



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Paulius Bulatovas**

Projekto autorius

**Doc. Roma Račkienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2025**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

# **Pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikų tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos inžinerija (6211EX010)

---

**Paulius Bulatovas**

Projekto autorius

**Doc. Roma Račkienė**

Vadovė

**Doc. Ramūnas Deltuva**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2025**



**Kauno technologijos universitetas**

Elektros ir elektronikos fakultetas

Paulius Bulatovas

## **Pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikų tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektualinės 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.

Paulius Bulatovas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Bulatovas, Paulius. Pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikų tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Roma Račkienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: pradinė elektros energijos paklausa; elektros energijos paklausos prognozavimas; tos pačios dienos korekcija; vartojimo atsakas; balansavimo pajėgumų rinka.

Kaunas, 2025. 40 p.

## Santrauka

Baltijos šalims atsijungus nuo BRELL žiedo, energetikos sistemos balansavimas tapo aktualia ir sudėtinga užduotimi. Balansuojant energetikos sistemą perdavimo sistemų operatoriai įgalina tinklų naudotojus teikti balansavimo paslaugas. Viena iš tinklų naudotojų teikiamų balansavimo paslaugų yra vartojamos energijos sumažinimas. Siekiant sąžiningai atsiskaityti su vartojimą susimąžinusiems tinklų naudotojais reikia žinoti, kiek energijos jie būtų vartoję, jeigu nebūtų teikta balansavimo paslauga. Šis atskaitos taškas – tai pradinė elektros energijos paklausa.

Siekiant kuo platesnio tinklų naudotojų įsitraukimo į energetikos sistemos balansavimą, reikia užtikrinti, kad pradinės elektros energijos paklausos metodika būtų tiksli, sąžininga, paprasta ir pritaikoma. Išskiriami šie pagrindiniai metodikų tipai: istoriniais duomenimis grįstos metodikos; mašininio mokymu grįstos metodikos; prognozė vertinant prieš ir po; analogiškų vartotojų grupė; deklaratyvus vartojimas. Tyrime lyginamos istoriniais duomenimis grįstos metodikos. Pagal šias metodikas vertinama iki ~2 savaičių senumo duomenys suskirstyti į darbo ir ne darbo dienas. Prognozė gali būti koreguojama pagal skaičiuojamosios dienos buvusių prognozių tikslumą – tai tos pačios dienos korekcija.

Lietuvoje taikoma istoriniais duomenimis grįsta metodika su tos pačios dienos korekcija. Šios metodikos vidutinė absoliutinė procentinė paklaida (MAPE) visų metų duomenims – 4,31 %. Ši metodika yra sąžininga – metų apimtyje prognozuojamas suvartotos energijos kiekis 0,17 % didesnis už faktinį suvartotos energijos kiekį. Prognozės mažiausiai tikslios kovo, balandžio ir spalio–gruodžio mėnesiais. Prie prognozės netikslumo didele dalimi prisideda gaminantys vartotojai – jų nevertinant mėnesio duomenų MAPE iki 1,01 % mažesnė. Metodika mažiau tiksli vertinant mažesnę skaičių objektų. Prognozių tikslumas krenta vertinant mažiausiai elektros energijos suvartojančius objektus.

Jungtinėje Karalystėje taikoma istoriniais duomenimis grįsta metodika be tos pačios dienos korekcijos. Šios metodikos MAPE daug didesnis už lietuviškos metodikos – 7,01 %. Pagal Jungtinės Karalystės metodiką, prognozė ne darbo dienoms skaičiuojama nevertinant didžiausio ir mažiausio suvartojimo dienų. Šis pokytis neturi reikšmingos įtakos metodikos tikslumui.

Siekiant įvertinti tai, kad, dėl klimatinių sąlygų, artimų istorinių dienų energijos suvartojimas tikėtina panašesnis nei prieš 2 savaites buvusių, sudaryta svertinio vidurkio metodika. Pagal šią metodiką kiekvienos labiau į praeitį nutolusios dienos įtaka skaičiuojamajai dienai yra 60 % mažesnė, nei prieš jąėjusios dienos. Šis skaičiavimų pakeitimas vienareikšmiškai pagerina Lietuvoje taikomos metodikos rezultatus. Metodikos MAPE visų metų duomenims – 3,85 %.

Bulatovas, Paulius. Analysis of Baseline Energy Consumption Evaluation Methods. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Roma Račkienė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: energy consumption baselining; forecasting of energy consumption; same-day adjustment; demand response; energy balancing market.

Kaunas, 2025. 40 p.

### **Summary**

After the Baltic countries disconnected from the BRELL ring, balancing the energy system became a relevant and complex task. To balance the energy system, transmission system operators allow network users to provide balancing services. One of the balancing services provided by network users is reducing energy consumption. To fairly compensate network users who have reduced their consumption, it is necessary to determine how much energy they would have consumed if the balancing service had not been provided. This reference point is the baseline energy consumption.

To encourage broader participation of network users in energy system balancing, the methodology for determining baseline energy consumption must be accurate, fair, simple, and applicable. The main types of methodologies are historical data-based methods; machine learning-based methods; meter before and after; analogous user groups; and declarative consumption. This study compares historical data-based methodologies. These methods evaluate data up to approximately two weeks old, divided into working and non-working days. The forecast may be adjusted based on the accuracy of previous forecasts for the calculation day – this is the same-day adjustment.

In Lithuania, a historical data-based methodology with same-day adjustment is applied. The mean absolute percentage error (MAPE) of this method across yearly data is 4.31 %. This methodology is fair—the forecasted energy consumption over the year is only 0.17 % higher than the actual consumption. The forecasts are least accurate in March, April, and from October to December. A significant contributor to forecast inaccuracies are prosumers—excluding them improves the monthly MAPE by up to 1.01 %. The methodology is less accurate when evaluating a smaller number of households. Forecast accuracy decreases when assessing the lowest energy-consuming households.

In the United Kingdom, a historical data-based methodology without same-day adjustment is used. The MAPE of this method is significantly higher than the Lithuanian one—7.01 %. According to the UK methodology, forecasts for non-working days are calculated without considering the days with the highest and lowest consumption. This change has no significant impact on the method's accuracy.

Considering day-to-day weather changes it becomes clear that energy consumption of recent days is likely more similar than consumption two weeks prior. Acknowledging this a weighted average methodology was developed. According to this method, the influence of each past day decreases by 60 % the further back it is from the day being calculated. This adjustment unequivocally improves the results of the methodology used in Lithuania. The MAPE across yearly data with this improved method is 3.85 %.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>7</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Balansavimas.....</b>	<b>11</b>
1.1. Balansavimo pajėgumų rinka .....	12
1.1.1. Fizinis tinklo balansavimas .....	13
1.1.2. Finansinė balansavimo rinka .....	14
1.2. Vartojimo atsakas .....	15
<b>2. Pradinio kiekio nustatymas .....</b>	<b>16</b>
2.1. Metodikų tipai .....	16
2.2. Tos pačios dienos korekcija.....	17
<b>3. Lyginamos pradinio kiekio nustatymo metodikos.....</b>	<b>18</b>
3.1. Lietuvoje taikoma metodika .....	18
3.2. Lietuviška metodika įvertinus neigiamas prognozes.....	19
3.3. Jungtinėje Karalystėje taikoma metodika.....	20
3.4. Svertinio vidurkio metodika .....	21
<b>4. Duomenys .....</b>	<b>23</b>
<b>5. Rezultatai.....</b>	<b>26</b>
5.1. Lietuvoje taikoma metodika .....	26
5.1.1. Paklaidų pasiskirstymas.....	26
5.1.2. Tikslumas .....	28
5.2. Pakoreguota lietuviška metodika.....	31
5.3. Jungtinėje Karalystėje taikoma metodika.....	32
5.4. Svertinio vidurkio metodika .....	33
<b>Išvados .....</b>	<b>37</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>38</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Lyginamų metodikų suvestinė.....	18
<b>2 lentelė.</b> Vidutinės absoliutinės procentinės paklaidos priklausomybė nuo svorio koeficiento .....	22
<b>3 lentelė.</b> Objektų skaičius pagal tipą kiekvieną mėnesį eliminavus išskirtis.....	24
<b>4 lentelė.</b> Objektų suskirstymas pagal per mėnesį suvartotos energijos kvantilius.....	24
<b>5 lentelė.</b> LT originalios metodikos prognozės pervertinimas pagal mėnesius .....	27
<b>6 lentelė.</b> Gaminančių vartotojų įtaka LT originalios metodikos MAPE vertei .....	30
<b>7 lentelė.</b> LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo vartotojo tipo.....	31
<b>8 lentelė.</b> LT pakoreguotos metodikos MAPE priklausomybė nuo vartotojo tipo .....	31
<b>9 lentelė.</b> LT originalios ir svertinio vidurkio metodikų palyginimas pagal mėnesius.....	35

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Balansavimo rinkos veikimas laike [15] .....	13
<b>2 pav.</b> Balansavimo pajėgumų aukciono veikimas [17].....	14
<b>3 pav.</b> 2023-01-27 objekto Nr. 3 prognozė pagal LT originalią metodiką .....	20
<b>4 pav.</b> 2023-01-27 objekto Nr. 3 prognozė pagal LT pakoreguotą metodiką.....	20
<b>5 pav.</b> TDK pasinaudojimas nesąžiningam pasipelnymui [38].....	21
<b>6 pav.</b> Vidutinės absoliutinės procentinės paklaidos priklausomybė nuo svorio koeficiento.....	22
<b>7 pav.</b> Sausio mėnesio duomenų išskirčių nustatymas .....	23
<b>8 pav.</b> LT originalios metodikos paklaidų histograma.....	26
<b>9 pav.</b> Priartinta LT originalios metodikos paklaidų histograma.....	27
<b>10 pav.</b> LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo dienos valandos.....	28
<b>11 pav.</b> LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo dienos valandos ir dienos tipo.....	29
<b>12 pav.</b> LT originalios metodikos MAPE vertės pagal mėnesius ir dienos valandas .....	29
<b>13 pav.</b> LT originalios metodikos MAPE vertės pagal mėnesius ir dienos valandas, skaičiuojant be gaminančių vartotojų .....	30
<b>14 pav.</b> JK ir LT metodikų palyginimas pagal dienos valandas nepaisant dienos tipo.....	32
<b>15 pav.</b> JK ir LT metodikų palyginimas pagal darbo dienų valandas .....	33
<b>16 pav.</b> JK ir LT metodikų palyginimas pagal ne darbo dienų valandas .....	33
<b>17 pav.</b> LT originalios ir svartinio vidurkio metodikų palyginimas pagal dienos valandas .....	34
<b>18 pav.</b> LT originalios ir svartinio vidurkio metodikų palyginimas pagal darbo dienų valandas.....	34
<b>19 pav.</b> LT originalios ir svartinio vidurkio metodikų palyginimas pagal ne darbo dienų valandas	35

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

BSP – (angl. *Balancing service provider*) balansavimo pajėgumų teikėjas;

BRP – (angl. *Balance responsible party*) už balansą atsakinga šalis;

PSO – perdavimo sistemos operatorius;

MAPE – (angl. *Mean absolute percentage error*) vidutinė absoliutinė procentinė paklaida.

## Įvadas

Elektros energetikos sistema išgyvena pokyčius – patikima tradicinė generacija keičiama sunkiai prognozuojama paskirstyta generacija [1]. Šildymo ir transporto elektrifikacija didina buitinių vartotojų elektros energijos sąnaudas ir keičia jų vartojimo profilį [2]. Vis plačiau naudojami energijos kaupimo įrenginiai perskirsto tradicinius energijos vartojimo pikus. Šie pokyčiai sunkina vieną iš elektros energijos perdavimo sistemų operatorių pagrindinių užduočių – palaikyti generacijos ir vartojimo balansą sistemoje. Kas dieną sunkėjanti balansavimo užduotis pastaruoju metu tapo dar svarbesnė – Baltijos šalims atsijungus nuo BRELL žiedo, energetikos sistemos balansavimo našta visa apimtimi krito ant Baltijos šalių perdavimo sistemų operatorių. Balansuojant elektros energetikos sistemą perdavimo sistemų operatoriai įgalina tinklų naudotojus prie to prisidėti. Vienas iš būdų, kaip tinklų naudotojai gali dalyvauti sistemos balansavime, yra suvartojamos energijos mažinimas. Už pateiktus balansavimo pajėgumus, pavyzdžiui už sumažintą vartojamos energijos kiekį, tinklų naudotojams turi būti sąžiningai atlyginta. Norint žinoti, koku kiekiu tinklų naudotojas susimažino vartojimą, reikia žinoti, kiek energijos jie būtų suvartoję, jeigu neteiktų balansavimo paslaugos. Šis atskaitos taškas vadinamas pradine elektros energijos paklausa. Ši prognozė turi pakankamai tiksliai suprognozuoti tinklų naudotojų vartojimą, o neišvengiami netikslumai turi būti tolygiai pasiskirstę į teigiamą ir neigiamą puses. Siekiant plataus tinklų naudotojų įsitraukimo į elektros energetikos sistemos balansavimą, pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo taisyklės turi būti aiškios, o išskaičiuojama vartojimo prognozė tiksli ir sąžininga. Nepatikima arba neskaidri metodika atgraso tinklų naudotojus nuo įsitraukimo į balansavimo rinką [3]. Pradinės elektros energijos paklausos metodika turi būti paprasta ir pakartotina užtikrinant skaidrumą, o tuo pačiu, ji turi būti tiksli ir sąžininga.

Darbo tikslas – išanalizuoti Lietuvoje taikomą pradinės energijos paklausos nustatymo metodiką palyginant jos tikslumą su kitokiomis metodikomis.

Uždaviniai:

- išanalizuoti pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikų naudojimo tikslą, pagrindinius principus ir tipus;
- išanalizuoti Lietuvoje taikomą metodiką ir jos tikslumą;
- išanalizuoti tos pačios dienos korekcijos įtaką metodikų rezultatams;
- palyginti Lietuvoje taikomos metodikos tikslumą su užsienyje taikoma metodika;
- pasiūlyti Lietuvoje taikomos metodikos patobulinimą.

## 1. Balansavimas

Elektros energetikos sistema privalo dirbti pastoviam generacijos ir vartojimo balanse. Elektros energetikos sistemai kintant balansavimo uždavinio sprendimas tampa vis sudėtingesnis. Energijos gamybai pereinant nuo didelių patikimų gamybos centrų į nevaldomą AEI elektrinių generaciją gamybos profiliai tampa sunkiau prognozuojami [4]. Buitiniams vartotojams įsidiegiant šilumos siurblius arba naudojant elektromobilius, jų suvartojamas elektros energijos kiekis vis auga [5,6]. Buitiniai vartotojai, kitaip nei didelės galios pramoniniai vartotojai, vartoja energiją ne pagal planą ir yra sunkiai prognozuojami [7]. Sparčiai didėjantis gaminančių vartotojų, įsidiegiančių saulės elektrines ant namų stogų, skaičius taip pat sunkina balanso palaikymą ir vartojimo prognozavimą. Saulės elektrinių generavimo metu gaminantys vartotojai pasidengia visą arba dalį vartojamos energijos iš savo saulės elektrinės, dėl to jie iš tinklo nevartoja (arba vartoja mažiau). Taigi, buitinio gaminančio vartotojo vartojimo profilis pavasarį / vasarą, kai saulės elektrinės gamina daugiau energijos, gerokai skiriasi nuo vartojimo rudenį / žiemą, kai saulės elektrinių generacija minimali. Gaminančių vartotojų, kaip ir kitų buitinių vartotojų, prognozavimas tampa tikslesnis vertinant didesnes sutelktas grupes, o ne pavienius objektus [8].

