektromobilių baterijos talpa, GWh
0%	0	0,00
25%	389744	24,98
50%	779489	49,95
75%	1169233	74,93
100%	1558977	99,90

Paskutinis, bet svarbiausias veiksnys, nuo kurio priklauso elektromobilių suvartojamos galios kreivė yra krovimo tipas. Šiame tyrime bus tiriami trijų tipų krovimo būdai: įprastas krovimas, išmanus krovimas ir V2G krovimas. Bendra elektromobilių struktūrinė schema modeliui, pavaizduota **38 pav.**

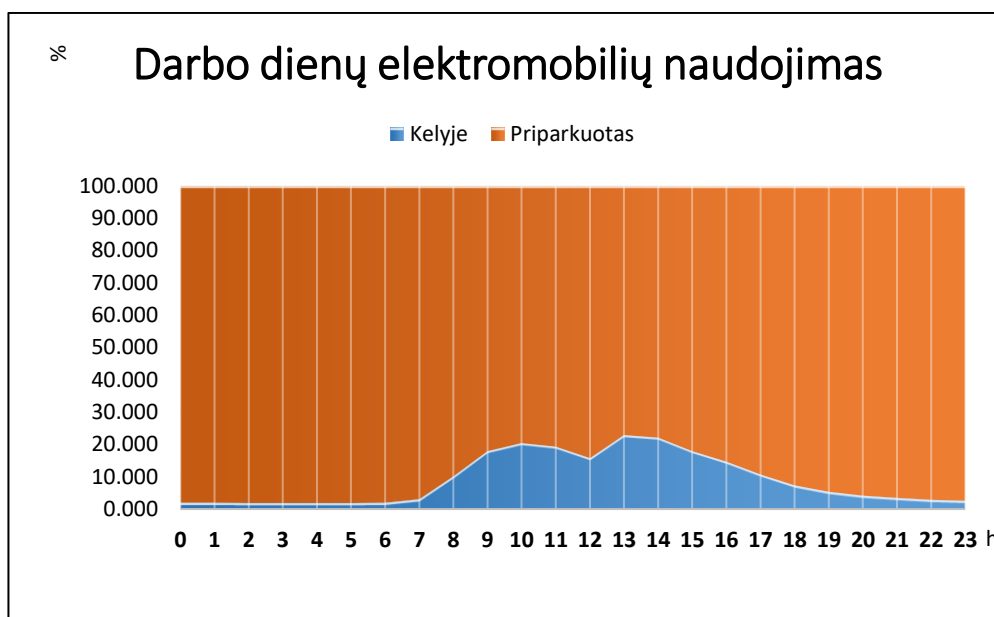


**38 pav.** Elektromobilių krovimo struktūrinė schema.

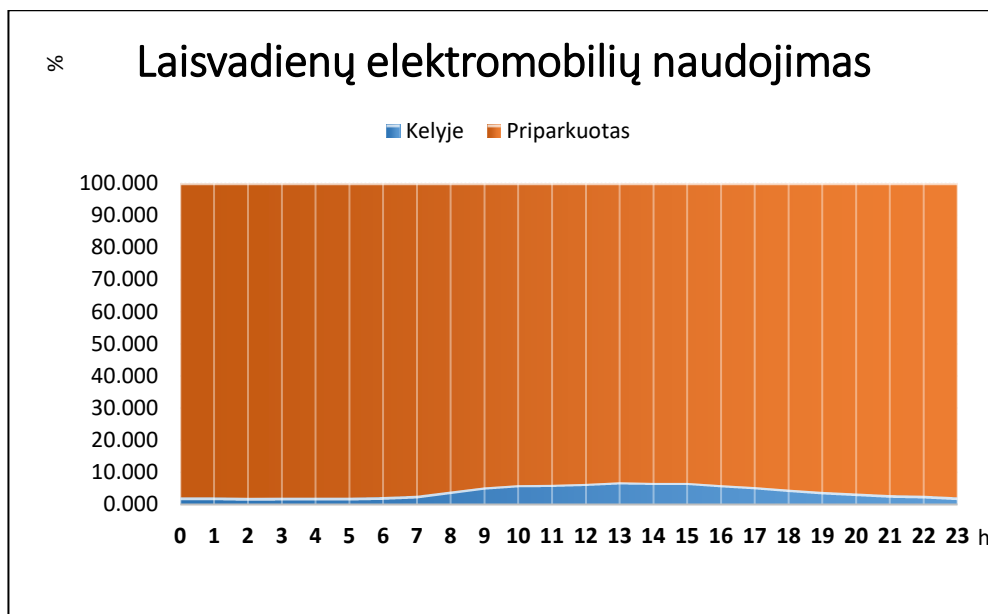
Apskaičiavus elektros energijos kiekį, reikalingą elektromobiliams pakrauti, toliau reikia nustatyti kaip ta energija bus kraunama. Įprasto krovimo būdu modelyje užduodama krovimo kreivė, pagal **4 pav.** Skirtingų regionų elektromobilių krovimo įpročių palyginimas. [7], [8], [9] pavaizduotas

Jungtinės Karalystės krovimo kreives. Nurodyta krovimo kreivė modelyje turės būti išpildoma lygiai taip, kaip ir bus užduodamos. Energija pirmiausia yra imama iš tinklo ir perkeliama į elektromobilių bateriją – kaupyklą, pagal nurodytą kreivę. Pagal nurodytus paros, dienos ir savaitgalių bei mėnesių apkrovos pasiskirstymus ir reikalingą nuvažiuoti atstumą, iš kaupyklos imama energija ir verčiama į nuvažiuotus kilometrus, taip imituojant elektromobilių keliones.

Išmanaus krovimo scenarijus yra sudėtingesnis, nes tokio krovimo principas – krovimo atidėjimas, kai elektros energija yra pigesnė. Šio tipo krovimui suteikiama laisvė krauti elektromobilį tada, kai jis nėra naudojamas. Elektromobilių krovimo galimybių grafikai sudaryti pagal Jiahang He et al. atliktą tyrimą. [62] Grafikai darbo dienų ir laisvadienių išnaudojimui pateikti **39 pav.**, **40 pav.** Pagal šiuos užimtumo grafikus, modelis atitinkamai gali spręsti kada ir kokį kiekį elektros energijos perkelti iš tinklo į kaupyklą, taip imituojant laisvą ir užimtą elektromobilių kiekį realybėje. Šiame tyrime daroma prielaida, kad 2030 metais elektromobilius krauti bus galima bet kurioje vietoje, kurioje jis bus priparkuotas.



**39 pav.** Vidutinis elektromobilių išnaudojimas darbo dienomis. [62]



**40 pav.** Vidutinis elektromobilių išnaudojimas laisvadieniais. [62]

V2G krovimas modelyje nustatomas kaip kaupiklis, kuriame elektros energija kaupiama iki tam tikros reikšmės, kai elektros energijos kaina yra žema, imituojant elektromobilių krovimą, o kai elektros energijos kaina pakyla, sukauptą elektros energiją galima panaudoti kaip generacijos šaltinį. Tai modelyje projektuojama panašiai kaip išmanusis krovimas – V2G krovimui naudojami tokie patys krovimo ir iškrovimo grafikai. Skirtumas tarp šių dviejų krovimo būdų toks, kad modelis gali pasirinkti pagal duotą krovimo grafiką, ne tik kada įkrauti kaupyklą, bet ir kada ir kiek energijos iš jos paimti. Tai padaro modelį sudėtingesnį, nes jis ne tik turi patenkinti nuvažiuojamus atstumus kelionėms, tačiau ir spręsti kada ir kiek energijos įkrauti ir iškrauti iš kaupyklos.