Palaikant energijos sistemos balansą yra keturi veiksmi, kuriuos galima padaryti. Pasirinkimas priklausomai nuo balansinės situacijos tinkle:

- pamažinti generaciją. Elektrinių ribojimas galimas visoms elektrinėms didesnėms nei 100 kW galios. Elektrines 10 kW – 100 kW galios režyje galima nuotoliu atjungti, bet negalima jų valdyti. Mažesnes nei 10 kW elektrinės nėra galimybės nei valdyti, nei atjungti [9].
- padidinti generaciją. Siekiant padidinti elektros gamybą tinkle reikia įjungti tuo metu nenaudojamas elektrines. Šios elektrinės būna išjungtos, nes joms veikti įprastu režimu yra neekonomiška. Vadinasi balansavimo paslauga, kurią teikia šios elektrinės, yra labai brangi. Kondensacinių ir termofikacinių elektrinių įjungimas užtrunka kelias valandas, o jų reakcija į valdymo signalus lėta – sumažinama po 3-5 % galios per minutę. Į šiuos apribojimus reikia atsižvelgti siekiant padidinti generaciją tinkle.
- pamažinti vartojimą. Situacija, kai sistemoje trūksta generacijos, yra tapati situacijai, kai sistemoje per daug vartojimo. Norint valdyti vartojimą jis turi būti lankstus ir pakankamai didelės galios. Elektrolizės įrenginiai puikiai tinka vartojimo atsakui įgyvendinti [10]. Vartotojas, siekiantis balansuoti sistemą, turi būti ne mažesnės nei 1 MW galios, dėl to buitiniai vartotojai tokioje sistemoje gali dalyvauti tik sutelkti į dideles grupes.
- padidinti vartojimą. Neplanuoto vartojimo paslaugą gali teikti energijos kaupimo įrenginiai (hidroakumuliacinės elektrinės, ličio jonų baterijos).

Už elektros energetikos sistemos balansavimą atsakingi perdavimo sistemos operatoriai. Balansavimui darantis vis labiau komplikuojamam, kuriamos naujos sistemos suvaldyti tinklo balansą ir tai padaryti kuo labiau ekonomiškai [11,12]. Siekiant balansavimo ekonomiško naudojama balansavimo pajėgumų rinka. Balansuojant elektros sistemos dalyvauja tinklų naudotojai. Dalyvaujant balansavimo rinkoje teikiami balansavimo pajėgumų pasiūlymai ir, atsižvelgiant į optimalų greičio ir kainos santykį, tie pajėgumai aktyvuojami. Pajėgumų aktyvavimas – tai atitinkamos galios generavimo arba vartojimo padidinimas arba pamažinimas operatoriaus nurodytu metu.

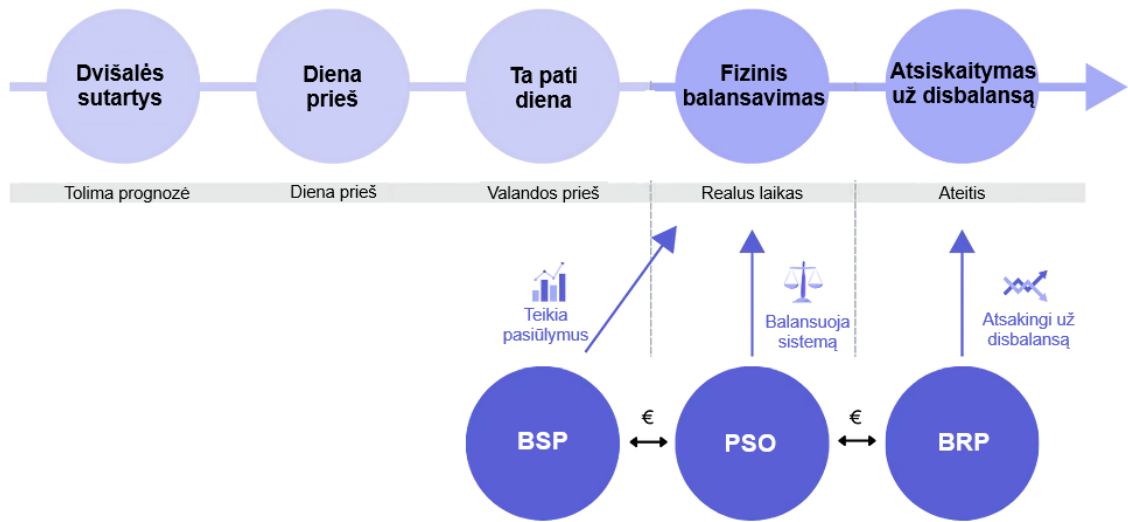
## 1.1. Balansavimo pajėgumų rinka

Balanso palaikymo uždavinys aktualus, nes Lietuvai, Latvijai ir Estijai atsijungus nuo BRELL žiedo, Baltijos šalys energetinės sistemos balansavimu turi rūpintis pačios. Balanso palaikymui perdavimo sistemų operatorės naudojasi tarpvalstybine balansavimo pajėgumų rinka. Balansavimo rinkoje dalyvauja trys šalys:

- balansavimo paslaugos teikėjas (angl. *BSP*). Tai tinklų naudotojai, kurie gali pateikti balansavimo paslaugą: elektrinės, lankstūs vartotojai, kaupimo įrenginiai. BSP teikia pasiūlymus, kiek balansavimo pajėgumų galės pateikti atitinkamu metu. BSP užtikrina, kad operatoriui davus signalą, jie galės pateikti užsibrėžtą energiją į tinklą arba energiją iš tinklo vartoti. Už aktyvuotus balansavimo pajėgumus BSP gauna finansinę grąžą.
- už balansą atsakinga šalis (angl. *BRP*). Tai tinklų naudotojai, kurie turi atsakomybę vartoti / generuoti pagal pateiktą planą. Tinklų naudotojams veikiant ne pagal planą sukliamas tinklo disbalansas. Elektrinės, nepalaikydamos deklaruotų generavimo pajėgumų, arba vartotojų atstovai (telkėjai arba nepriklausomi energijos tiekėjai), suvartoję kitokį kiekį energijos nei buvo planuota, turi atsakyti už sukeltą disbalansą.
- perdavimo sistemos operatorius (PSO). PSO tikslas palaikyti balansą tinkle. PSO negali pasipelninti ar prarasti pinigų dėl balansavimo – PSO yra tarpininkas tarp BSP ir BRP šioms šalims apsieičiant mokėjimais. PSO suskaičiuoja, kokį disbalansą sukėlė BRP ir juos apmokestina. Tuo pačiu PSO suskaičiuoja, kiek BSP pateikė balansavimo pajėgumų padėjusių susitvarkyti su disbalansu, ir jiems sumoka. BRP patirti nuostoliai ir BSP patirtos finansinės naudos turi sutapti.

Energijos balansavimo pajėgumų rinka taip pat padalinta pagal laiką balansavimo momento atžvilgiu:

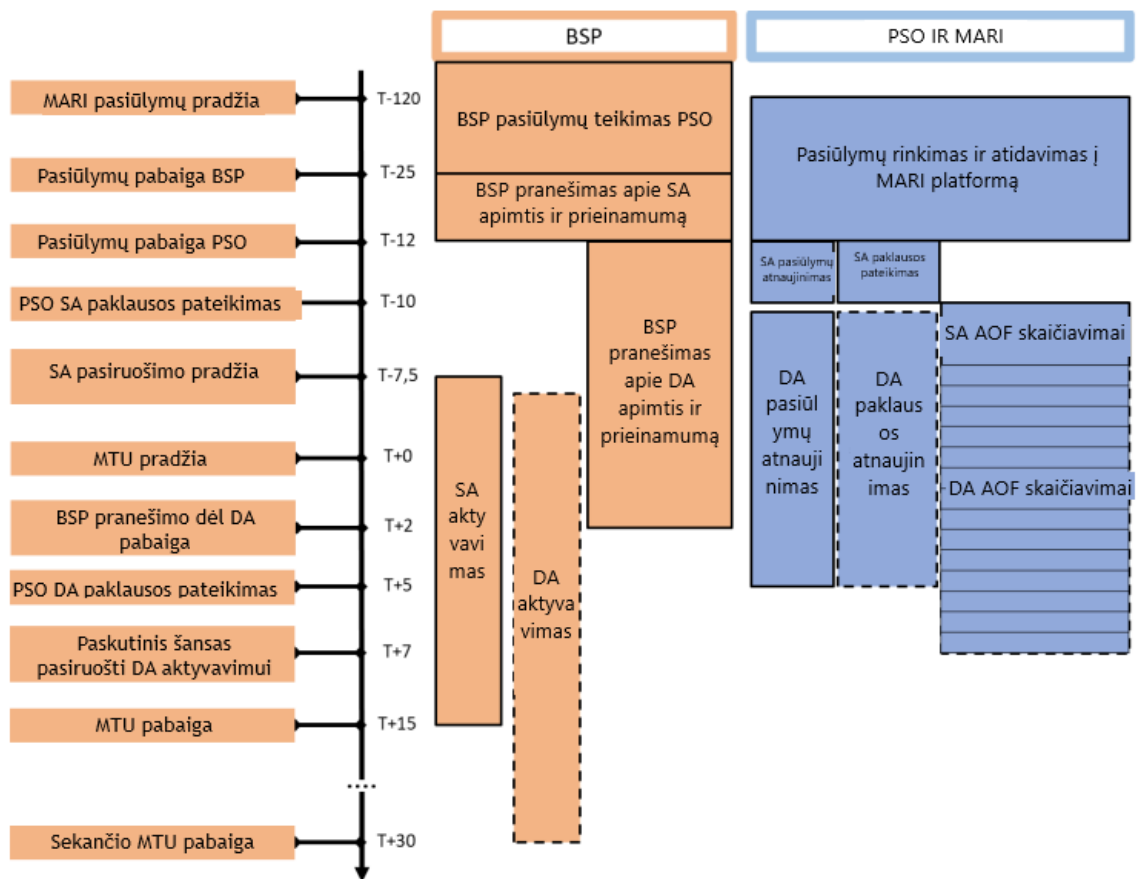
- tolima prognozė. Tai neapibrėžtas laikas ilgesnis nei viena diena prieš. Šiame periode veikia tik finansinės rinkos, t. y. elektros kainų ateities sandorių rinka arba dvišalės sutartys tarp energijos tiekėjų ir vartotojų [13,14].
- diena prieš. Šiame žingsnyje vyksta balanso planavimas. BRP pateikia energijos gamybos / vartojimo planus Operatoriui. Šiuos planus nulemia tai, kiek energijos BRP pardavė / nusipirko dienos prieš energijos rinkoje. BSP pateikia balansavimo pajėgumų pasiūlymus. PSO atsižvelgęs į BRP planus ir BSP pasiūlymus planuoja sistemos balansą.
- ta pati diena. Dienos eigos biržoje prekiaujama elektros energija. Tai paskutinis žingsnis prieš fizinį balansavimą. Naudojantis dienos eigos birža galima nusipirkti trūkstamos energijos ir taip išvengti brangesnio finansinio atsiskaitymo už disbalansą.
- balansavimo laikotarpis. Tai 15 minučių intervalas, kuriame PSO, aktyvuodamas reikiamus balansavimo pajėgumus, palaiko balansą tinkle. Eilę, pagal kurią turi būti aktyvuojami balansavimo pajėgumai, nustato automatinė optimizavimo funkcija. Optimalią balansavimo pajėgumų eilę programa parenka atsižvelgdama į pajėgumų apimtį, tipą ir kainą.
- atsiskaitymas už disbalansą. Atsiskaitymas už BRP sukeltą ir BSP išspręstą disbalansą vyksta per pirmas 8-ias sekančio mėnesio darbo dienas. Šiam žingsniui išpildyti reikia žinoti, kokį disbalansą sukėlė BRP ir kiek prie jo sprendimo prisidėjo BSP.



**1 pav.** Balansavimo rinkos veikimas laike [15]

### 1.1.1. Fizinis tinklo balansavimas

Perdavimo sistemų operatoriai balansavimo pajėgumus perka aukciono principu. BSP teikia balansavimo pajėgumų pasiūlymus dienos prieš ir tos pačios dienos apimtyje. PSO gautus pasiūlymus, tarp sisteminių pjūvių informaciją ir planuojamą balansavimo poreikį pateikia automatinei optimizavimo programai (AOF) [16]. Visi pasiūlymai surenkami ir išrikiuojami į eilę, pagal kurią turi būti atliekamas balansavimas. Eilės sudarymui AOF atsižvelgia į balansavimo pajėgumų kainą, apimtį ir tipą. Balansavimo pajėgumų pasiūlymų, PSO vertinimo ir pajėgumų aktyvavimo laikai pavaizduoti **2 pav.** [17].



2 pav. Balansavimo pajėgumų aukciono veikimas [17]

čia: BSP – balansavimo pajėgumų tiekėjas; PSO – perdavimo sistemos operatorius; MARI – mFRR balansavimo pajėgumų aktyvavimo platforma; SA – planuotas aktyvavimas; DA – tiesioginis aktyvavimas; MTU – (angl. Market time unit) 15min intervalas per kurį vyksta balansavimas; AOF – automatinė optimizavimo programa.

### 1.1.2. Finansinė balansavimo rinka

Finansinis atsiskaitymas tarp BRP, PSO ir BSP įvyksta po faktinio balansavimo, per sekančio mėnesio pirmas 8-ias darbo dienas.

Atsiskaitymas su BSP įvyksta, jeigu jų pajėgumai buvo aktyvuoti. Jeigu, įvertinus realiu laiku pakitusią situaciją, pajėgumų aktyvuoti nebereikia, balansavimo pajėgumų tiekėjams atlyginama pagal kitokią tvarką. Balansavimo pajėgumų paskirstymo, aktyvavimo ir kainos klausimus apsprendžia Baltijos šalių koordinuotos balansavimo zonos (Baltic CoBA) rinkos taisyklės [18,19].

BSP atlyginama suma priklauso nuo to, kokia balansavimo pajėgumų apimtį jie pateikė. BSP ir BRP atstovaujant tam pačiam tinklą naudotojui ir veikiant pagal deklaruotą planą, šį kiekį išskaičiuoti paprasta – tai realiai generuotos / vartotos energijos ir deklaruoto plano skirtumas. Tačiau BSP / BRP veikiant ne pagal planą, turime tik matavimais pagrįstus skaičius. Tokie BSP / BRP, kurie gali neveikti pagal planą, yra energijos paklausą mažinantys lankstūs vartotojai. Stebint lankstaus vartotojo energijos vartojimo duomenis neįmanoma žinoti, kurie vartojimo sumažėjimai susidaro dėl įprastų vartotojo veiksmų, o kurie – dėl PSO nurodymo. Norint sąžiningai atsiskaityti su BSP ir

neleidžiant jokiai šaliai pasinaudoti neaiškumu, reikalingas atskaitos taškas – pradinis elektros energijos paklausos kiekis [20,21]. Pradinė elektros energijos paklausa išskaičiuojama naudojantis istoriniais duomenimis arba atskaitos tašku laikant analogiškus vartotojus. Išskaičiuojant pradinę paklausą iš istorinių duomenų dažnai taikomos paprastos taisyklės (pavyzdžiui skaičiavimui imamos 10-ies pastarųjų panašių dienų skaičiuojamosios valandos vidurkis) arba pradinio kiekio prognozavimui gali būti taikomas mašininis mokymas [22].

## 1.2. Vartojimo atsakas

Vienas iš būdų teikti balansavimo produktus yra valdyti vartojimą. Esant didelei energijos paklausai balanso palaikymas kainuoja daug, nes gali nepakakti pigių energijos šaltinių ir gali reikėti įjungti neefektyvias senas elektrines. Susidarius tokiai situacijai ir lankstiems vartotojams susimąžinus savo vartojimo galią, šios problemos galima išvengti. Apribotas vartojimas perkeliamas į ne pikines valandas taip išlyginant tinklo apkrovimą [23,24].

Valdant buitinių klientų vartojimą jų elektriniai įrenginiai išskiriami pagal tai, ar jie gali būti pertraukiami (džiovyklė, siurblys) ir pagal tai, ar jų naudojimas gali būti perkeltas į kitą valandą (drabužių skalbyklė, lygintuvas) [25]. Didelį potencialą vartojimo valdymui rodo šildymo / šaldymo sistemų pakeitimas į elektrines alternatyvas. Vartojimo mažinimas arba perkėlimas į kitas valandas gali sukelti nepatogumų, tačiau pagal Italijos mokslininkus vartojimo valdymas optimizuojant energijos suvartojimą gali būti pasiekiamas net ir užtikrinant vartotojų šilumos reikmes [26].

Pagal Tarptautinės energetikos agentūros nulinių emisijų iki 2050 scenarijų, lankstaus vartojimo balansavimo pajėgumų pasaulyje reikia 500 GW iki 2030 – tai būtų dešimties kartų padidėjimas nuo 2020 metų [27]. Šį kiekį didžiąja dalimi sudaro šilumos siurbliai ir vėdinimo sistemos. Pagal 2024 m. patvirtintą Lietuvos Respublikos nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją Lietuvoje 2030 metais siekiama turėti 770 MW lanksčios paklausos iš šilumos siurblių naudojimo namų ūkiuose, o 2050 metais šis skaičius turi pasiekti 2,5 GW (atitinkamai 3,7 ir 11,9 karto padidėjimas nuo 2022 metų rodiklių) [28].

Kalbant apie vartojimo atsaką išskiriami du mechanizmai, skatinantys vartotojus keisti elgesį – savaiminis (angl. *implicit*) ir išorinis (angl. *explicit*) valdymas. Savaiminis valdymas – tai vartotojo reakcija į energijos kainas ir savo elgesio reguliavimas pagal jas. Toks susivaldymas pasiekiamas vartotojams naudojant valandinį energijos kainos tarifą, kuris priklauso nuo energijos vartojimo laiko. Esant didelei energijos paklausai energijos kaina išauga. Pagal teoriją rinkos valdomas vartotojas, reaguodamas į energijos kainą, pasirenka mažinti energijos suvartojimą ir taip prisideda prie vartojimo piko sumažinimo. Tačiau net lankstaus vartojimo priemonės turintys vartotojai praktiškai nėra elastingi elektros energijos kainoms – bandant reguliuoti vartojimo pikus, pritaikant skirtingas elektros energijos kainas, pasiekiamas labai ribotas (iki 8 %) pikų sumažinimas [29,30].

Dėl vartojimo neelastingumo kainoms reikalingas ir kitoks valdymas. Išorinis vartojimo valdymas – tai mechanizmas, kai vartotojas arba jo įrenginius valdantis telkėjas reguliuoja įrenginių veikimą pagal iš sistemos operatoriaus gautus signalus. Elektros sistemos operatorius, siekdamas tinklo balanso, aktyvuoja balansavimo pajėgumus, tarp kurių gali būti ir vartojimo mažinimas. Gavus operatoriaus signalą vartotojų pajėgumai išjungiami arba ribojami. Vartojimą išoriškai valdančio sistemos operatoriaus pavyzdys yra Jungtinės Karalystės perdavimo sistemos operatorius NESO. Pagal NESO viešinamą informaciją per 2022–2023 metų žiemą jie pasinaudojo vartotojų atsaku 22 kartus ir jų metu perkėlė 3,3 GWh elektros energijos į ne pikines valandas [31,32].

## 2. Pradinio kiekio nustatymas

Norint sąžiningai atsiskaityti su balansavimą tiekiančiomis ir disbalansą sukeliančiomis šalimis, reikia žinoti, kiek balansavimo energijos buvo patiekta į tinklą. Norint žinoti šį dydį, reikalingas atskaitos taškas, leidžiantis įvertinti realių matavimų dydžius. Šis atskaitos taškas – tai pradinės elektros energijos paklausos kiekis, nurodantis, kiek energijos vartotojas būtų suvartojęs įprastą dieną, jeigu nepateiktų balansavimo paslaugos.

Pradinės elektros energijos paklausos nustatymas – tai prognozavimo uždavinys, kuris gali būti atliekamas remiantis istoriniais duomenimis, gali būti naudojamas mašininis mokymas arba taikomas panašaus vartotojo analogas. Svarstant skirtingas pradinio kiekio nustatymo metodikas, reikia subalansuoti siekius turėti tikslų, sąžiningą, tačiau ir aiškų bei pakartojamą metodą. Pavyzdžiui, taikant mašininį mokymą ir tikintis tikslesnės prognozės, reikia atsižvelgti į tai, kad siekiama pradinio kiekio nustatymo metodikas palaikyti skaidrias ir suprantamas, ką riboja mašininio mokymo naudojimas.

*Centre for Net Zero* tyrėjai [33] išskiria šiuos pagrindinius principus, kurie turi būti įvertinti, renkantis pradinio kiekio nustatymo metodą:

1. tikslumas – reikia įvertinti kiek pradinės energijos paklausos prognozė skiriasi nuo faktinių reikšmių;
2. sąžiningumas – reikia įvertinti ar metodika nenuvertina ir nepervergina suvartotos energijos. Taip pat reikia įvertinti ir minimizuoti galimybes nesąžiningai pasinaudoti sistema;
3. paprastumas – reikia įvertinti galimybę kuo paprasčiau naudoti, suprasti, atkartoti ir patikrinti metodą;
4. pritaikomumas – reikia įvertinti galimybę metodą taikyti skirtingoms balansavimo ir energijos rinkoms.

### 2.1. Metodikų tipai

Išskiriami šie pagrindiniai pradinio kiekio skaičiavimo metodų tipai [22]:

1. istoriniais duomenimis paremtos paprastų taisyklių metodikos. Remiantis istoriniais duomenimis sukuriama tikėtinas vartojimas. Šiems metodams imamas nustatytas skaičius panašių istorinių dienų ir skaičiuojamas einamosios valandos vartojimo reikšmių vidurkis. Istorinių dienų kiekį pasirenka metodiką sudaranti organizacija, bet įprastas kiekis yra 1–2 savaitės istoriniai duomenys. Šiems metodams dienos sugrupuojamos į darbo ir laisvas dienas – skaičiuojant darbo dienos pradinę energijos kiekį imami tik darbo dienų istoriniai duomenys, o skaičiuojant nedarbo dieną – atmetami darbo dienų duomenys. Vertinant istorinius duomenis nevertinamos praeities dienos, per kurias buvo aktyvuoti vartojimo atsako balansavimo pajėgumai;
2. mašininis mokymas grįsti metodai. Šiems metodams reikalingi dideli kiekiai istorinių duomenų ir daug kompiuterinių resursų. Dėl mašininio mokymo metodų sudėtingumo nepasiekiamas aukščiau aprašytas paprastumo kriterijus. Pagal *Centre for Net Zero* [34] mašininio mokymo modeliai tikslesni už paprastų taisyklių metodus tik kai kuriais specifiniais atvejais, o taikant metodus agreguotiems vartotojams mašininio mokymo metodai nėra tikslesni už paprastų taisyklių metodus. Dėl šių priežasčių mašininis mokymas grįsti modeliai šiame tyrime netaikomi;
3. prognozė vertinant prieš ir po. Pagal šią metodiką priimama, kad lankstumo paslaugos pritaikymo metu vartojama galia išlieka pastovi. Lankstumo periodo galia prilyginama prieš paslaugos aktyvavimą vartotai galiai arba yra nulemiama kelių paskutinių rodmenų. Ši metodika taikoma

realaus laiko skaičiavimams, kai reikia prognozės neilgam laikui į priekį. Taip pat tokią metodiką naudinga taikyti, kai lankstumo paslauga yra dažnai aktyvuojama, todėl gerokai sumažėja istorinių duomenų kiekis, kuriuos galima naudoti prognozavime;

4. analogiškų vartotojų grupė. Turint platų vartotojų tinklą galima vartotojus grupuoti į panašius ir jiems parinkti analogus, pagal kuriuos nustatomas tikėtinas vartojimas. Vartotojai gali būti grupuojami pagal vidutiniškai arba maksimaliai suvartotą energiją. Grupuojant taip pat aktualu įvertinti, kokias energijos vartojimo technologijas vartotojai naudoja – suskirstyti elektromobilių krovimo stoteles, energijos kaupimo įrenginius arba šilumos siurblius naudojančius vartotojus į atitinkamas grupes;
5. deklaratyvus vartojimas. Vartotojai arba juos atstovaujantys telkėjai gali deklaruoti jų vartojimo profilį, t. y. koku metu, kiek energijos bus suvartota. Tokiu atveju, operatorius, skaičiuodamas pritaikytą balansavimo kiekį, pasitiki deklaruotu vartotojo profiliu ir laiko jį lygiaverčiu pradinės elektros energijos paklausos prognozei. Deklaruodami vartojimą vartotojai ir / ar telkėjai prisiima visą atsakomybę teisingai suprognozuoti arba suvaldyti vartojimą. Jeigu tikrasis vartojimas neatitinka deklaruotojo, yra sukuriamas disbalansas, už kurį atsiskaityti turi už balansą atsakinga šalis.

## 2.2. Tos pačios dienos korekcija

Istoriniais duomenimis paremtos ir mašininio mokymo metodikos taip pat gali būti padalinamos į tokias, kurios taiko tos pačios dienos korekciją, ir tas, kurios šios korekcijos netaiko. Tos pačios dienos korekcija (TDK) – tai papildoma taisyklė, kurią pritaikius siekiama didesnio tikslumo prognozuojant. Taikant TDK prie prognozės pridedamas dydis, nulemtas pastarųjų prognozių tikslumo – iš faktinio suvartojimo kiekio buvusio  $n$  valandų prieš skaičiuojamąją valandą atimama tos valandos pradinio kiekio prognozė, tas pats padaroma su kiekviena valanda iki valandos prieš skaičiuojamąją ir šių atimčių vidurkis pridedamas prie einamosios valandos prognozės. TDK skaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$a_t = \frac{(c_{t-1}-b_{t-1}) + \dots + (c_{t-n}-b_{t-n})}{n}; \quad (1)$$

čia:  $c_{t-n}$  – faktinis suvartotos energijos kiekis  $n$  valandų prieš skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $b_{t-n}$  – pradinis kiekis  $n$  valandų prieš skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $n$  – valandų naudojamų tos pačios dienos korekcijai skaičius.

TDK nauda akivaizdi, įvertinant pavyzdį, kai ilgą laiką vidutinė lauko temperatūra žema, dėl ko elektros suvartojimas didelis, o skaičiuojamąją dieną temperatūra pakyla ir suvartojimas nukrenta. Remiantis vien istoriniais duomenimis visos šios dienos prognozės būtų per aukštos (nes artimoje praeityje buvo didesnis suvartojimas), o, pritaikius TDK, po pirmų klaidingai paskaičiuotų valandų prognozės yra pamažinamos ir suminis klaidingai suprognozuotos energijos kiekis mažesnis.

Pagal *EDIS Lab* tyrėjus [35], TDK taikymas padidino Lietuvoje taikytos pradinės elektros energijos paklausos nustatymo metodikos tikslumą ir sumažino paklaidų pasiskirstymo nuokrypį. Buvo pastebėta, kad, netaikant TDK, sudaroma situacija kai dažniau įvertinama, kad vartotojai pateikė daugiau balansavimo energijos nei iš tiesų, kas yra nuostolinga operatoriui ir naudinga paklausos telkėjui.

### 3. Lyginamos pradinio kiekio nustatymo metodikos

Tyrime analizuota Lietuvoje taikoma metodika ir jos prognozių tikslumas. Šie rezultatai lyginami su pažengusios šioje srityje šalies metodikos rezultatais ir tiriamas naujas metodikos tipas.

1 lentelė. Lyginamų metodikų suvestinė

Metodika	Istorinių duomenų skaičius darbo dienoms	Istorinių duomenų skaičius ne darbo dienoms	Tos pačios dienos korekcija	Komentaras
LT originali metodika	10 arba nesant pakankamai istorinių duomenų - 5	5 arba nesant pakankamai istorinių duomenų - 4	Taikoma 2 valandų lange	Šiuo metu LITGRID AB naudojama metodika
LT koreguota metodika	10 arba nesant pakankamai istorinių duomenų - 5	5 arba nesant pakankamai istorinių duomenų - 4	Taikoma 2 valandų lange. Jeigu dėl šios korekcijos prognozė virsta neigiama – korekcija prilyginama 0	
JK metodika	10 arba nesant pakankamai istorinių duomenų – 5	4, tačiau skaičiavimui naudojamos vidurinės 2 dienos pagal suvartotą energijos kiekį	Netaikoma	Šiuo metu Jungtinėje Karalystėje naudojama metodika
Svertinio vidurkio metodika	10 arba nesant pakankamai istorinių duomenų – 5	5 arba nesant pakankamai istorinių duomenų - 4	Taikoma 2 valandų lange	Istoriniams duomenims pritaikomas svorio koeficientas lygus 0,6

#### 3.1. Lietuvoje taikoma metodika

Vartotojo pradinės elektros energijos paklausos apskaičiavimas remiasi Perdavimo sistemos operatoriaus LITGRID AB pradinės elektros energijos paklausos nustatymo metodika [36].

Lietuvoje taikoma metodika yra istoriniais duomenimis paremta paprastų taisyklių metodika su pritaikytu TDK. Einamosios valandos pradinis energijos kiekis apskaičiuojamas prie istorinių duomenų didžiausių reikšmių vidurkio pridendant pataisos koeficientą pagal (2) formulę.

$$b_t = d_t + a_t \quad (2)$$

čia:  $b_t$  – pradinis kiekis priskirtas vartotojo objektui, skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $d_t$  – istorinių duomenų didžiausių reikšmių vidurkis skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $a_t$  – pataisos koeficientas, skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $t$  – skaičiuojamoji valanda.

Skaičiuojant einamosios valandos pradinę paklausą imamas atitinkamas skaičius praėjusių dienų ir skaičiuojamas tos pačios valandos maksimalios suvartojimo reikšmės vidurkis. Imamų istorinių duomenų kiekis priklauso nuo to, ar einama diena yra darbo diena, ar ne. Skaičiuojant darbo dienos pradinę elektros energijos paklausą imamas 10-ies praėjusių darbinių dienų vidurkis, o skaičiuojant ne darbo dienų pradinę paklausą imama 5-ių dienų vidurkinė reikšmė. Skaičiuojant nevertinami istoriniai duomenys tų dienų, kada buvo užsakyta vartojimo atsako balansavimo paslauga. Istorinių duomenų didžiausių reikšmių vidurkis apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^l c_i}{l}; \quad (3)$$

čia:  $i$  – dienų prieš pradinio kiekio skaičiavimą skaičius;  $l$  – istorinių duomenų dienų skaičius (darbo dienoms = 10, ne darbo dienoms = 5);  $c_i$  – prieš  $i$  parų buvusios dienos faktinis suvartotos elektros energijos kiekis skaičiuojamą paros valandą  $t$ , MWh.

Pataisos koeficientas  $a_t$  atsižvelgia į tai ar teisingai prognozuojama einamos dienos suvartojamos energijos pradinė reikšmė. Vertinamos pastarųjų dviejų valandų nuo skaičiuojamos valandos prognozuotos ir faktinės vertės. Pataisos koeficientas apskaičiuojamas pagal (4) formulę:

$$a_t = \frac{(c_{t-1} - b_{t-1}) + (c_{t-2} - b_{t-2})}{2}; \quad (4)$$

čia:  $c_{t-1}$  – faktinis suvartotos energijos kiekis 1 valandą prieš skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $c_{t-2}$  – faktinis suvartotos energijos kiekis 2 valandas prieš skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $b_{t-1}$  – pradinis kiekis valandai  $t-1$  apskaičiuotas pagal (2) formulę pakeičiant skaičiuojamą valandą iš  $t$  į  $t-1$ , MWh;  $b_{t-2}$  – pradinis kiekis valandai  $t-2$  apskaičiuotas pagal (2) formulę pakeičiant skaičiuojamą valandą iš  $t$  į  $t-2$ , MWh.