### 3. Rezultatai

#### 3.1. 2020 metų modelis

Tam, kad būtų galima atlikti 2030 metų modelio skaičiavimus, pirmiausia reikalingas 2020 metų modelis, tam, kad duomenis būtų galima kuo tiksliau sukalibruoti. Sudarius modelį, pagal turimus 2020 metų duomenis, buvo atlikti bandymai, siekiant gauti kuo tikslesnius duomenis, palyginus su faktiniais duomenimis. Papildomi apribojimai ir parametrai, įvesti 2020 modeliui:

- Įvestas šilumos energijos poreikis. Tai reikalinga tam, kad termofikacinės, biomasės ir šiukšlių deginimo elektrinės tiksliau gamintų elektros energiją. Kadangi tokio tipo elektrinės daugiausiai dirba šildymo sezono metu, gaminant šilumos energiją pastatų šildymui, elektros energija yra gaunama kaip antrinis produktas ir tiekama į tinklą. Nustatyti šilumos poreikiai, šilumos ir elektros gamybos pasiskirstymai bei gamybos kreivės, buvo paimtos iš Fasten project tyrimo. [51]
- Nustatyti importo ir eksporto ribojimai. Šie ribojimai reikalingi tam, kad modelis nesinaudotų tuo, kad importo kainos yra santykinai mažos ir nenaudotų vien importuojamos energijos tinklo poreikiams patenkinti. Apribojimai importuojamai energijai iš kitų tinklų nustatyti pagal faktinius galios srautus. [52] Taip pat, nustatytas ir inertiškumas importo, eksporto sistemose. Dėl vėjo ir saulės elektrinių nepastovių gamybų, modelis gali bandyti tai išspręsti staigiai paleisdamas importuoti ar eksportuoti energiją ir kitas šalis. Tai realybėje nėra įmanoma dėl sistemos inertiškumo, todėl nustatyti limitai kiek maksimaliai gali kisti energijos gamybos tempas kas valandą.
- Pastovi gamyba hidroelektrinėse. Dėl sunkiai prognozuojamo vandens lygio Kauno Mariose, ir mažose hidroelektrinių upėse, nustatyta, kad hidroelektrinės kasdien gamina pastovią dalį elektros energijos.

Atlikus visus šiuos pakeitimus, gauti modelio rezultatai buvo palyginti su faktiniais. Pateikta **21 lentelė** su palyginimu tarp gautų duomenų ir faktinių duomenų, pateiktų Litgrid ir Ignitis gamyba.

**21 lentelė.** 2020 metų gauti modelio ir faktiniai elektros energijos gamybos kiekiai. [29], [30], [64], [65]

Elektrinė	Pagamintas energijos kiekis modelyje, TWh	Faktinis pagamintas energijos kiekis, TWh	Skirtumas, %
Lietuvos elektrinė 9 blokas	2,18	1,2	81,89
Lietuvos elektrinė 7-8 blokai	0,06	0	-
Vilniaus TEC	0,91	0,75	21,82
Kauno TEC			
Achema AB			
Panevėžio TEC			
Likusios TEC			
Mažeikių Nafta	0	0	0
Biomasės elektrinės	0,4	0,391	2,03
Klaipėdos šiukšlių deginimo TEC	0,11	0,11	-0,08
Kauno šiukšlių deginimo TEC			

Elektrinė	Pagamintas energijos kiekis modelyje, TWh	Faktinis pagamintas energijos kiekis, TWh	Skirtumas, %
Kauno HE	0,24	0,23	2,83
Kruonio HAE	0,41	0,72	-43,10
Mažos HE	0,03	0,03	-0,81
Vėjo elektrinės	1,60	1,57	1,86
Importas iš Švedijos	4,88	4,8	1,65
Importas iš Latvijos	2,14	2,05	4,27
Importas iš Lenkijos	0,6	0,6	0,01
Importas iš Rusijos	2,98	3,2	-6,93
Importas iš Baltarusijos	0,52	0,5	3,37
Saulės elektrinės	0,18	0,17	0,93

Taip pat, buvo atsižvelgta ir į eksportuojamą elektros energiją į kitas šalis, tam, kad būtų kiek įmanoma labiau išlygintas elektros energijos suvartojimas. Šis palyginimas pavaizduotas **22 lentelėje**.

**22 lentelė.** Eksportuoto elektros energijos kiekio palyginimas tarp faktinių ir modelyje gautų duomenų. [29]

Šalis	Eksportuojamas energijos kiekis modelyje, TWh	Faktinis eksportuojamas energijos kiekis, TWh	Skirtumas, %
Latvija	0,61	0,65	5,96
Lenkija	2,27	2,34	2,65
Švedija	0,26	0,29	8,90

Vidutinė elektros energijos rinkos kaina 2020 metais modelyje buvo gauta 42 €/MWh, kai faktinis vidurkis siekė 34 €/MWh, gautas skirtumas – 19,04%. [54] Gauti tiksliai atitinkančius rezultatus yra ganėtinai sunku dėl to, kad gauti tiksliai elektrinių gamybos ir paleidimo kaštus ir kuro kainas yra neįmanoma. Taip pat, siekiant supaprastinti modelį, buvo naudojamos tik dvi – viena darbo ir nedarbo dienos, kiekvieną mėnesį, todėl daugelis duomenų yra naudojami vidurkiai ir taip nutolstama nuo tikrųjų, faktinių duomenų.

### 3.2. 2030 metų bazinis modelis

2030 metų modelis nuo 2020 metų modelio skiriasi keletu aspektų. Visų pirma, pagal Litgrid plėtros planą, nebelieka Lietuvos E 7-8 blokų Vilniaus TEC, Kauno TEC, sumažėja mažųjų TEC instaliuotoji galia, tačiau padidėja Kruonio HAE, vėjo elektrinių sausumoje, saulės elektrinių instaliuotosios galios, atsiranda ir jūrinės vėjo elektrinės. [29] Taip pat, pasikeičia ir kuro kainos, kaip jau buvo aprašyta **8 lentelė**. Faktinės kuro kainos 2020 metais ir perskaičiuotos 2030 metais, €/MWh. [40], [43], [44], [45] Visų tipų kuro kainos yra didesnės 2030 metais, nei 2020 metais, taip pat ir elektros energijos importo kainos, aprašytos **15 lentelė**. Elektros energijos importo ir eksporto jungčių 2020 m. ir 2030 m. instaliuotos galios ir vidutinės kainos. [17], [54], [55], [56], Jungtys su kaimyninėmis Rusija ir Baltarusija, iki 2030 metų turėtų tapti nebenaudojamos, siekiant atsijungti nuo BRELL žiedo, todėl 2030 metų baziniame modelyje, elektros energijos importas ir eksportas iš šių šalių tampa neįmanomas. [29] Dėl planuojamos papildomos jungties su Lenkija, padidintas tiek linijos

pralaidumas, tiek metiniai importuojamos elektros energijos limitai, atitinkamai tiek, kiek didėja linijos pralaidumas. [29] Galutinis elektros energijos suvartojimas taip pat išauga nuo 10,97 TWh, iki 13,7 TWh. [29] Visi šie pakitimai plačiau buvo aprašyti **2.2 Kuriamo modelio struktūra** skyriuje.

Dėl šių aukščiau išvardintų pakitimų, 2030 metų bazinio modelio rezultatai skiriasi nuo 2020 metų. Pagamintos elektros energijos 2020 ir 2030 metų modeliuose skirtumai pavaizduoti **23 lentelėje**.

**23 lentelė.** 2020 ir 2030 metų modeliuotų elektros energijos tinklų gamybos skirtumai.

Elektrinė	Pagamintas energijos kiekis 2020 modelyje, TWh	Pagamintas energijos kiekis 2030 modelyje, TWh	Skirtumas, %
Lietuvos elektrinė 9 blokas	2,18	1,97	-9,92
Lietuvos elektrinė 7-8 blokai	0,06	0	-
Vilniaus TEC	0,91	0,33	-63,74
Kauno TEC			
Achema AB			
Panevėžio TEC			
Likusios TEC			
Mažeikių Nafta	0	0,07	-
Biomasės elektrinės	0,4	0,4	0
Klaipėdos šiuokšlių deginimo TEC	0,11	0,09	-9,82
Kauno šiuokšlių deginimo TEC			
Kauno HE	0,24	0,24	0
Kruonio HAE	0,41	0,42	7,54
Mažos HE	0,03	0,03	0
Sausumos vėjo elektrinės	1,60	2,95	46
Jūrinės vėjo elektrinės	-	3,0	-
Importas iš Švedijos	4,88	4,88	0
Importas iš Latvijos	2,14	2,14	0
Importas iš Lenkijos	0,6	1,80	66,67
Importas iš Rusijos	2,98	0	-
Importas iš Baltarusijos	0,52	0	-
Saulės elektrinės	0,18	1,30	86,48

Gauti rezultatai atspindi pakitimus, nurodytus **2.2 Kuriamo modelio struktūra** skyriuje. Dėl padidėjusių dujų kainų, Lietuvos elektrinė, TEC ir šiuokšlių deginimo elektrinės gamina atitinkamai 9,92%, 63,74% ir 9,82% mažiau energijos, palyginus su 2020 metais. Išaugusi atsinaujinančių energijos šaltinių instaliuoti gali, lemia tai, kad vėjo ir saulės elektrinių, išauga stipriai, dėl mažų gamybos kaštų. Taip pat, Kruonio HAE, gamina didesnį energijos kiekį (7,54% daugiau), dėl išaugusių atsinaujinančių energijos šaltinių sukiamų galios svyravimų. Tarp importo šaltinių,



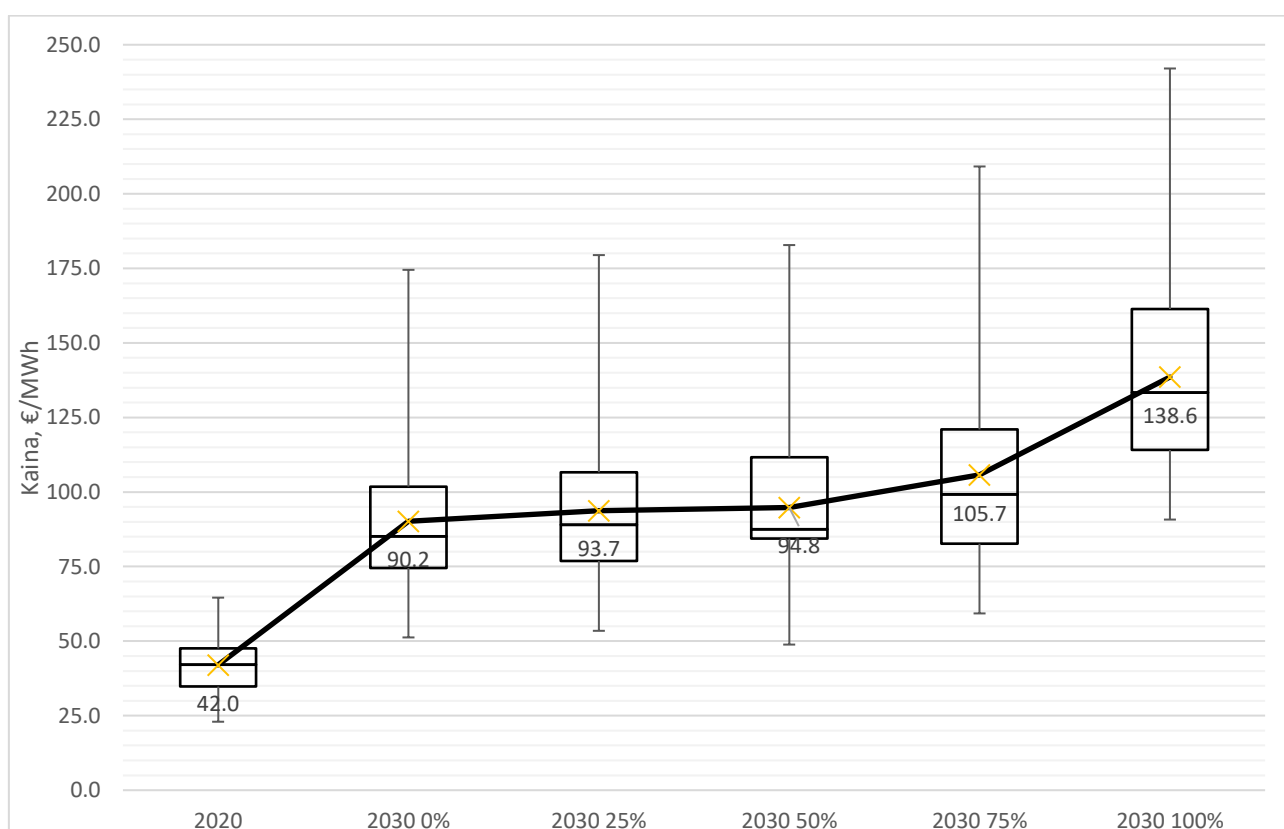
didžiausias pakitimas yra 66,67% padidėjęs importas iš Lenkijos, dėl 200 MW padidinto linijos pralaidumo.

Vidutinė elektros energijos rinkos kaina 2030 metų baziniame modelyje siekia 90,2 €/MWh, palyginus su 2020 metų kaina – 42 €/MWh, gaunamas 53,44% augimas. To priežastis – padidėjusio importo, kuro energijos gamybai kainos bei padidėjęs bendras energijos suvartojimas.

### 3.3. Elektromobilių krovimo scenarijai

#### 3.3.1. Įprasto krovimo scenarijaus rezultatai

Sudarytas 2030 metų įprasto krovimo modelis, su 25%, 50%, 75% ir 100% elektromobilių kiekiu, besikraunančiu įprastiniu, pagal iš anksto numatytą krovimo kreivę, būdu. Gauti kainų kitimo rezultatai atvaizduoti **41 pav.**