Suvartotos elektros energijos pokytis  $p_t$  skaičiuojamajai valandai  $t$  apskaičiuojamas pagal (5) formulę:

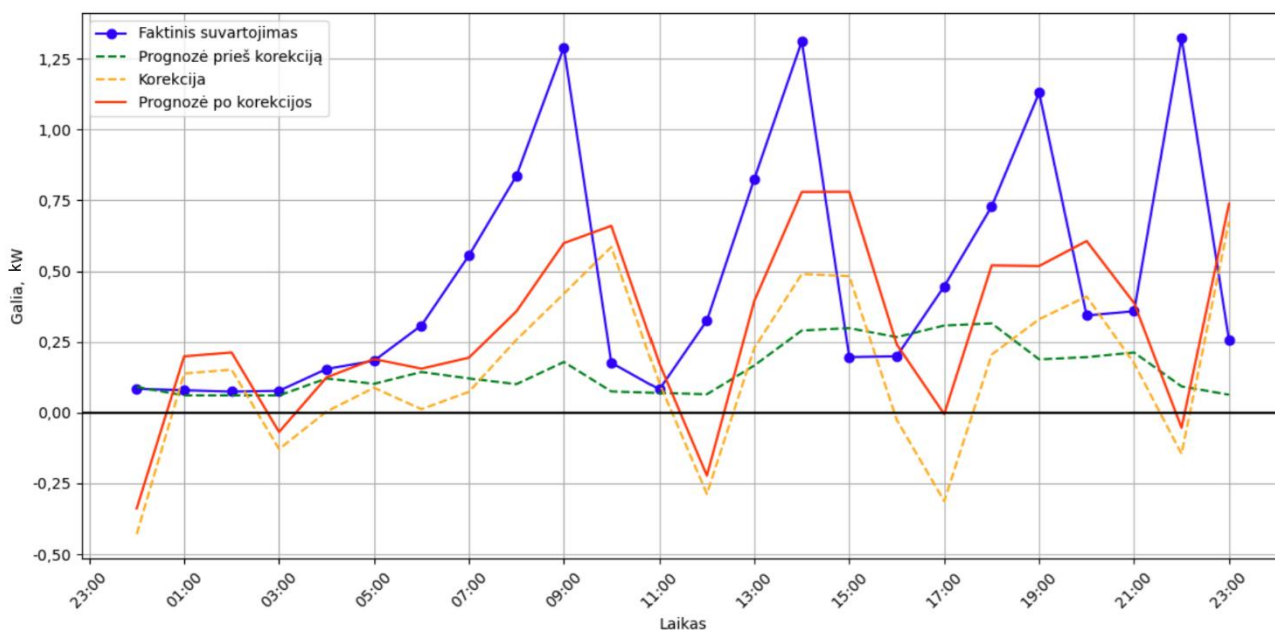
$$p_t = b_t - c_t; \quad (5)$$

čia:  $b_t$  – pradinis kiekis skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh;  $c_t$  – faktinis suvartotos energijos kiekis skaičiuojamą valandą  $t$ , MWh.

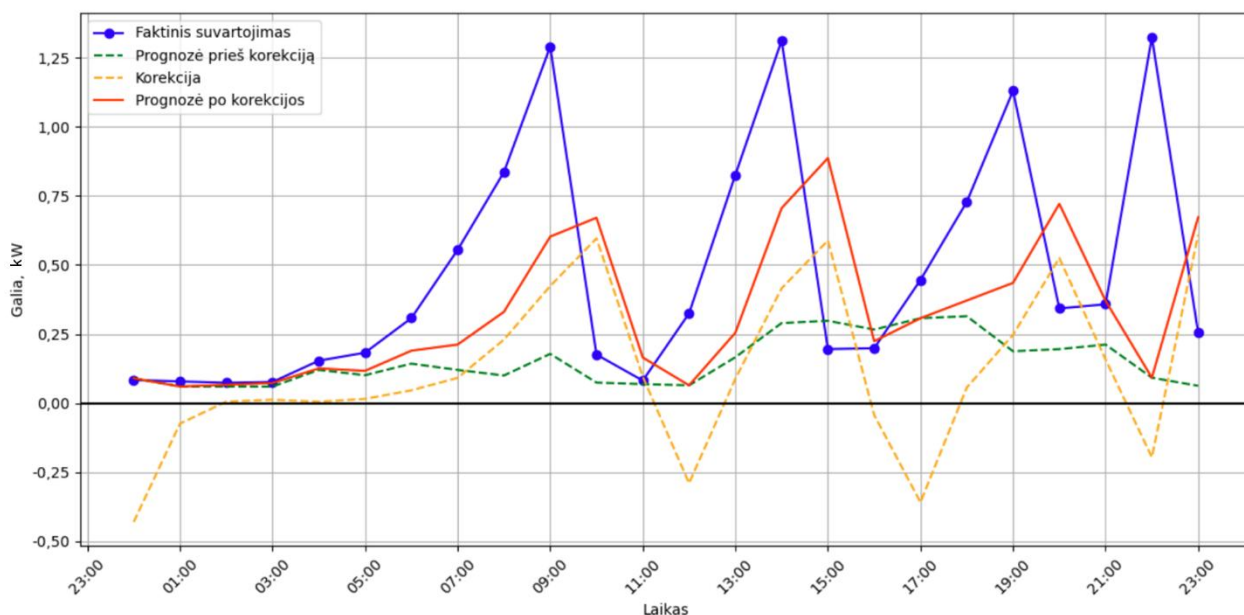
Nesant pakankamai istorinių duomenų imama mažesnis skaičius praeities dienų (darbo dienoms 5 vietoj 10, o ne darbo dienoms 4 vietoj 5), o esant dar mažesniai istorinių duomenų skaičiui pradinis energijos kiekis sulyginamas su praėjusios valandos faktiniu suvartojimu (pritaikomas prognozės matuojant prieš ir po metodus).

### 3.2. Lietuviška metodika įvertinus neigiamas prognozes

Dėl TDK galimi atvejai, kai pradinis energijos vartojimo kiekis nustatomas neigiamas. Taip nutinka, kai einamąją valandą TDK būna neigiamas (praėjusias dvi valandas prognozuotas pradinis kiekis didesnis už faktinį vartojimą), o jo modulio vertė didesnė už istoriniais duomenimis nustatytą pradinį kiekį. Išvengiant prognozuojamos neigiamos vartojimo reikšmės tyrimo apimtyje suformuota nauja metodika įvedus taisyklę neaprašyta lietuviškoje metodikoje – esant neigiamai prognozės reikšmei TDK prilyginamas 0.



3 pav. 2023-01-27 objekto Nr. 3 prognozė pagal LT originalią metodiką

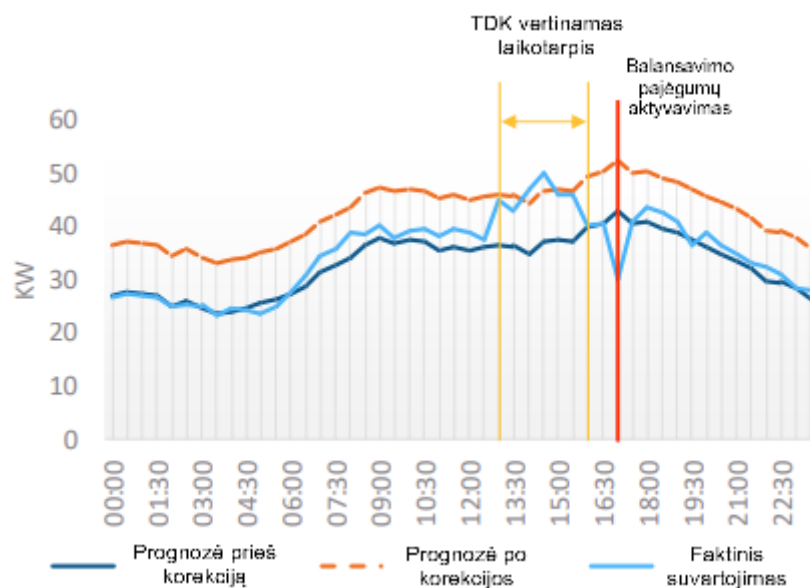


4 pav. 2023-01-27 objekto Nr. 3 prognozė pagal LT pakoreguotą metodiką

### 3.3. Jungtinėje Karalystėje taikoma metodika

Jungtinės Karalystės perdavimo sistemos operatorius NESO, taip pat kaip ir Lietuvos PSO, naudoja istoriniais duomenimis paremtą paprastų taisyklių metodiką [37]. NESO metodikoje taip pat taikomi istoriniai duomenys suskirstyti pagal darbo ir ne darbo dienas. NESO metodikoje darbo dienų pradinio kiekio nustatymui naudojamos nuo penkių iki dešimt praėjusių darbo dienų (priklausomai nuo prieinamų duomenų kiekio). Ne darbo dienoms NESO metodikoje išskiriamos keturios praeities dienos, tačiau skaičiavimams naudojamos tik vidurinės dvi, išrikiavus pagal suvartotos energijos kiekį. Pagrindinis skirtumas yra toks, kad Jungtinėje Karalystėje nenaudojama tos pačios dienos korekcija. JK perdavimo sistemos operatorius įvertino, kad, naudojant TDK, susidaro galimybė tinklų

naudotojams pasinaudoti šia sistema ir nesąžiningai pasipelnėti. Tinklų naudotojui žinant, kad atitinkamą valandą bus aktyvuoti balansavimo pajėgumai (jų vartojimas bus sumažintas), jie gali dirbtinai pasididinti energijos suvartojimą, o aktyvavus balansavimo pajėgumus susimąžinti vartojimą per didesnę kiekį negu be TDK [38].



5 pav. TDK pasinaudojimas nesąžiningam pasipelnymui [38]

### 3.4. Svertinio vidurkio metodika

Elektros energijos suvartojimas labai priklauso nuo lauko oro temperatūros, debesuotumo ir kitų klimatinėjų sąlygų. Šios sąlygos keičiasi kas dieną, bet dažniausiai artimiausių dienų klimatinės sąlygos būna panašesnės negu savaitės prieš. Norint įvertinti šią didesnę artimos praeities įtaką skaičiuojamai dienai, sudarytas svertinio vidurkio modelis. Tai lietuviškos metodikos pakeitimas, pagal kurią skaičiuojant istorinių duomenų pradinį energijos kiekį skaičiuojamas ne aritmetinis rodmenų vidurkis, o svertinis vidurkis, pagal kurį artimesnės praeities dienos turi didesnę įtaką skaičiavimų rezultatams negu tolimesnės praeities dienos.

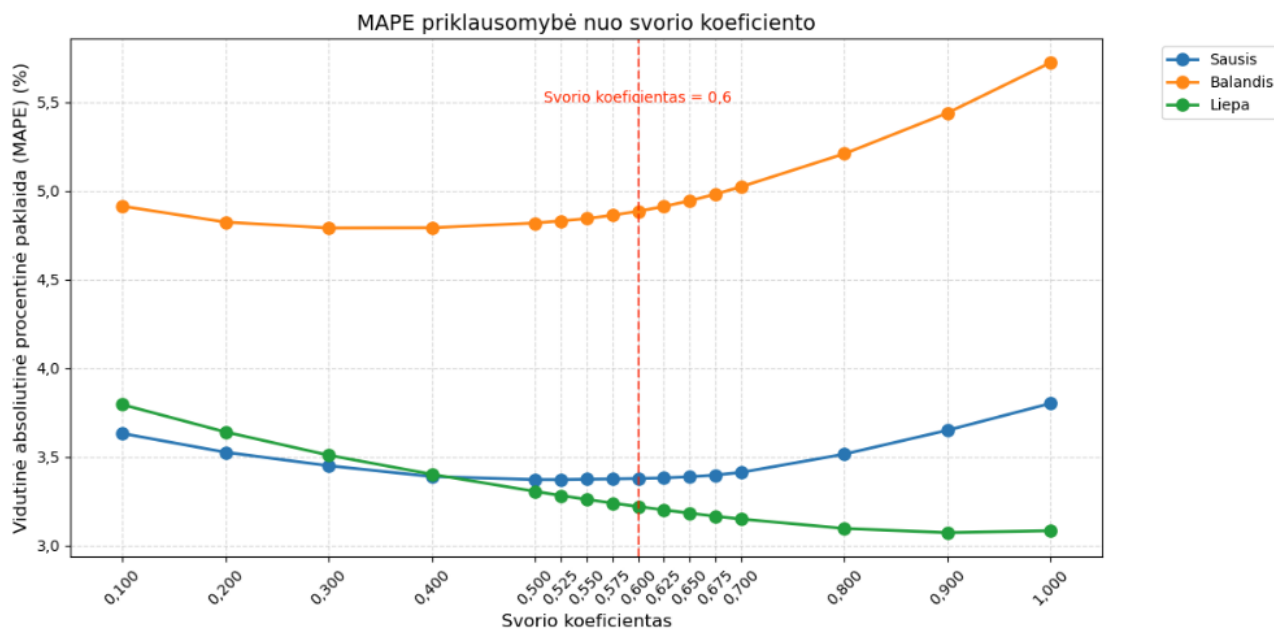
Svorio koeficientas lygus 1-am nurodo, kad kiekviena istorinė diena vertinama vienodai, o žemesnis svorio koeficientas rodo, kad kiekviena tolimesnė diena yra mažiau svarbi nustatant skaičiuojamosios dienos pradinį energijos kiekį. Svertinio vidurkio modelis parengtas Lietuvoje taikomos metodikos istorinių duomenų didžiausių reikšmių vidurkio apskaičiavimo formulę (3) pakeičiant į formulę (6):

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^l (s^{i-1} * c_i)}{\sum_{j=1}^l s^{j-1}}; \quad (6)$$

čia:  $i, j$  – dienų prieš pradinio kiekio skaičiavimą skaičius;  $l$  – istorinių duomenų dienų skaičius (darbo dienoms = 10, ne darbo dienoms = 5);  $c_i$  – prieš  $i$  parų buvusios dienos faktinis suvartotos elektros energijos kiekis skaičiuojamą paros valandą  $t$ , MWh;  $s$  – svorio koeficientas.

Siekiant išsiaiškinti, kokį svorio koeficientą taikyti, atliekant kuo mažiau skaičiavimų, buvo atlikta stambaus žingsnio, paskui smulkaus žingsnio paieškos strategija. Pradiniame etape svorio koeficientas keistas 0,1 žingsniu, o nustačius optimalaus intervalo sritį tie patys skaičiavimai buvo pakartoti 0,025 žingsniu. Skaičiavimai atlikti svorio koeficiento intervale [0,1; 1,0]. Siekiant

sumažinti skaičiavimų kiekį vertinti trys skirtingų sezonų mėnesiai – sausis, balandis ir liepa. Pasirinktas svorio koeficientas lygus 0,6 nes šiuo atveju visų trijų mėnesių vidutinių absoliutinių procentinių paklaidų suma mažiausia.