**41 pav.** Įprastinio krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai.

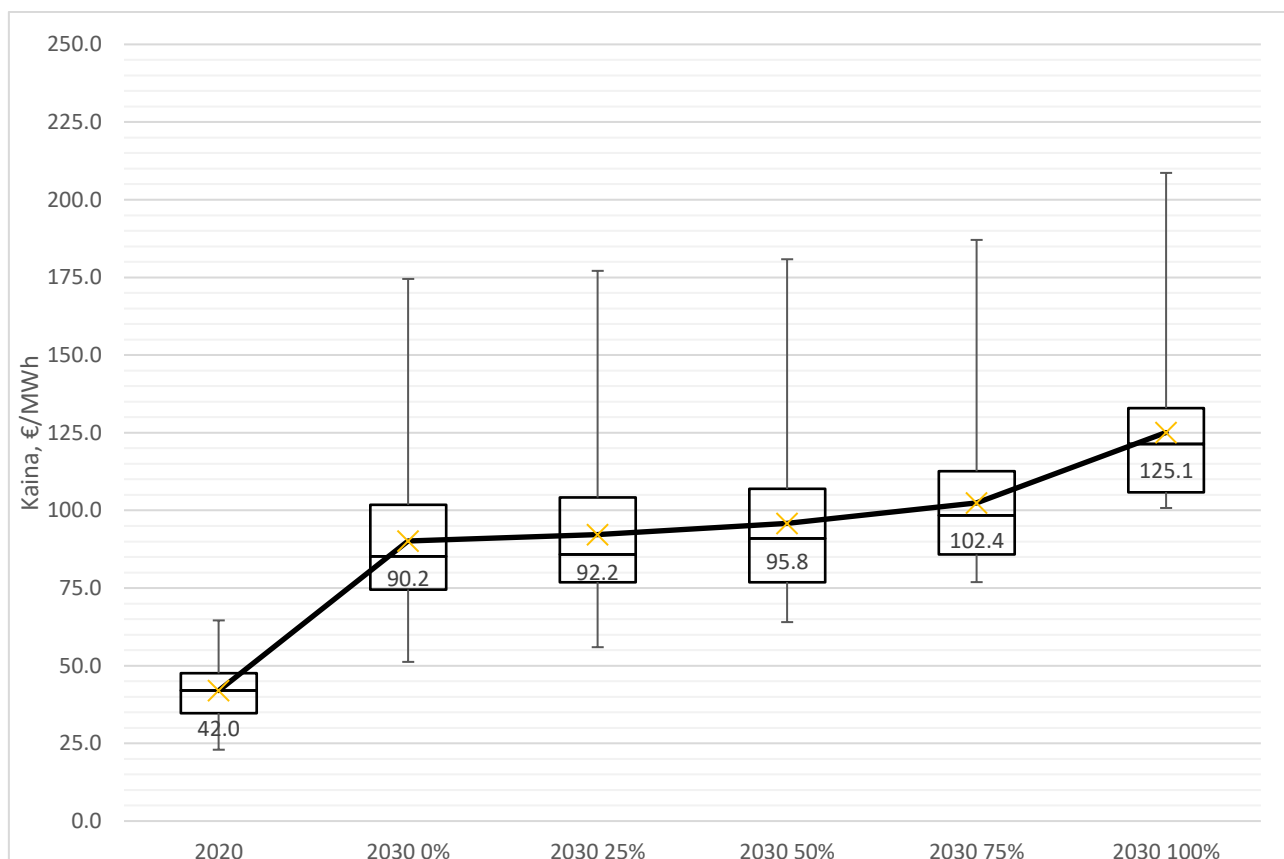
Gauti duomenys rodo, kad augant elektromobilių kiekiui, auga ir elektros energijos kaina. Kainos kitimas nėra tiesioginis, elektromobiliams išaugus nuo 0%, iki 25% ir 50%, gautos elektros energijos vidutinės kainos pakilo nežymiai, atitinkamai 3,75% ir 4,86%, palyginus su baziniu scenarijumi. Didesni kainų šuolis matomas ties 75% ir didžiausias ties 100% elektromobilių kiekiu, kai kainos išauga 14,71% ir 34,91%. Pagrindinė to priežastis – išauganti elektros energijos gamyba Achemoje (59,51% ir 80,02%) bei Lietuvos elektrinės 9 bloke (17,37% ir 25,62%). Šių elektrinių gamybos šaltiniai – dujos, stipriai išaugo, palyginus su 2020 metais, todėl pabrangino elektros energijos gamybą.

Keturių kvartilių grafikas rodo, kad elektros energijos kainos lubos ir grindys pradeda labiau svyruoti ties baziniu 2030 metų scenarijumi. Atsiradus elektromobiliams, elektros kainos tik šiek tiek labiau

pradedama svyruoti tik esant 75% ir 100% elektromobilių kiekiui. Bendra tendencija visiems 2030 metų scenarijams – viršutinis kvartilis, reiškiantis 25% visų didžiausių duomenų, yra didesnis, nei apatinis. Tai reiškia, kad elektros energijos kainos metuose yra smarkiai išsibarsčiusios, turi didelius svyravimus paroje ir metuose.

### 3.3.2. Išmanusis krovimas

Išmaniojo krovimo modelis, buvo sudarytas su tokiais pat scenarijais, kaip ir įprastinio krovimo. Gauti 4 scenarijų – 25%, 50%, 75%, 100% elektromobilių kiekio rezultatai, palyginti su 2020 ir 2030 baziniais modeliais atvaizduoti **42 pav.**



**42 pav.** Išmaniojo krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai.

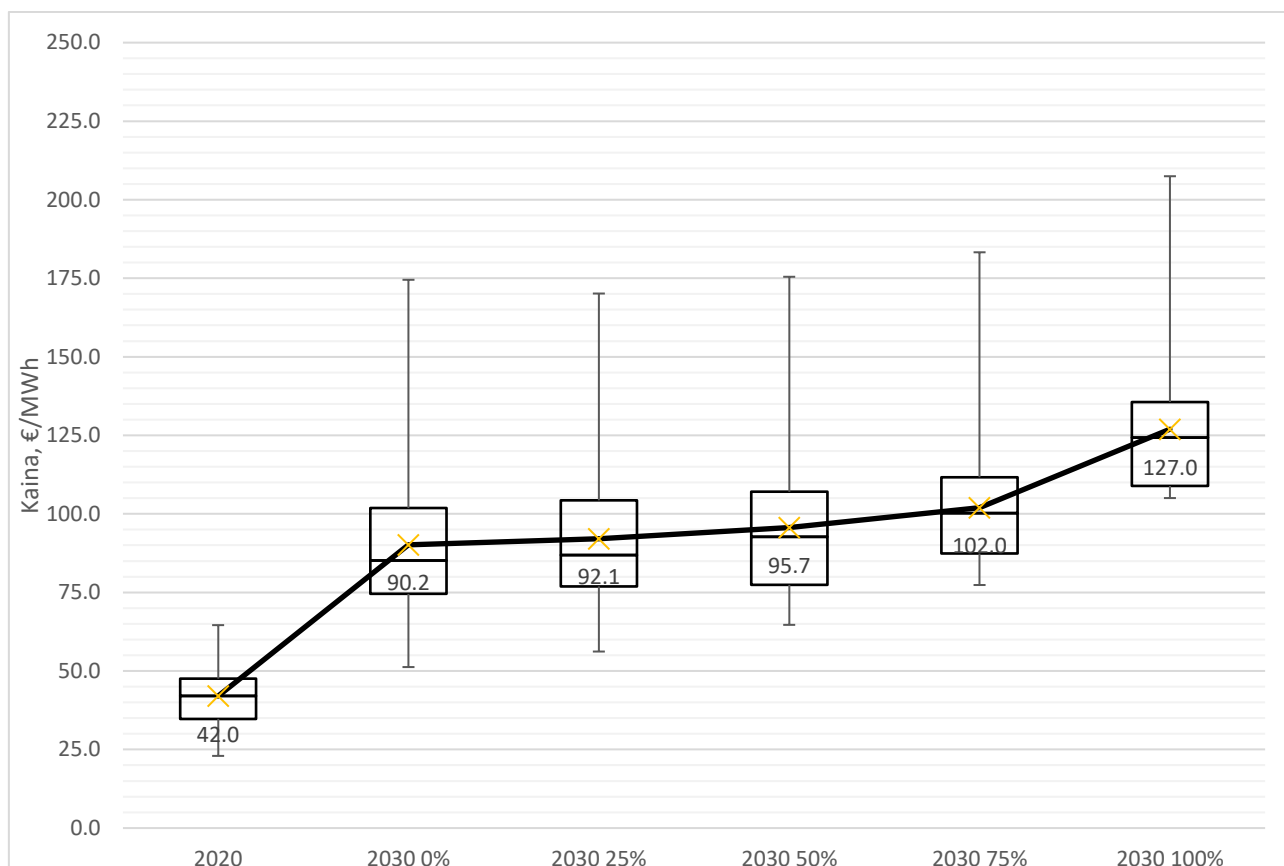
Aukščiau esančiame grafike matomi rezultatai rodo elektros energijos kainos vidurkio augimą, augant elektromobilių skaičiui. Kraunant elektromobilius laiku, laisvai parenkant modeliui, tik esant 100% elektromobilių skaičiui matomas žymus elektros energijos kainos augimas (27,90%), palyginus su 2030 metų baziniu scenarijumi. Esant mažesniai elektromobilių skaičiui, augimas nėra toks žymus, atitinkamai esant 25% – 2,24%, esant 50% – 5,88%, o esant 75% elektromobilių kiekiui, gautas augimas – 11,95%. Išaugusių elektros energijos kainų priežastis tokia pati kaip ir įprasto krovimo – padidėjusi gamyba Lietuvos E ir Achemos elektrinėse. Palyginus išmaniojo krovimo grafiko kreivę, su įprasto krovimo metodu, gaunamas aiškus skirtumas. Vidutinės elektros energijos kainos gautos mažesnės 3 iš 4 scenarijų. Esant 100% elektromobilių skaičiui, visus elektromobilius kraunant išmaniuoju būdu, elektros energijos kainą galima sumažinti 9,72%, esant 75%, kaina sumažėja 3,14%, likusiais scenarijais kainos pokyčiai yra ganėtinai maži, skirtumas nesiekia 2%.