6 pav. Vidutinės absoliutinės procentinės paklaidos priklausomybė nuo svorio koeficiento

2 lentelė. Vidutinės absoliutinės procentinės paklaidos priklausomybė nuo svorio koeficiento

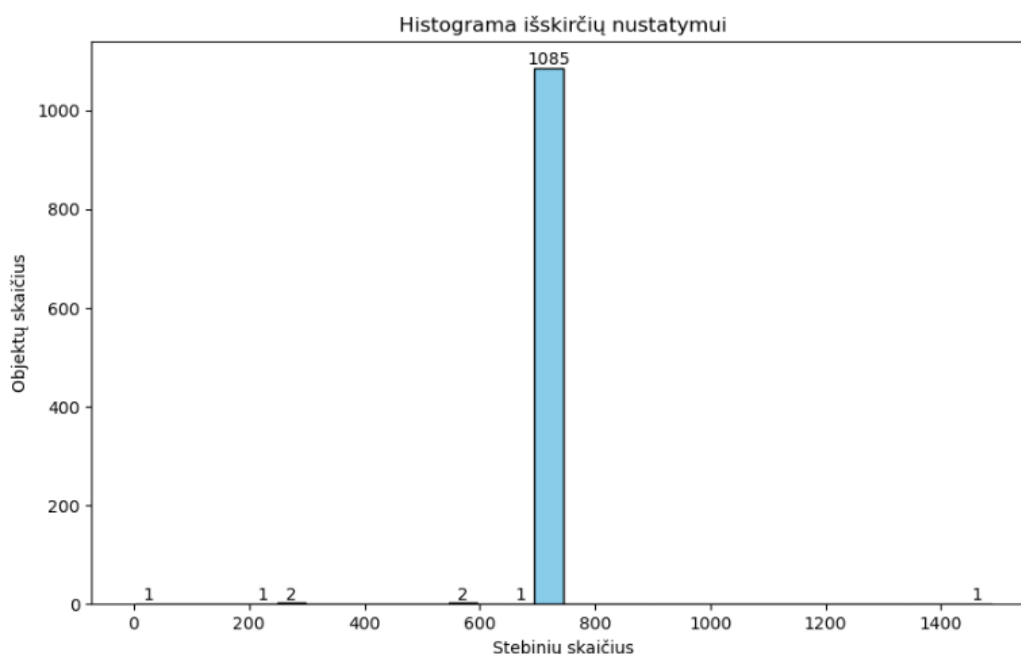
Svorio koeficientas	Sausio mėnesio MAPE, %	Balandžio mėnesio MAPE, %	Liepos mėnesio MAPE, %	Suminis MAPE, %
0,100	3,63	4,91	3,79	12,33
0,200	3,53	4,82	3,64	11,99
0,300	3,45	4,79	3,51	11,75
0,400	3,39	4,79	3,40	11,58
0,500	3,37	4,82	3,31	11,50
0,525	3,37	4,84	3,28	11,49
0,550	3,38	4,84	3,27	11,49
0,575	3,38	4,86	3,24	11,48
0,600	3,38	4,88	3,22	11,48
0,625	3,38	4,91	3,20	11,49
0,650	3,39	4,94	3,18	11,51
0,675	3,40	4,98	3,17	11,55
0,700	3,41	5,02	3,15	11,58
0,800	3,52	5,21	3,10	11,83
0,900	3,65	5,44	3,07	12,16
1,000	3,80	5,72	3,08	12,60

#### 4. Duomenys

Duomenys gauti iš Lietuvos atvirų duomenų portalo [39]. Energijos skirstymo operatorius per atvirų duomenų platformą pateikia buitinių vartotojų automatizuotų apskaitų neagreguotus valandinius elektros energijos vartojimo duomenis mėnesio imčiai. Pateikti duomenys yra atsitiktinės statistiškai reikšmingos imties suskirstytos pagal regionus ir objekto tipą (išskiriami gaminantys vartotojai, nutolę gaminantys vartotojai ir paprasti vartotojai). Tyrime analizuoti vienerių metų duomenys 2023–2024 metų rėžyje. Pasirinkti aktualiausi pilnų metų duomenys – rengimo metu 2024 metų duomenys nustoti viešinti spalio mėnesį, dėl to pasirinktas 2023–2024 metų rėžis. Kadangi duomenys teikiami mėnesio apimtimi, analizuojami 12 skirtingų duomenų masių. Kadangi kiekvieno mėnesio duomenys yra atsitiktinės imties, lyginami ne konkretūs objektai, bet atitinkamai išskaidytos grupės.

Mėnesio imtyje, stebint pradinio kiekio nustatymo metodikos atitikimą, susiduriama su ribojimu dėl tyrimui prieinamų duomenų – pradinės elektros energijos paklausos nustatymo negalima pritaikyti pirmoms mėnesio dienoms. Pagal lietuvišką pradinės paklausos nustatymo metodiką reikalingi mažiausiai 5 darbo dienų ir 4 nedarbo dienų istoriniai duomenys. Pagal metodiką dienoms, kurios neturi pakankamai istorinių duomenų, pradinio kiekio prognozė turėtų būti lygi praėjusios valandos reikšmei (matavimas prieš ir po), tačiau šiame darbe šios valandos tiesiog nepaisomos ir joms prognozė neskaičiuojama. Prognozės prilyginimas praėjusios valandos reikšmei stipriai sumažintų prognozės tikslumą [40]. Tyrimas apribotas vieno mėnesio duomenų apimtimi, o realiame pritaikyme elektros sistemos operatoriai neturėtų tokio apribojimo, dėl to prognozės rezultatų prastinimas prilyginant prognozė praėjusios valandos reikšmei yra netikslingas.

2023 metų sausio mėnesio duomenyse yra pateikiami 1093 buitinių klientų duomenys. Didžioji dalis objektų turi 744 stebinius (31 diena x 24 valandos), tačiau 8 iš jų dėl duomenų kokybės klaidų turi kitokį skaičių stebinių. Šie objektai pašalinami iš duomenų masyvo ir nenaudojami skaičiavimuose. Po išskirčių nustatymo sausio mėnesio duomenų masyve liko 1085 objektai.



7 pav. Sausio mėnesio duomenų išskirčių nustatymas

Eliminavus išskirtis, sausio mėnesio duomenų masyve liko 910 paprastų vartotojų objektų, 133 gaminantys vartotojai ir 42 nutolę gaminantys vartotojai.

Analogiškai nustačius išskirtis kiekvieno mėnesio duomenų masyve lieka objektai, pateikti 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Objektų skaičius pagal tipą kiekvieną mėnesį eliminavus išskirtis

Mėnesis	Objektų skaičius	Gaminantys vartotojai	Nutolę gaminantys vartotojai	Paprasti vartotojai
Sausis	1085	133	42	910
Vasaris	1089	133	42	914
Kovas	1088	133	42	913
Balandis	1089	133	42	914
Gegužė	1091	133	42	916
Birželis	1094	133	42	919
Liepa	1092	133	42	917
Rugpjūtis	1093	133	42	918
Rugsėjis	1093	133	42	918
Spalis	1090	133	42	915
Lapkritis	1091	132	42	917
Gruodis	1090	133	42	915

Kiekvieno mėnesio objektai atskirai suskirstomi į 5 grupes pagal suvartotą energiją. Dėl to, kad gaminančių vartotojų energijos vartojimo profilis ženkliai skiriasi nuo kitų vartotojų, jie išskiriami į dar vieną atskirą grupę. Suvartotos energijos kvantiliai kiekvieną mėnesį atvaizduoti 4 lentelėje.

**4 lentelė.** Objektų suskirstymas pagal per mėnesį suvartotos energijos kvantilius

Mėnesis	Q1		Q2		Q3		Q4		Q5		GV
	Sk.	Ribos, kWh	Sk.	Ribos, kWh	Sk.	Ribos, kWh	Sk.	Ribos, kWh	Sk.	Ribos, kWh	Sk.
Sausis	191	0,00–72,29	190	72,29–116,97	190	116,97–174,88	190	174,88–275,20	191	275,20–2973,02	133
Vasaris	192	0,00–61,98	191	61,98–101,83	191	101,83–148,20	191	148,20–232,19	191	232,19–2406,98	133
Kovas	191	0,00–68,00	191	68,00–110,73	191	110,73–167,25	191	167,25–262,10	191	262,10–2093,43	133
Balandis	192	0,00–63,13	191	63,13–107,83	191	107,83–160,17	191	160,17–241,22	191	241,22–1291,29	133
Gegužė	192	0,00–66,81	191	66,81–112,07	192	112,07–166,22	191	166,22–238,35	192	238,35–807,32	133
Birželis	193	0,00–66,70	192	66,70–107,92	192	107,92–158,47	192	158,47–224,91	192	224,91–1462,20	133
Liepa	192	0,00–71,91	192	71,91–116,56	191	116,56–167,62	192	167,62–237,17	192	237,17–2086,51	133

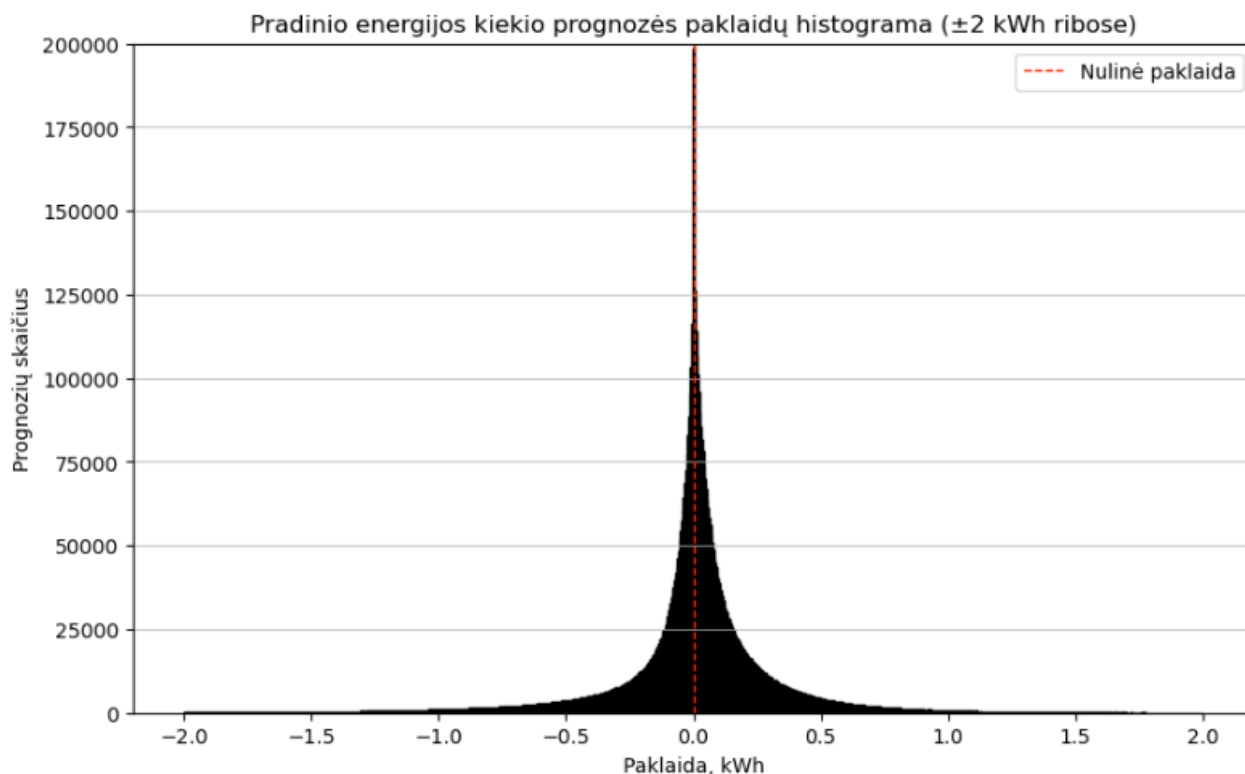
<b>Rugpjūtis</b>	192	0,00– 75,96	192	75,96– 118,71	192	118,71– 166,00	192	166,00– 237,33	192	237,33– 1331,08	133
<b>Rugsējis</b>	192	0,00– 70,36	192	70,36– 109,59	192	109,59– 161,65	192	161,65– 224,30	192	224,30– 746,14	133
<b>Spalis</b>	192	0,00– 74,04	191	74,04– 121,52	192	121,52– 174,82	190	174,82– 265,47	192	265,47– 1671,18	133
<b>Lapkritis</b>	192	0,00– 70,65	192	70,65– 114,74	191	114,74– 172,17	192	172,17– 272,44	192	272,44– 2132,26	132
<b>Gruodis</b>	192	0,00– 81,01	191	81,01– 136,62	191	136,62– 197,01	191	197,01– 303,84	192	303,84– 2192,84	133

## 5. Rezultatai

### 5.1. Lietuvoje taikoma metodika

#### 5.1.1. Paklaidų pasiskirstymas

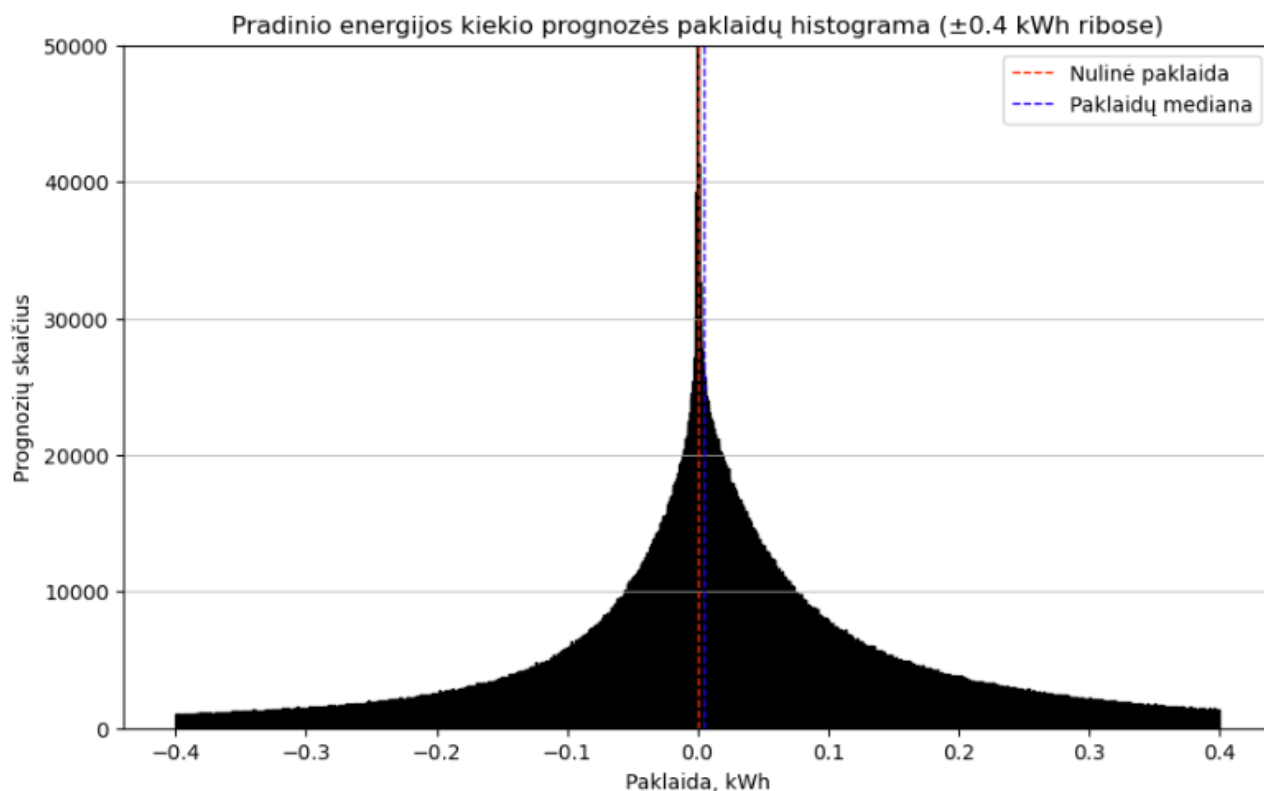
Pritaikius lietuvišką pradinės elektros energijos paklausos nustatymo metodiką, gauta paklaidų histograma, pateikta 8 paveiksle.



8 pav. LT originalios metodikos paklaidų histograma

Histograma apribota iki  $\pm 2$  kWh – prognozių, netelpančių šiose ribose, skaičius 25192, tai atitinka 0,37 % reikšmių. Histogramos atvaizdavimas taip pat apribotas y ašyje iki 200000 prognozių.

Matoma, kad didelė dalis prognozių turi mažą arba nulinę paklaidą. Histograma vizualiai centruota, dėl to galima teigti, kad prognozės maždaug tiek pat pervertina ir nuvertina realų energijos suvartojimą. Histogramos nešališkumą taip pat galima įvertinti atsižvelgiant į suminius pervertinimo (teigiama paklaida) ir nuvertinimo (neigiama paklaida) kiekius. Šios metodikos paklaidos yra 662,127 MWh pervertintos energijos ir 657,816 MWh nuvertintos energijos – 4,310 MWh suminis pervertinimas. Įvertinus visus rodmenis, kuriems buvo atlikta prognozė, tai tik 0,17 % tinklais patiektos energijos. Paklaidų mediana, kuri naudota vietoj vidurkinės paklaidų reikšmės siekiant apsaugoti nuo išskirčių, taip pat labai menkai pasislinkusi į teigiamų paklaidų pusę, pavaizduota 9 paveiksle.



9 pav. Priartinta LT originalios metodikos paklaidų histograma

Pritaikius LT originalią metodiką kiekvienam mėnesiui, 5 lentelėje matoma, kad prognozė labiausiai pervertina suvartojimą kovo ir balandžio mėnesiais, o labiausiai nuvertina spalio ir lapkričio mėnesiais.

5 lentelė. LT originalios metodikos prognozės pervertinimas pagal mėnesius

Mėnesis	Pervertinimas (+) arba nuvertinimas (-), %
Sausis	1,10
Vasaris	0,02
Kovas	3,46
Balandis	3,35
Gegužė	1,61
Birželis	0,21
Liepa	-0,61
Rugpjūtis	0,00
Rugsėjis	-0,41
Spalis	-3,39
Lapkritis	-5,25
Gruodis	2,62

### 5.1.2. Tikslumas

Prognozės tikslumui nustatyti taikoma vidutinės absoliutinės procentinės paklaidos kriterijus (MAPE). MAPE skaičiuojamas agreguotiems visų objektų duomenims. Pagal *Centre for Net Zero* tyrėjus istoriniais duomenimis paremtos paprastų taisyklių metodikos pasiekia ~5 % MAPE reikšmes. MAPE agreguotiems duomenims skaičiuojamas pagal (7) formulę:

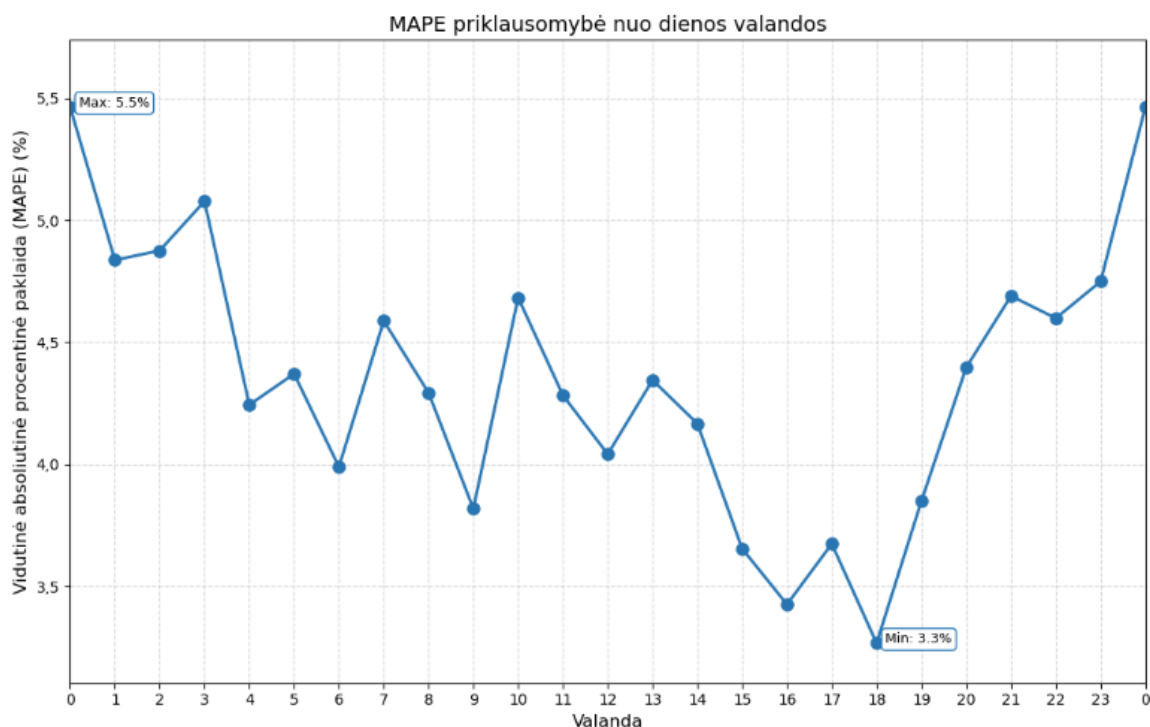
$$MAPE = 100 * \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^h b_i - \sum_{i=1}^h c_i}{\sum_{i=1}^h c_i} \right|}{h}, \quad (7)$$

čia: *MAPE* – vidutinė absoliutinė procentinė paklaida, %; *h* – skirtingų valandų, kurioms skaičiuojamas pradinis energijos kiekis, skaičius; *i, j* – skaičiuojamoji valanda; *b* – pradinis energijos kiekis, MWh; *c* – faktinis suvartojimas, MWh.

LT originalios metodikos MAPE = 4,31 %.

#### 5.1.2.1. Tikslumas pagal dienos valandas

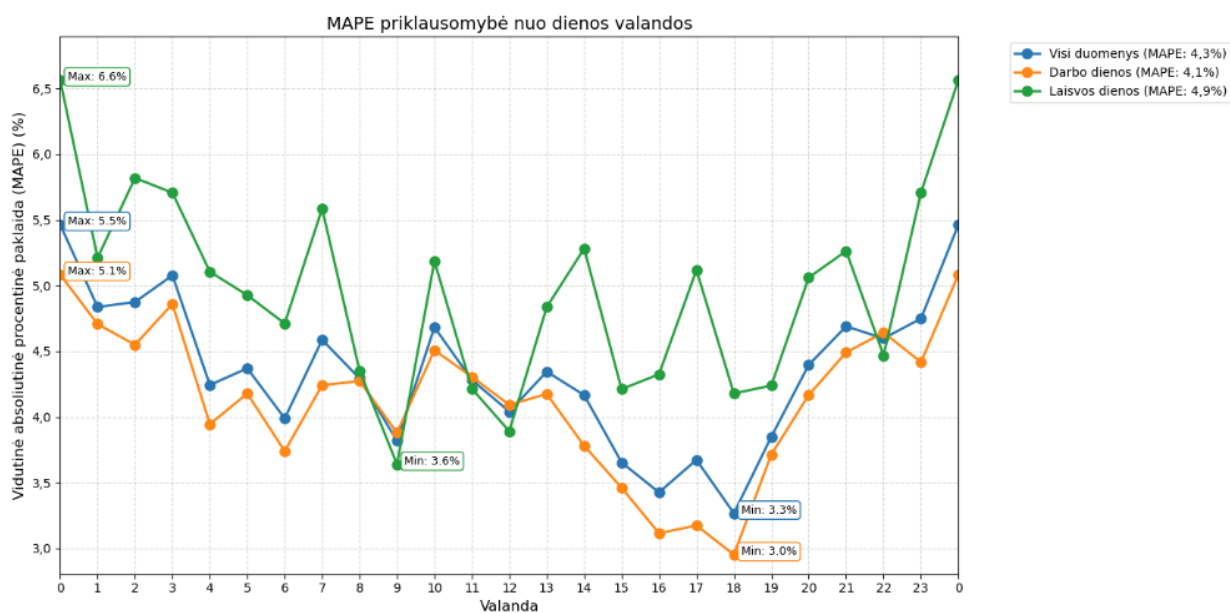
Didžiausios klaidos prognozėje daromos prognozuojant nakties valandas, o tiksliausios prognozės pasiekiamos 18 h. Didžiausios paklaidos laikas nesutampa su maksimalaus vartojimo valandomis (įprastai tai ~7-9 h ryte ir ~17-19h vakare). Valandinis paklaidų grafikas nurodo, kada vartojimas ne pastovus, sunkiai prognozuojamas remiantis istoriniais duomenimis. Tipinėmis naktimis vartojimas žemas, dėl to išskirtinių naktų didesnis vartojimas sukelia santykinai didesnę paklaidą.



10 pav. LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo dienos valandos

Lyginant paklaidų vertes dienos eigoje darbo dienomis ir laisvomis dienomis matoma, kad bendra paklaidų kreivė panaši į darbo dienų paklaidų kreivę. Taip gali būti dėl to, jog darbo dienų metuose yra daugiau nei laisvų dienų, taigi, darbo dienų tendencijos sudaro didelę įtaką bendriems rezultatams. Laisvų dienų paklaidų kreivė dienos valandomis nekinta tendencingai, svyruoja 3,6 % ir 5,4 % ribose.

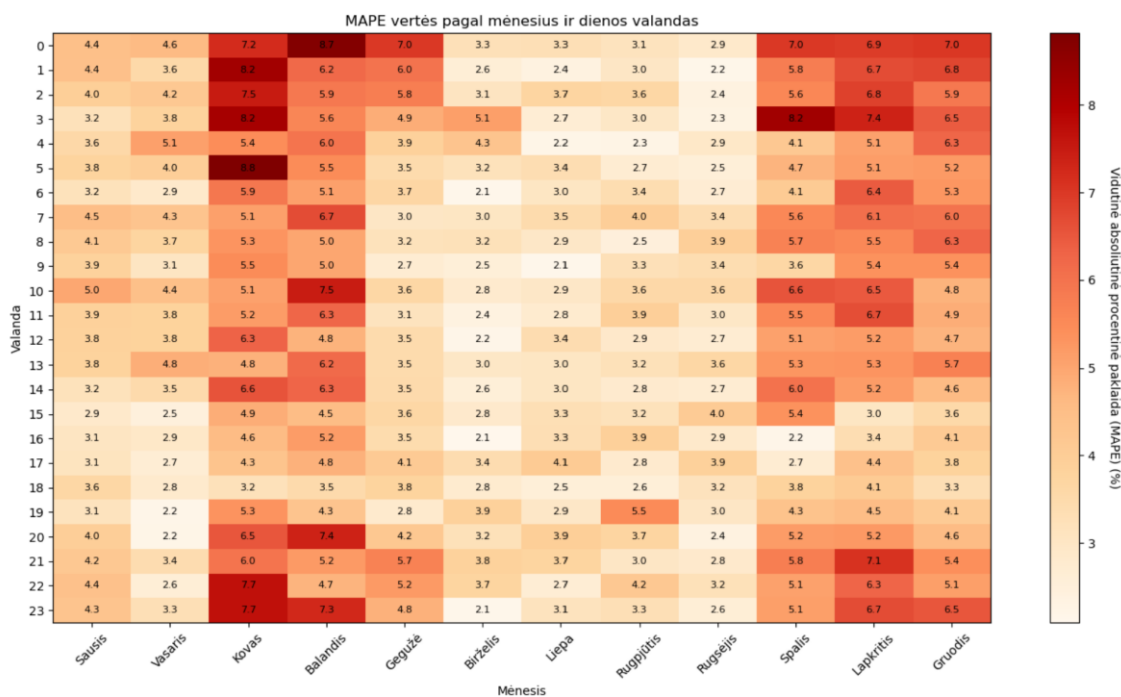
Laisvadienių paklaidos kreivė parodo, kad laisvomis dienomis energijos suvartojimas yra mažiau tendencingas ir dėl to prasčiau prognozuojamas, negu darbo dienomis.



11 pav. LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo dienos valandos ir dienos tipo

### 5.1.2.2. Tikslumas pagal metų mėnesius

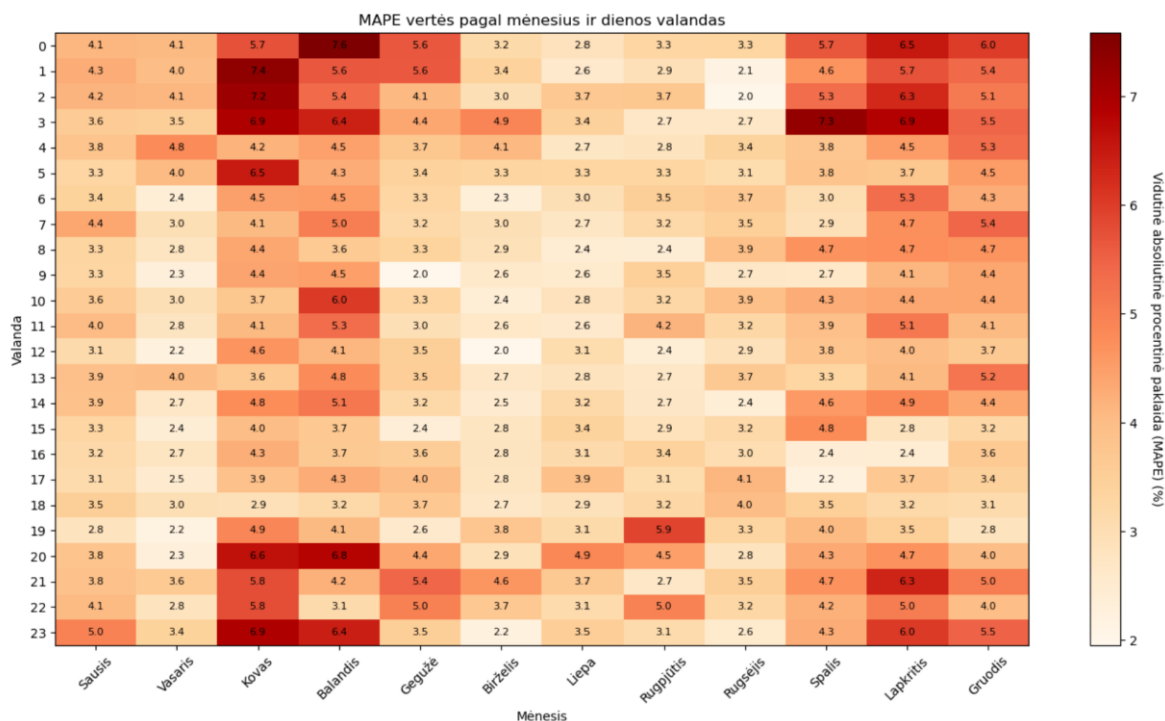
Skaidant LT originalios metodikos paklaidas pagal metų mėnesius matoma, kad LT originali metodika tiksliausia sausio-vasario bei birželio-rugsėjo mėnesiais. Duomenys pateikti 12 paveiksle.



12 pav. LT originalios metodikos MAPE vertės pagal mėnesius ir dienos valandas

Prie aukštų pavasario paklaidų didele dalimi prisideda gaminantys vartotojai. Eliminavus juos iš duomenų imties, kovo ir balandžio mėnesio MAPE pamažėja daugiau nei per 0,5 %. Taip pat pagerėja

ir spalio-gruodžio mėnesių reikšmės. Vėlyvo rudens ir žiemos mėnesiais gaminančių vartotojų saulės elektrinės negeneruoja energijos, dėl to rodmenys turėtų nepagerėti, tačiau galima daryti prielaidą, jog gaminantys vartotojai turi įrenginių kaip energijos kaupimo įrenginiai, šilumos siurbliai ar elektromobilių krovimo stotelės, kurių prognozavimas istoriniais duomenimis grįstomis paprastų taisyklių metodikomis yra sudėtingesnis [41, 34].