Išmanusis krovimas taip pat padeda sumažinti kainų svyravimus. **42 pav.** pavaizduotame grafike matoma, kad didėjant elektromobilių kiekiui, mažėja apatinio kvartilio ribos, tai reiškia, kad mažėja

žemų kainų grindys. To priežastis – elektromobilių krovimas, esant santykinai pigiai elektros energijai, šis laikotarpis išnaudojamas elektromobilių baterijoms pildyti. Viršutinio ketvirčio duomenų riba išlieka gana panaši, augimas nėra ryškus, vadinasi laiko momentų, kai matomi aukštų kainų pikai nėra augantis.

### 3.3.3. V2G krovimas

Įgalinus elektromobilių baterijas naudoti energiją dviem kryptimis – tiek krauti elektromobilius, tiek siųsti energiją atgal į tinklą, taip pat buvo sumodeliuoti keturi skirtingų elektromobilių kiekių scenarijai. Gauti elektros energijos rinkos kainų duomenys atvaizduoti **43 pav.**



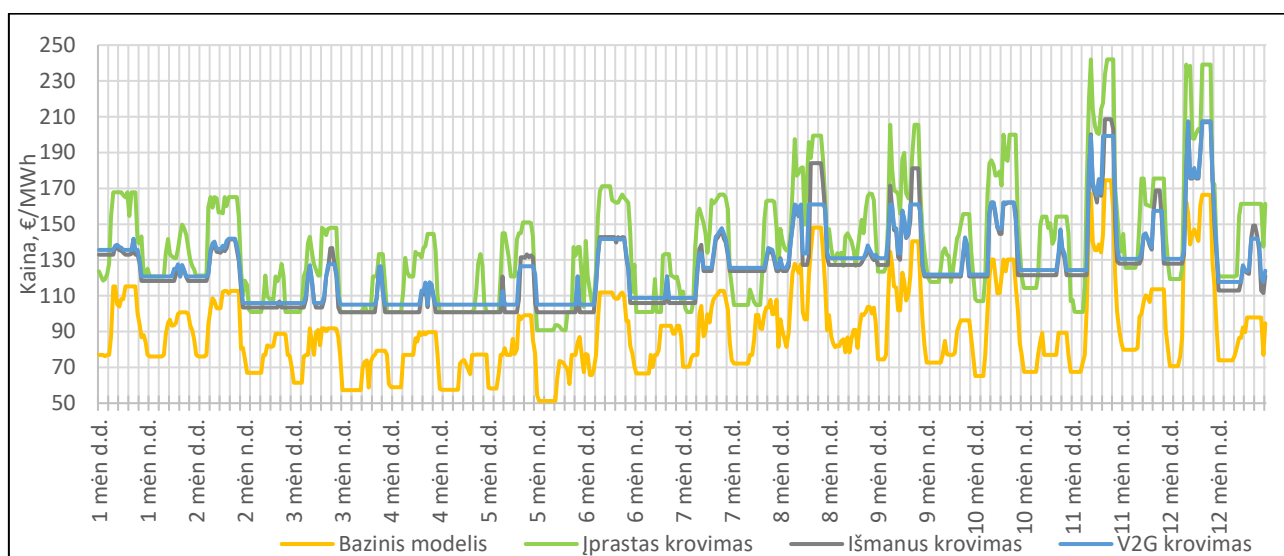
**43 pav.** V2G krovimo modelio gauti vidutinės kainos augimo ir keturių kvartilių rezultatai.

Gauti modelio rezultatai rodo, kad elektros energijos kaina augo, kintant elektromobilių skaičiui. Esant 25% elektromobilių, vidutinės kainos pokytis gautas – 2,05%, ties 50% riba, gautas pokytis – 5,75%, ties – 75% jau 11,58%, didžiausias pokytis nuo bazinio 2030 metų kainos vidurkio gautas, esant 100% elektromobilių kiekiui – 28,96%. Palyginus su išmaniuoju krovimu, skirtumai gauti palyginti neženklūs – skirtumai tarp kainų vidurkių gauti mažesni, nei 1,5%. Elektromobilių išnaudojimas energijai tiekti į tinklą buvo palyginti gana didelis, tačiau didėjant elektromobilių skaičiui jis mažėjo. Esant 25% elektromobilių, į tinklą buvo patiekta 1,89 TWh elektros energijos iš elektromobilių baterijų ir tai sudarė 8,61%, esant 50% elektromobilių, pagamintas kiekis šiek tiek padidėjo iki 1,92 TWh, sudarantis 8,82% visos energijos gamybos, 75% elektromobilių pagamino jau mažesnę kiekį energijos – 1,61 TWh, arba 7,50% nuo visos gamybos, o 100% elektra varomų transporto priemonių grąžino atgal į tinklą jau tik 1,03 TWh elektros energijos arba 4,79% viso pagamino kiekio tinkle. To priežastis – pigios elektros energijos naktį trūkumas, išnaudojus

atsinaujinančių energijos šaltinių potencialą naktį, trūksta pigios energijos, kuria būtų galima pigiai įkrauti ir tą kiekį dieną brangiau parduoti.

Panašiai kaip ir išmaniojo krovimo atveju, žemiausių 25% kainų pasiskirstymas sumažėjo kraunant V2G krovimu, tendencija išliko tokia pati, didėjant elektromobilių skaičiui, žemiausių kainų pasiskirstymas suvienodėjo. Aukščiausių 25% kainų pasiskirstymas sumažėjo daugiausiai prie 25% elektromobilių skaičiaus, iki 9,42%, o prie 50% elektromobilių iki 5,85%, likusių scenarijų atveju, skirtumas nesiekia 1,5%. Taip pat, pastebėtina, kad maksimali visų metų kaina esant 25% elektromobilių sumažėjo 2,50%, palyginus su baziniu 2030 metų scenarijumi.

Geriausiai skirtumai tarp krovimo būdų matomi esant 100% elektromobilių. Elektros energijos kainos kitimai per 2030 metus pavaizduoti **44 pav.**



**44 pav.** Elektros energijos rinkos kaina 2030 metais, esant 100% elektromobilių. d.d – darbo diena, n.d. – nedarbo diena.