13 pav. LT originalios metodikos MAPE vertės pagal mėnesius ir dienos valandas, skaičiuojant be gaminančių vartotojų

6 lentelė. Gaminančių vartotojų įtaka LT originalios metodikos MAPE vertei

Mėnesis	MAPE, vertinant gaminančius vartotojus, %	MAPE, nevertinant gaminančių vartotojų, %	MAPE skirtumas, %
Sausis	3,80	3,69	0,11
Vasaris	3,50	3,10	0,4
Kovas	6,05	5,04	1,01
Balandis	5,72	4,85	0,87
Gegužė	4,10	3,73	0,37
Birželis	3,05	3,04	0,01
Liepa	3,08	3,14	-0,06
Rugpjūtis	3,30	3,34	-0,04
Rugsėjis	3,00	3,17	-0,17
Spalis	5,10	4,09	1,01
Lapkritis	5,62	4,69	0,93
Gruodis	5,24	4,46	0,78
<b>Bendras MAPE</b>	<b>4,31</b>	<b>3,87</b>	

### 5.1.2.3. Tikslumas pagal vartotojų tipą

Istoriniais duomenimis grįstos paprastų taisyklių metodikos yra mažiau tikslios jas taikant mažesniame kiekiu vartotojų. Esant mažesniame vartotojų skaičiui jų suminis vartojimo kiekis sumažėja, dėl to išskirtinės didesnio arba mažesnio vartojimo dienos turi didesnę įtaką procentinei paklaidos vertei. Vertinant vienodo dydžio grupes, suskirstytas pagal suvartotos energijos kiekį, matoma, kad didžiausios paklaidos susidaro pirmo kvantilio grupėje. Tai buitiniai vartotojai, kurių mėnesio suvartojamos energijos kiekis yra ribose nuo 0 kWh iki ~70 kWh. Šioje grupėje yra tokie objektai, kaip sodų namai, kurie dalį metų visiškai nevartoja energijos ir dėl to yra sunkiai prognozuojami.

7 lentelė. LT originalios metodikos MAPE priklausomybė nuo vartotojo tipo

Kvantilis	Per mėnesį suvartojama energija, kWh	MAPE, %
Q1	0,00 – 70,24	8,43
Q2	70,24 – 114,59	6,18
Q3	114,59 – 167,87	5,82
Q4	167,87 – 251,21	5,45
Q5	>251,21	6,04

### 5.2. Pakoreguota lietuviška metodika

Skaičiuojant nestabilių pavienių vartotojų pradinę elektros energijos paklausą, susidaro situacijos, kai šis dydis prognozuojamas neigiamas. Siekiant išvengti neigiamos vartojimo prognozės, LT originali metodika pakoreguota numatant, kad, jeigu prognozės reikšmė skaičiuojamąją valandą žemesnė už 0, tada skaičiuojamosios valandos TDK prilyginamas 0, o prognozė perskaičiuojama.

Pritaikius LT pakoreguotą metodiką paaiškėja, kad ši nauja taisyklė blogina rezultatus agreguotiems duomenims. LT pakoreguotos metodikos MAPE = 4,87 % (LT originalios metodikos – 4,31 %). Tikėtina, kad neigiama prognozė pasitaikys esant mažesniame agreguotam suvartojimui, tačiau išanalizavus metodiką matoma, kad prastesni rezultatai išlieka ir prie mažesnio agreguotų vartotojų skaičiaus – LT pakoreguotos metodikos tikslumas prastesnis kiekvienam vartotojų kvantiliui.

8 lentelė. LT pakoreguotos metodikos MAPE priklausomybė nuo vartotojo tipo

Kvantilis	Per mėnesį suvartojama energija, kWh	LT originalios metodikos MAPE, %	LT pakoreguotos metodikos MAPE, %
Q1	0,00 – 70,24	8,43	9,04
Q2	70,24 – 114,59	6,18	6,63
Q3	114,59 – 167,87	5,82	6,20
Q4	167,87 – 251,21	5,45	5,85
Q5	>251,21	6,04	6,20

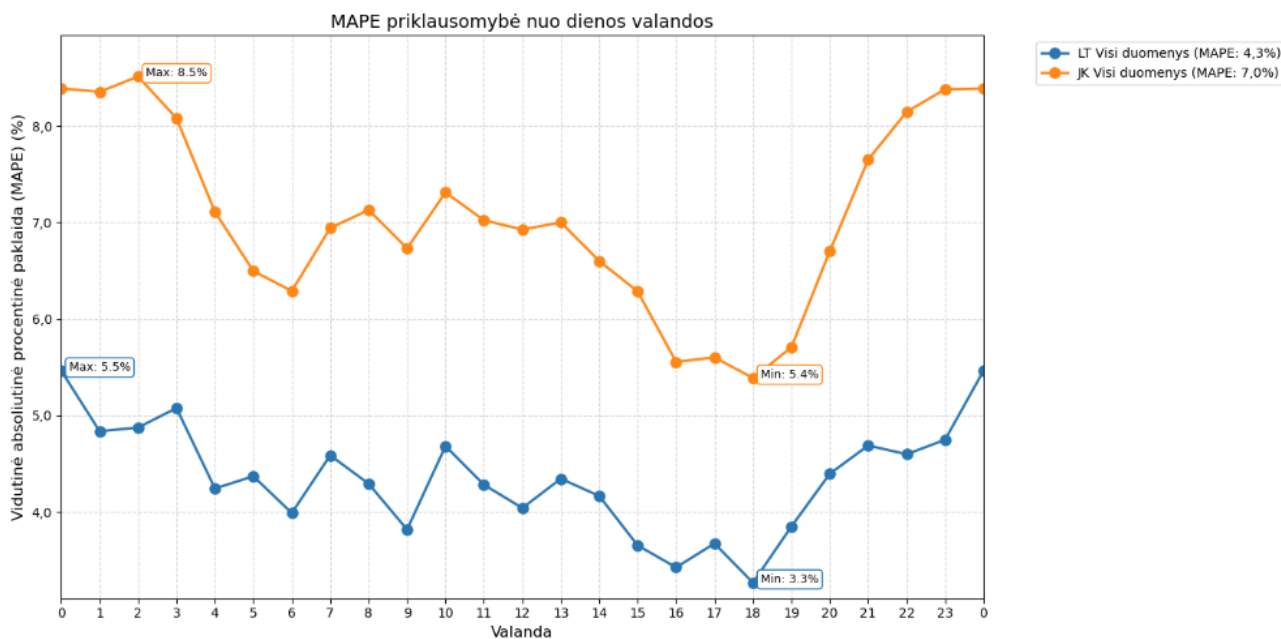
Nepaisant to, kad agreguotiems duomenims ši metodikos korekcija netaikytina, ji gali būti naudinga paviniams didelės galios sunkiai prognozuojamiems vartotojams. Tai gali būti elektromobilių krovimo stotelių parkas – jų suvartojamos energijos kreivė kinta staigiai, nes vieno krovimo įrenginio galia yra didelė, o jų naudojimas sunkiai prognozuojamas.

### 5.3. Jungtinėje Karalystėje taikoma metodika

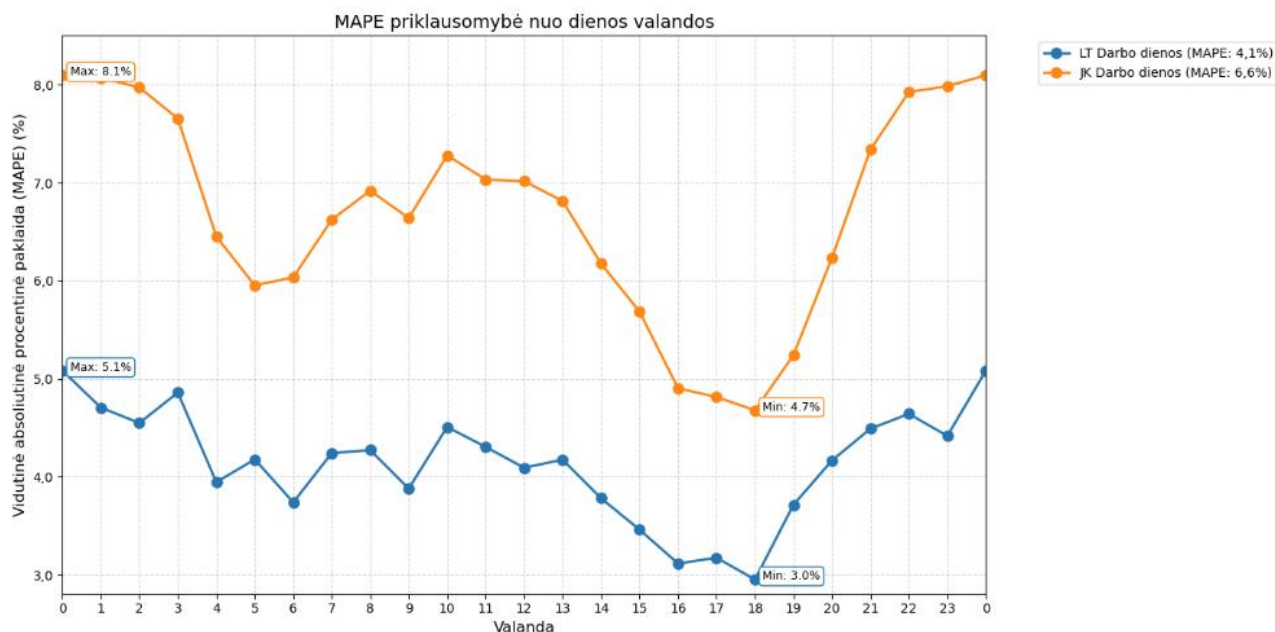
JK metodika, dėl netaikomos TDK ir kitaip nuo LT metodikos skaičiuojamų laisvų dienų prognozių, pasižymi daug mažesniu tikslumu – JK metodikos MAPE lygus 7,01 % (LT metodikos MAPE - 4,31 %).

Pagrindinis skirtumas tarp Jungtinėje Karalystėje ir Lietuvoje taikomų metodikų yra tos pačios dienos korekcija. TDK JK metodikoje netaikoma siekiant apsisaugoti nuo nesažiningo pasipelnymo. Dėl TDK netaikymo JK metodika tapo šiek tiek labiau nesažininga – jos suprognuotas energijos suvartojimo kiekis buvo 0,22% didesnis už faktinį suvartojimą (LT originalios metodikos atveju tai 0,17% dydis). Tai mažas skirtumas tarp metodikų šališkumo.

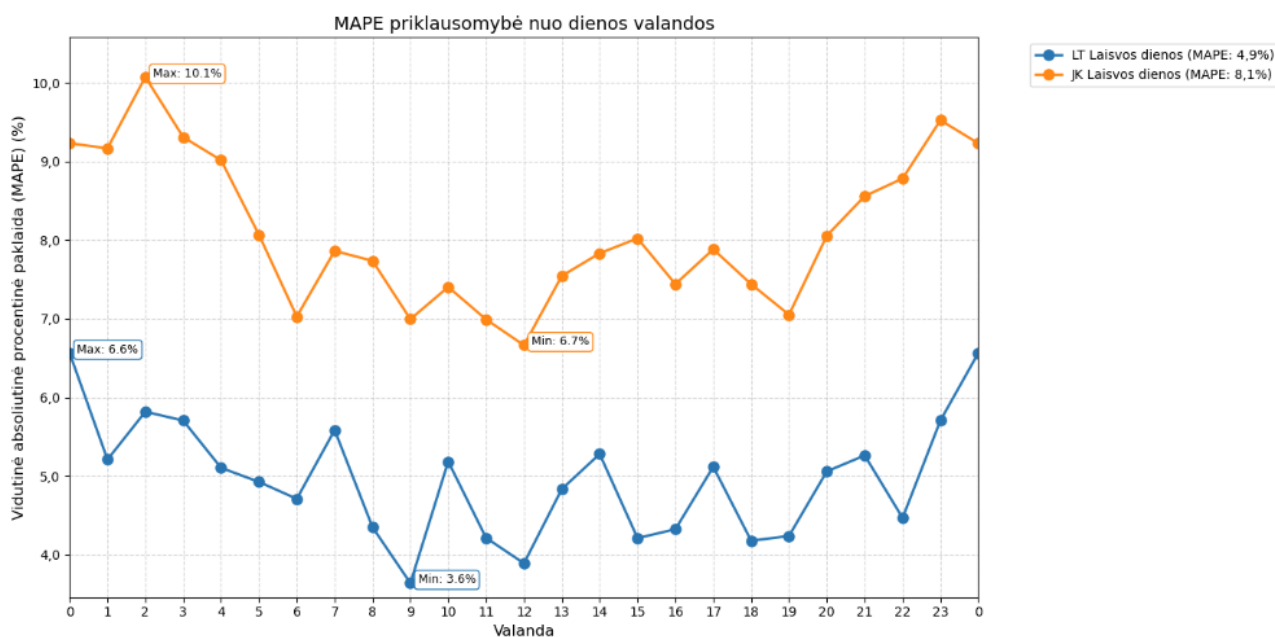
Kitas didelis skirtumas tarp JK ir LT metodikų yra tai, kaip apskaičiuojamos laisvadienių prognozės – LT metodikoje imamos 5 arba 4 istorinės ne darbo dienos, o JK metodikoje iš 4 pastarųjų ne darbo dienų išrenkamos vidurinės dvi, išdėsčius pagal suvartotą energiją. Šis pakitimas neturi teigiamos įtakos JK metodikos rezultatams juos lyginant su LT metodika. Skaidant prognozes pagal dienos tipą (darbo dienos ir laisvadieniai) matoma, kad prognozių tikslumas atitrūkęs nuo LT metodikos per panašų žingsnį visais atvejais. Tai leidžia daryti išvadą, kad JK metodikos skirtumai dėl to, kaip skaičiuojamos ne darbo dienų prognozės lyginant su LT metodika, turi nykstamai mažą įtaką lyginant su tuo, kad JK metodikoje netaikoma TDK.



14 pav. JK ir LT metodikų palyginimas pagal dienos valandas nepaisant dienos tipo