Įprasto krovimo metu elektros energijos rinkos kaina ryškiai labiau pakyla piko metu, tiek darbo, tiek nedarbo dienomis, kai išmaniojo ir V2G krovimo metu kainos išlieka mažesnės. Taip yra todėl, kad išmaniuoju ir V2G krovimu modelis naudojasi, kad krautų elektromobilius tada, kai elektros energijos kaina yra kiek įmanoma mažesnė, o įprasto krovimo metu tokio pasirinkimo modelis neturėjo. Taip pat, V2G krovimo metu, piko kainos išlieka mažiausios, geriausiai skirtumas matomas 8 ir 9 mėnesių darbo dienomis. Išmanaus ir V2G krovimo scenarijais elektros energijos kainos ne piko metu, dažniausiai naktį, yra didesnės, nei įprastu krovimo scenarijumi, nes daugiausiai krovimų būtų ir vyksta šiuo periodu. Padidėjęs elektros energijos poreikis padidina gamybą pajungiant papildomas elektrines į darbą, dėl to rinkos kaina ir pakyla. Bendra elektros energijos rinkos kainos tendencija metų bėgyje yra pastebima, metų gale kaina kyla į viršų. Tai natūralu, dėl prasidedančio šildymo sezono sukkelto dujų poreikio padidėjimo.

### 3.4. Gautų rezultatų palyginimas su panašiais tyrimais

Skyrelyje 1.2 Elektromobilių krovimo būdai, jų įtaka elektros energijos kainai pateikti kitų tyrimų duomenys rodo panašią duomenų tendenciją, kaip ir gautų šiame darbe. Žinoma, tokių pačių tyrimų su trimis krovimo būdais ir 4 skirtingais elektromobilių kiekiais bei 2030 metų Lietuvos

elektros energijos tinklo modeliu rasti nepavyko, tačiau gautus duomenis vis tiek galima palyginti su kitais tyrimais ir kitų šalių modeliais.

Kejun Qian et al. atliktas tyrimas [16] su Jungtinės Karalystės tinklo modeliu bei naudojant 10% elektromobilių parko, elektros energijos suvartojimas piko metu ženkliai pakelia elektros energijos kainą piko metu, kaip pavaizduota **10 pav.** Tokie patys rezultatai gauti ir šiame tyrime, įprastas krovimo būdas pakelia bendrą elektros energijos rinkos kainą labiausiai iš visų trijų krovimo būdų.

Taip pat, to pačio tyrimo metu buvo nustatyta ir tai, kad kraunant elektromobilius, naudojant išmanų krovimą, pikinės elektros energijos kainos nepakyla taip stipriai kaip įprasto krovimo metu, tačiau padidėja kainos nakties metu, kai kraunama daugiausiai elektromobilių. Ta pati tendencija matoma ir **42 pav.** bei **44 pav.** grafikuose. Elektros energijos kainos piko metu nepakyla tiek aukštai, kiek siekia įprasto krovimo metu.

V2G arba dvikrypčio krovimo įtaką elektros energijos kainai tyrė Mads Greker et al. [27] Tyrime naudotas Belgijos elektros energijos tinklo modelis su 2 milijonais elektromobilių bei trimis scenarijais – jokie V2G krovimo, 10% ir 20% V2G krovimą naudojančių vartotojų. **6 lentelė.** Elektromobilių krovimo be V2G ir su V2G technologijomis įtaka elektros energijos rinkai. [27] pateikti tyrimo metu gauti duomenys rodo, kad V2G krovimo metu elektros energijos kaina sumažėja piko metu, tačiau padidėja ne piko metu, dėl intensyvaus elektromobilių krovimo tuo metu. Lietuvos 2030 metų modelyje gauti rezultatai dalinai panašūs, elektros energijos kaina nakties periodu pakildavo daugiau, nei bazinio ar įprastinio krovimo scenarijuje, tačiau dienos piko periodu V2G krovimas padėdavo elektros energijos kainą išlaikyti mažiausią iš visų krovimo scenarijų.

## Išvados

1. Lietuvos elektros energetikos sistema yra unikali tuo, kad didžioji dalis elektros energijos yra importuojama iš kaimyninių valstybių, apie 61%, likusi dalis yra pagaminama vietoje iš dujinių elektrinių – 16%, o vėjo elektrinių – 12%. Tiesa, šis skaičius ateityje turėtų pasikeisti dėl didėjančios atsinaujinančios elektros energetikos, vėjo elektrinių instaliuoti galia iki 2030 m. planuojama, kad padidės nuo 540 MW, iki 1700 MW, o saulės elektrinių nuo 169 MW, iki 1250 MW.
2. Elektromobiliai elektros energetikos rinkai gali turėti neigiamą ir teigiamą įtaką, priklausomai nuo krovimo būdo. Aoife Foley et al. atliktas tyrimas parodė, kad 10% elektromobilių Airijos elektros energetikos sistemoje, elektros energijos kainą pakeltų 1,06% piko metu ir 1,07% ne piko metu. Mads Grecker et al. atlikto tyrimo metu nustatyta, kad kraunant 2 milijonus elektromobilių įprastu būdu Belgijos elektros energetikos sistemai įtakos beveik nedarytų, tačiau, jeigu bent 20% jų naudotų V2G krovimą, elektros energijos kainą piko metu būtų galima sumažinti 17%.
3. Elektros energetikos sistemos tiriamajam modeliui sudaryti naudota MESSAGE programinė įranga skirta sudaryti energetikos „bottom-up“ tipo optimizacinius modelius. Naudojantis programine įranga sudarytas modelis elektromobilių kiekio ir skirtingų krovimo būdų įtakai bei elektros energijos kainai įvertinti. Modelio validavimui atlikti skaičiavimai 2020 m. palyginti su faktiniais elektros gamybos, importo ir eksporto duomenimis. Nustatyta, kad skirtumai tarp modeliavimo rezultatų ir faktinių duomenų nėra dideli – vidutinė svartinė paklaida gauta -3,67%, modelis tinkamas analizei. Elektromobilių kiekio ir skirtingų krovimo būdų įtakos elektros energijos rinkos kainai įvertinti skaičiavimai atlikti 2030 m. Sudaryti scenarijai taikant penkias skirtingas elektromobilių dalis automobilių parke (nuo 0% iki 100%) bei tris skirtingus įkrovimo būdus (įprastas, išmanus, V2G).
4. Sudaryto modelio rezultatai parodė, kad elektromobilių kiekiui augant, didėja ir elektros energijos rinkos kaina. Naudojant įprastą krovimo būdą, kaina gali išaugti iki 34,91%, elektromobiliams sudarant 100% viso automobilių parko. Kainų augimą sumažinti padėjo skirtingi krovimo būdai – išmanusis ir V2G krovimai, kuriuos naudojant su 100% elektromobilių parku, kaina pakilo atitinkamai 27,90% ir 28,96%.

## Literatūros sąrašas

1. Lietuvos respublikos energetikos ministerija. *Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija*. [interaktyvus] 2018 m. [žiūrėta 2021-11-14] prieiga per: [https://www.ena.lt/uploads/PDF-bendrasis/Leidiny-NENS\\_2018\\_LT.pdf](https://www.ena.lt/uploads/PDF-bendrasis/Leidiny-NENS_2018_LT.pdf)
2. Kamilė Petrauskienė, Arvydas Galinis, Daina Kliaugaitė, Jolanta Dvarionienė. *Comparative Environmental Life Cycle and Cost Assessment of Electric, Hybrid, and Conventional Vehicles in Lithuania*. [interaktyvus] 2021 m. [žiūrėta 2021-11-14] prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/957>
3. Roland Irle, EV-volumes.com. *Global EV Sales for 2021*. [interaktyvus] 2022 m. [žiūrėta 2022-02-12] prieiga per: <https://www.ev-volumes.com/#:~:text=Global%20EV%20Sales%20for%202021&text=Global%20EV%20sales%20reached%206,4%2C%20%25%20in%202020>
4. Lima – Paris Action Agenda. *Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change & Call to Action* [interaktyvus] 2015 m. [žiūrėta 2022-02-12] prieiga per: <https://unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>
5. European Environment Agency. *New registrations of electric vehicles in Europe* [interaktyvus] 2021 m. [žiūrėta 2022-02-12] prieiga per: [https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles#:~:text=The%20recently%20proposed%20legislation%20\(Fit,needed%20to%20achieve%20these%20goals](https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles#:~:text=The%20recently%20proposed%20legislation%20(Fit,needed%20to%20achieve%20these%20goals)
6. Joakim Munkhammar, Justin D.K.Bishop, Juan Jose Sarralde, Wei Tian, Ruchi Choudhary *Household electricity use, electric vehicle home-charging and distributed photovoltaic power production in the city of Westminster* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-11-09] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814008263#fig0010>
7. Chris Nelder, Garrett Fitzgerald. *Electric Vehicles as Distributed Energy Resources* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2021-11-11] prieiga per: [https://www.researchgate.net/publication/324417842\\_Electric\\_Vehicles\\_as\\_Distributed\\_Energy\\_Resources](https://www.researchgate.net/publication/324417842_Electric_Vehicles_as_Distributed_Energy_Resources)
8. C.J.J. Paredis, C. Bishop, D. Bodner *Real-time Scheduling Techniques for Electric Vehicle Charging in Support of Frequency Regulation* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2021-11-11] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913000811>
9. Jairo Quirós-Tortós, Luis F. Ochoa, Becky Lees *A Statistical Analysis of EV Charging Behavior in the UK* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2021-11-11] prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7381196>
10. Julian Hubera, David Dann, Christof Weinhardt *Probabilistic forecasts of time and energy flexibility in battery electric vehicle charging* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-11-11] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920300374>
11. EV Database *Energy consumption of full electric vehicles* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-12] prieiga per: <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car>
12. Shemin Sagaria, Rui Costa Neto, Patricia Baptista *Modelling approach for assessing influential factors for EV energy performance* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-12] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138820314120>

13. Lithuanian energy agency. *Demand restraint measures for liquid fuels* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-11-12] prieiga per: [https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Demand%20restraint%20measures%20for%20liquid%20fuel%20LT\\_2021.pdf](https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Demand%20restraint%20measures%20for%20liquid%20fuel%20LT_2021.pdf)
14. Wolfgang Habla, Vera Huwe, Martin Kesternich *Electric and conventional vehicle usage in private and car sharing fleets in Germany* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-12] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192092100033X>
15. Morsy Nour, Sayed M. Said, Abdelfatah Ali, Csaba Farkas. *Smart Charging of Electric Vehicles According to Electricity Price*. [interaktyvus] 2019 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8646425>
16. Kejun Qian, Chengke Zhou, Member, Malcolm Allan, Yue Yuan, Member. *Load Model for Prediction of Electric Vehicle Charging Demand* [interaktyvus] 2010 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5666587&tag=1>
17. EDF Group. *GoElectric* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: [https://www.edfenergy.com/sites/default/files/goelectric\\_nov23\\_rate\\_cards\\_aw1.pdf](https://www.edfenergy.com/sites/default/files/goelectric_nov23_rate_cards_aw1.pdf)
18. „Ignitis“, UAB. *Kainodara* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://ignitison.lt/kainodara/>
19. Sikai Huang, David Infield. *The Potential of Domestic Electric Vehicles to Contribute to Power System Operation through Vehicle to Grid Technology* [interaktyvus] 2009 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/224123988> The potential of domestic electric vehicles to contribute to Power System Operation through vehicle to grid technology
20. Taha Selim Ustun, Cagil R. Ozansoy, Aladin Zayegh. *Implementing Vehicle-to-Grid (V2G) Technology With IEC 61850-7-420* [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6412771?casa\\_token=nalYnLLshu8AAAAA:b6LT1kcezblZKxwerQb1kIpfJ3d7hNExrtRfq\\_n5HAUHXCvYBZZ3EerWs34WaNNUIf8yA7ieA](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6412771?casa_token=nalYnLLshu8AAAAA:b6LT1kcezblZKxwerQb1kIpfJ3d7hNExrtRfq_n5HAUHXCvYBZZ3EerWs34WaNNUIf8yA7ieA)
21. Alexander Schuller, Benjamin Dietz, Christoph M. Flath, Christof Weinhardt. *Charging Strategies for Battery Electric Vehicles: Economic Benchmark and V2G Potential* [interaktyvus] 2014 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: [https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6730964?casa\\_token=o11dFSE1-QMAAAAA:Ck8FahgTHATEGNBnriqGPNm1S6ftldxe702sYruR2EwrmAsGLnCR5TKwPzqA\\_dyANWABSdcvA](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6730964?casa_token=o11dFSE1-QMAAAAA:Ck8FahgTHATEGNBnriqGPNm1S6ftldxe702sYruR2EwrmAsGLnCR5TKwPzqA_dyANWABSdcvA)
22. Petra Mesarić, Krešimir Trontl. *Reliminary analyses of the v2g technology role – case study Croatia* [interaktyvus] 2014 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/275032411> PRELIMINARY ANALYSES OF THE V2G TECHNOLOGY ROLE - CASE STUDY CROATIA
23. Croatian bureau of statistics. *Croatia Number of Registered Vehicles: ow Passenger Cars* [interaktyvus] 2020 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: <https://www.ceicdata.com/en/croatia/number-of-vehicle-registrations/no-of-registered-vehicles-ow-passenger-cars>
24. Phillip Paevere, Andrew Higgins, Zhengen Ren, Mark Horn, George Grozev, Cheryl McNamara. *Spatio-temporal modelling of electric vehicle charging demand and impacts on peak household electrical load* [interaktyvus] 2014 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/259636151> Spatio-



temporal modelling of electric vehicle charging demand and impacts on peak household electrical load

25. AoifeFoley, BarryTyther, PatrickCalnan, Brian Ó Gallachóir. *Impacts of Electric Vehicle charging under electricity market operations* [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2021-12-05] prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912004977#>

26. Mads Greger, Cathrine Hagem, Stef Proost. *Vehicle-to-Grid: Impacts on the electricity market and consumer cost of electric vehicles* [interaktyvus] 2019 [žiūrėta 2021-12-05] prieiga per: [https://ssb.brage.unit.no/ssb-xmlui/bitstream/handle/11250/2600032/DP903\\_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ssb.brage.unit.no/ssb-xmlui/bitstream/handle/11250/2600032/DP903_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

27. Megan Zielke, Adria Brooks, Gregory Nemet. *The Impacts of Electric Vehicle Growth on Wholesale Electricity Prices in Wisconsin* [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2021-12-06] prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/340416750> The Impacts of Electric Vehicle Growth on Wholesale Electricity Prices in Wisconsin

28. AB Litgrid *Sinchronizacija* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-14] prieiga per: <https://www.litgrid.eu/index.php/sinchronizacija/sinchronizacija/31179>

29. AB Litgrid *Lietuvos elektros energetikos sistemos 400-110 kv tinklų plėtros planas 2021-2030 m.* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-14] prieiga per: [https://www.litgrid.eu/uploads/files/dir578/dir28/dir1/3\\_0.php](https://www.litgrid.eu/uploads/files/dir578/dir28/dir1/3_0.php)

30. Ignitis gamyba. *Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė (KHAE)* [interaktyvus] 2018 [žiūrėta 2022-02-13] prieiga per: <https://ignitisgamyba.lt/veikla/elektros-energijos-gamyba/kruonio-hidroakumuliacine-elektrine-kae/136>

31. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija *Elektros energijos rinka* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2021-11-27] prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/elektra/elektros-energijos-rinka>

32. Nord Pool. *Price formation* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-11-28] prieiga per: <https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Day-ahead-market/Price-formation/>

33. Luis Mundaca, Carl Dalhammar, David Harnesk. *The Integrated NORDIC Power Market and the Deployment of Renewable Energy Technologies: Key Lessons and Potential Implications for the Future ASEAN Integrated Power Market.* [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2021-11-28] prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/260244732> The Integrated NORDIC Power Market and the Deployment of Renewable Energy Technologies Key Lessons and Potential Implications for the Future ASEAN Integrated Power Market

34. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. *Elektromobilių skaičius Lietuvoje* [interaktyvus] 2021 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-skaicius-lietuvoje>

35. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. *Elektromobilių naudojimą skatinančios priemonės* [interaktyvus] 2021 [žiūrėtas 2021-12-04] prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/kita-veikla/pletra-ir-inovacijos/elektromobiliu-naudojima-skatinancios-priemones>

36. pv Europe. *Global EV count climbs to 10.9 million* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://www.pveurope.eu/e-mobility/electric-vehicles-global-ev-count-climbs-109-million>

37. Felix Richter. *Electric Mobility: Europe Races Ahead* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2021-12-04] prieiga per: <https://www.statista.com/chart/17344/electric-vehicle-share/>

38. International Atomic Energy Agency. *MESSAGE Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts User Manual* 2007 m.
39. Valstybinė energetikos reguliavimo taryba. *Gamtinių dujų importo kainos* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-07] prieiga per: <https://www.regula.lt/dujos/Puslapiai/duju-kainos/importo-kainos.aspx>
40. HeatRoadmapEU. *EU28 fuel prices for 2015, 2030 and 2050* [interaktyvus] 2017 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4\\_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf)
41. Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras. *Mažeikių elektrinė* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://www.vle.lt/straipsnis/mazeikiu-elektrine/>
42. Neste. *Crude oil prices* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://www.neste.com/investors/market-data/crude-oil-prices>
43. BALTPPOOL. *Vėliausio aukciono rezultatai* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://e.baltpool.eu/biomass/?ti=4700339&bp=biopriceforperiod>
44. DELFI. *Vilniaus kogeneracinė jėgainė paskelbė pirmąjį atliekų priėmimo konkursą* [interaktyvus] 2019 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://www.delfi.lt/verslas/energetika/vilniaus-kogeneracine-jegaine-paskelbe-pirmaji-atlieku-priemimo-konkursas.d?id=80937029>
45. UAB „15min“. *Lietuvos elektrinėje veiklą atnaujina du blokai* [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://www.15min.lt/verslas/naujiena/bendroves/lietuvos-elektrineje-veikla-atnaujina-du-blokai-663-1254104>
46. TRADING ECONOMICS. *EU Carbon Permits* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-16] prieiga per: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
47. Reuters. *Europe carbon prices expected to rise to 2030-industry survey* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2022-04-16] prieiga per: <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/europe-carbon-prices-expected-rise-2030-industry-survey-2021-06-14/>
48. Eurostat. *Gas prices for non-household consumers - bi-annual data (from 2007 onwards)* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-16] prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_PC\\_203\\_custom\\_2377278/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_PC_203_custom_2377278/default/table?lang=en)
49. Lietuvos respublikos aplinkos ministerija. *Lietuvos respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m.* [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: [https://lr.v.lt/uploads/main/documents/files/NECP%2012\\_31.pdf](https://lr.v.lt/uploads/main/documents/files/NECP%2012_31.pdf)
50. AB "Achema". *Istorija* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://www.achema.lt/istorija>
51. VTT, RTU, LEI. *FasTen project* [interaktyvus] 2021 [žiūrėta 2022-01-08] prieiga per: <https://gitlab.vtt.fi/backbone/projects/fasten-model>
52. ENTSO-E. *Cross-Border Physical Flow* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-15] prieiga per: <https://transparency.entsoe.eu/transmission-domain/physicalFlow/show>
53. Stefan Pfenninger, Iain Staffell. *Renewables.ninja* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-11] prieiga per: <https://www.renewables.ninja/>
54. Nord Pool AS. *Day-ahead prices* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-14] prieiga per: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/SE/Monthly/?dd=SE4&view=table>

55. TGE. Day-Ahead Market [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-13] prieiga per : <https://tge.pl/electricity-dam>
56. ATS JSC. *Daily indices and volumes (First price zone)*. [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-14] prieiga per: <https://www.atsenergo.ru/results/rsv/indexes/indexes1/index.htm?date=>
57. Energy Brainpool. Trends in the development of electricity prices – EU Energy Outlook 2050 [interaktyvus] 2017 [žiūrėta 2022-03-10] prieiga per: <https://blog.energybrainpool.com/en/trends-in-the-development-of-electricity-prices-eu-energy-outlook-2050/>
58. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, Lietuvos Respublikos užsienio reikalų ministerija. *Elektros energetikos infrastruktūros energijos vartojimo efektyvumo potencialo, ypač susijusio su perdavimu, skirstymu, savomis reikmėmis, gamybos efektyvumu, apkrovos valdymu ir visų šių elementų tarpusavio sąveika, taip pat prijungimu prie energijos gamybos įrenginių, be kita ko, prieigos galimybės labai mažos galios energijos generatorių atveju, įvertinimas* [interaktyvus] 2015 [žiūrėta 2022-01-15] prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Veikla/Veiklos%20sritys/energijos-naudojimo-efektyvumas/EVE-priemoniu-diegimas-Civitta-2015.pdf>
59. AB Litgrid. *Sistemos duomenys* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-15] prieiga per: <https://www.litgrid.eu/index.php/sistemas-duomenys/vartojimas/80?lines=3775%2C3776%2C3777&filter%5Bfrom%5D=2020-01-01&filter%5Bto%5D=2020-12-31&submit=Vykdyti>
60. VĮ „REGITRA“. *Atviri duomenys* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-01-15] prieiga per: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/?datayear=2021&dataquery=>
61. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos. *Oro temperatūra* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-02-20] prieiga per: <http://www.meteo.lt/lt/oro-temperatura>
62. Jiahang He, Toshiyuki Yamamoto. *Characterization of Daily Travel Distance of a University Car Fleet for the Purpose of Replacing Conventional Vehicles with Electric Vehicles* [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2022-04-12] prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/690>
63. Wouter Schram, Nico Brinkel, Gilbert Smink, Thijs van Wijk, Wilfried van Sark. *Empirical Evaluation of V2G Round-trip Efficiency* [interaktyvus] 2020 [žiūrėta 2022-04-12] prieiga per: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9203459>
64. Ignitis gamyba. *Kauno Algirdo Brazausko hidroelektrinė (KHE)* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-13] prieiga per: <https://ignitisgamyba.lt/veikla/elektros-energijos-gamyba/kauno-algirdo-brazausko-hidroelektrine-khe/137>
65. Ignitis gamyba. *Elektrėnų kompleksas (EK)* [interaktyvus] 2022 [žiūrėta 2022-04-13] prieiga per: <https://ignitisgamyba.lt/veikla/elektros-energijos-gamyba/elektrenu-kompleksas-ek/4451>