15 pav. JK ir LT metodikų palyginimas pagal darbo dienų valandas

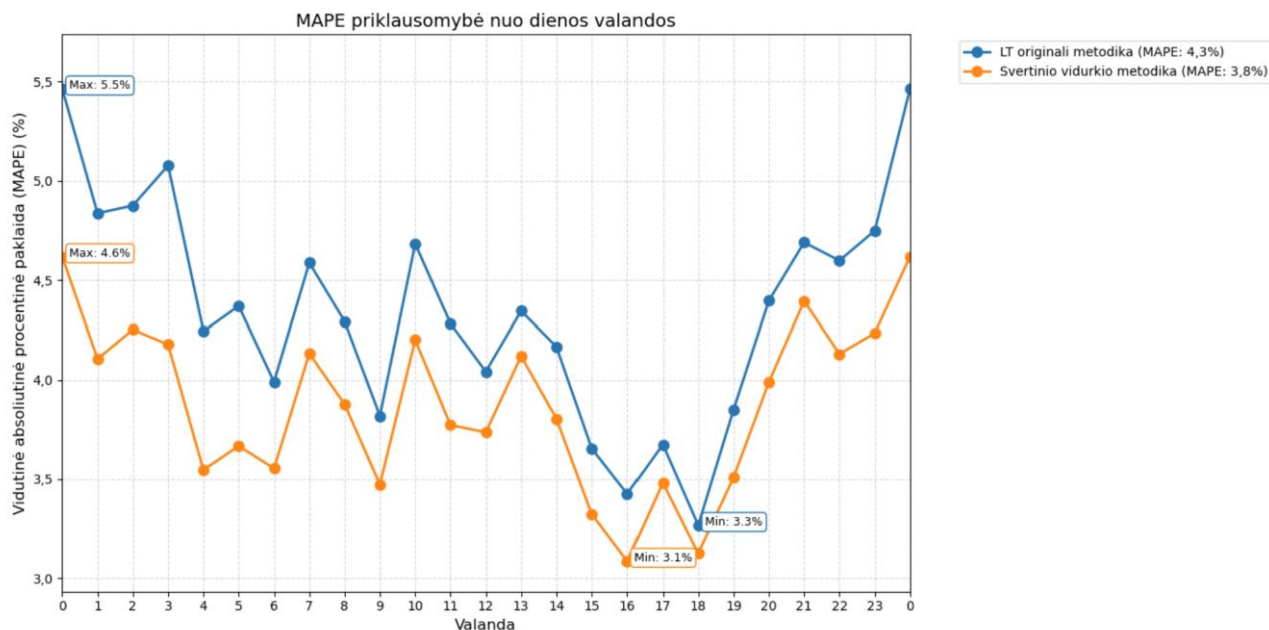


16 pav. JK ir LT metodikų palyginimas pagal ne darbo dienų valandas

#### 5.4. Svertinio vidurkio metodika

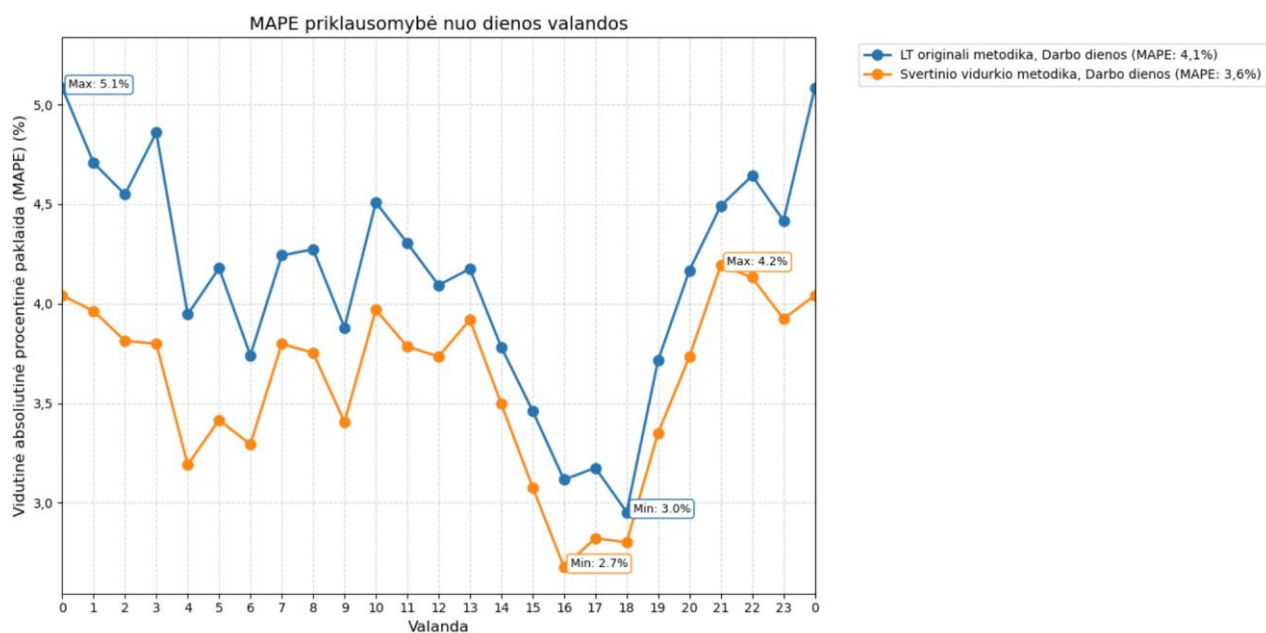
Siekiant įvertinti tai, kad dėl klimatinių sąlygų artimų istorinių dienų energijos suvartojimas tikėtina panašesnis nei prieš 2 savaites buvusių, sudaryta svertinio vidurkio metodika. Pagal šią metodiką, skaičiuojant pradinį energijos kiekį, vertinamas ne praėjusių dienų valandinio maksimalaus suvartojimo aritmetinis vidurkis, bet svertinis vidurkis. Įvertinus trijų skirtingų sezonų mėnesių (sausio, balandžio ir liepos) prognozių vidutines absoliutines procentines paklaidas naudojant skirtingą svorio koeficientą nustatyta, kad optimalus svorio koeficientas lygus 0,6. Pagal svertinio vidurkio metodiką kiekvienos istorinės dienos reikšmė prognozei yra 60 % mažesnė nei prieš ją ėjusios dienos.

Svertinio vidurkio metodo taikant svorio koeficientą lygų 0,6 vidutinė absoliutinė procentinė paklaida visų metų agreguotiems duomenims – 3,85 %. Tai 0,46 procentiniais punktais mažesnė MAPE reikšmė nei LT originalios metodikos (4,31 %).

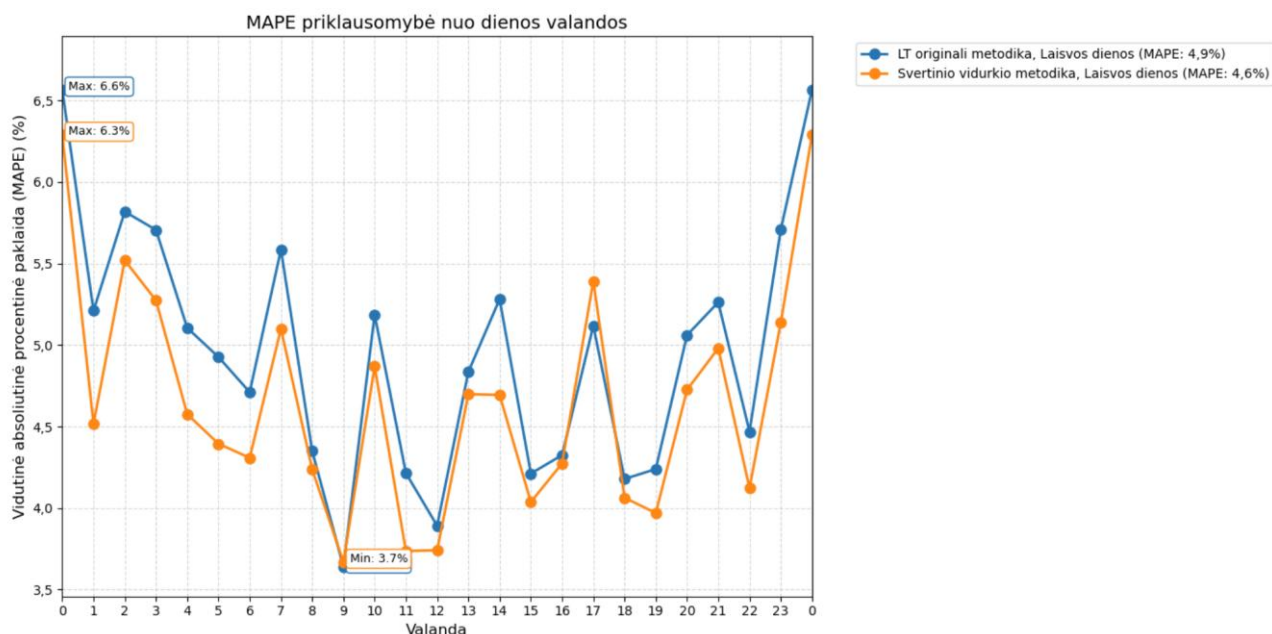


17 pav. LT originalios ir svertinio vidurkio metodikų palyginimas pagal dienos valandas

Skirtumas tarp metodikų tikslumo seka panašią tendenciją darbo dienų duomenims, bet laisvadienių duomenims skirtumas tarp tikslumo yra mažiau ryškus. Taip gali būti dėl to, kad laisvadieniais naudojamų istorinių dienų skaičius yra mažesnis nei darbo dienoms (5 / 4 vietoj 10 / 5), taigi svertinis vidurkis pritaikomas mažesniai skaičiui duomenų.



18 pav. LT originalios ir svertinio vidurkio metodikų palyginimas pagal darbo dienų valandas



19 pav. LT originalios ir svartinio vidurkio metodikų palyginimas pagal ne darbo dienų valandas

Svartinio vidurkio metodikos pranašumas pastebimas vertinant kiekvieno mėnesio MAPE vertes išskyrus birželio - rugsėjo mėnesiais, kuriais vertės maža dalimi didesnės.

9 lentelė. LT originalios ir svartinio vidurkio metodikų palyginimas pagal mėnesius

Mėnesis	LT originalios metodikos MAPE, %	Svartinio vidurkio metodikos MAPE, %	MAPE skirtumas, %
Sausis	3,80	3,38	0,42
Vasaris	3,50	3,35	0,15
Kovas	6,05	4,80	1,25
Balandis	5,72	4,88	0,84
Gegužė	4,10	3,73	0,37
Birželis	3,05	3,20	-0,15
Liepa	3,08	3,22	-0,14
Rugpjūtis	3,30	3,34	-0,04
Rugsėjis	3,00	3,05	-0,05
Spalis	5,10	4,48	0,62
Lapkritis	5,62	4,01	1,61
Gruodis	5,24	4,63	0,61
<b>Bendras MAPE</b>	<b>4,31</b>	<b>3,85</b>	

Svartinio vidurkio metodikos, taip pat kaip ir LT originalios metodikos, tikslumą prastina gaminantys vartotojai. Nevertinant gaminančių vartotojų mėnesinės prognozės vidutiniškai 0,29 % tikslesnės.

Svartinio vidurkio metodikos prognozė yra sąžininga – agregavus metų duomenis, prognozuojamos energijos vertė yra 0,06 % didesnė negu faktinės energijos (LT originalios metodikos atveju, tai 0,17 %).

Svertinio vidurkio metodikos prognozės tikslumo pasiskirstymas pagal vartotojų tipą seka analogišką tendenciją LT originalios metodikos prognozės tikslumui – metodika mažiausiai tiksli prognozuojant mažiausiai energijos suvartojančius vartotojus (Q1 MAPE = 8,54 %), o visų kitų daugiau energijos suvartojančių objektų suvartojimo prognozių MAPE vertė yra ~6 %.

Pridedant svorio koeficiento vertinimą prie LT originalios metodikos, šie skaičiavimai tampa labiau komplikuoti. Tai prastina metodikos vertinimą vienu iš metodikų sudarymo principų – paprastumo – atžvilgiu. Darant skaičiavimus labiau komplikuotus reikia įvertinti, ar gaunama nauda atsveria šio principo nepaisymą. Tyrimo apimtyje svertinio vidurkio metodikos rezultatai vienareikšmiškai geresni už šiuo metu Lietuvoje taikomos pradinės elektros energijos paklausos skaičiavimo metodikos rezultatus. Tyrėjo požiūriu papildomo tikslumo nauda atsveria padidintą sudėtingumą.

## Išvados

1. Pradinė elektros energijos paklausa reikalinga atsiskaitant su balansavimo pajėgumų tiekėjais ir norint nustatyti patiektų balansavimo pajėgumų kiekį. Pagrindiniai principai skaičiuojant pradinę elektros energijos paklausą yra metodikos tikslumas, sąžiningumas, paprastumas ir pritaikomumas. Tyrime analizuotos istoriniais duomenimis pagrįstos paprastų taisyklių metodikos. Mašininio mokymo metodikų papildoma nauda neproporcinga jų sudėtingumui, o kitos metodikos (matuojant prieš ir po, analogiškų vartotojų grupės, deklaratyvaus vartojimo) taikytinos kitokiems duomenims.
2. Lietuvoje taikoma istoriniais duomenimis grįsta paprastų taisyklių metodika, naudojanti maždaug 2 savaitių istorinius duomenis ir taikanti tos pačios dienos korekciją. LT metodika sąžininga – metų apimtyje jos prognozuojamos suvartotos energijos reikšmė tik 0,17 % didesnė už faktinį suvartojimą. LT metodikos vidutinė absoliutinė procentinė paklaida (MAPE) lygi 4,31 %. Metodika netikslingiausia vidurnaktį (MAPE = 5,5 %), o tiksliausia - 18h (MAPE = 3,3 %). LT metodika tikslingiausia sausio-vasario bei birželio-rugsėjo mėnesiais. Prie metodikos netikslumo didele dalimi prisideda gaminantys vartotojai – nevertinant jų, metodikos MAPE visų metų duomenims pamažėja iki 3,87 %. Skaidant vartotojus pagal suvartojamą energijos kiekį, prastėja metodikos tikslumas (agreguojama mažiau duomenų) ir matoma, kad prasčiausiai prognozuojami mažiausiai elektros energijos suvartojantys objektai (iki 70 kWh/mėn).
3. Skaičiuojant pavienių objektų pradinę elektros energijos paklausą, pritaikius tos pačios dienos korekciją, susidaro situacijos, kai prognozuojamas neigiamas suvartotos energijos kiekis. Tačiau metodikos, kuri neleidžia neigiamos vartojimo prognozės, tikslumas agreguotiems duomenims blogesnis už LT originalios metodikos. Įvedus TDK pataisą LT metodikos tikslumas krito, MAPE = 4,87 %. Vertinant tikslumą mažesnėms vartotojų grupėms, metodikos tikslumas lieka prastesnis. Metodika, kuri visai nevertina TDK, dar mažiau tiksli – MAPE = 7,01 %. TDK netaikymas menkai suprastino metodikos sąžiningumą – netaikant TDK prognozuojamos metinės suvartotos energijos kiekis 0,22 % didesnis už faktinį suvartojimą (taikant TDK - 0,17 %).
4. Jungtinėje Karalystėje taikoma metodika nenaudoja TDK siekiant apsaugoti nuo nesąžiningo rinkos dalyvių elgesio. Lietuvoje taikomos metodikos vidutinė absoliutinė procentinė paklaida daug mažesnė nei Jungtinėje Karalystėje taikomos metodikos (4,31 % ir 7,01 %). Jungtinės Karalystės metodikoje įvestas kitoks laisvadienių istorinių duomenų vertinimas neatneša akivaizdžios naudos lyginant su Lietuvoje taikoma metodika.
5. Siekiant įvertinti tai, kad dėl klimatinų sąlygų artimų istorinių dienų energijos suvartojimas tikėtina panašesnis nei prieš 2 savaites buvusių, sudaryta svertinio vidurkio metodika. Pagal šią metodiką, kiekviena diena tolimesnė nuo skaičiuojamosios dienos vertinama su 60% mažesne svarba. Šios metodikos rezultatai vienašališkai geresni už Lietuvoje šiuo metu taikomos metodikos rezultatus (MAPE = 3,85%). Skaičiuojant ne darbo dienų pradinę elektros energijos paklausą, pastebimos mažesnės svertinio vidurkio metodikos naudos. Taip gali būti dėl to, kad skaičiuojant ne darbo dienų prognozę naudojamas mažesnis kiekis istorinių duomenų. Svertinio vidurkio metodika yra dar sąžiningesnė nei Lietuvoje taikoma – pervedinamos metinės energijos kiekis 0,06 % (vietoj 0,17 %). Svertinio vidurkio metodikos tikslumas, taip pat kaip LT metodikos tikslumas, prastėja prognozuojant gaminančius vartotojus ir mažiausiai elektros energijos suvartojančius objektus.

## Literatūros sąrašas

1. Shaikh, R. A., Vowles, D. J., Allison, A., & Abbott, D. (2023). Evaluation of Australia's Generation-Storage Requirements in a Fully Renewable Grid with Intermittent and Flexible Generation. *IEEE Access*, *11*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3286037>
2. Earle, L., Maguire, J., Munankarmi, P., & Roberts, D. (2022). The impact of energy-efficiency upgrades and other distributed energy resources on a residential neighborhood-scale electrification retrofit. *Applied Energy*, *329*.
3. European Smart Grids Task Force, Demand side flexibility: final report, 2019, [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-05/eg3final\\_report\\_demand\\_side\\_flexibility\\_2019.04.15\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-05/eg3final_report_demand_side_flexibility_2019.04.15_0.pdf)
4. Kumar, G.V.B.; Sarojini, R.K.; Palanisamy, K.; Padmanaban, S.; Holm-Nielsen, J.B. Large Scale Renewable Energy Integration: Issues and Solutions. *Energies* 2019. <https://doi.org/10.3390/en12101996>
5. European Heat Pump Association, European Heat Pump Market and Statistics Report 2023.
6. European Environment Agency, New registrations of electric vehicles in Europe, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>
7. Porteiro R., Hernández-Callejo L., Nesmachnow S. (2020). Electricity demand forecasting in industrial and residential facilities using ensemble machine learning. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 10.17533/udea.redin.20200584.
8. Ruiz-Abellón, M. C., Fernández-Jiménez, L. A., Guillamón, A., Falces, A., García-Garre, A., & Gabaldón, A. (2020). Integration of Demand Response and Short-Term Forecasting for the Management of Prosumers' Demand and Generation. *Energies (Basel)*, *13*(1), 11-. <https://doi.org/10.3390/en13010011>
9. VERT, AB ESO, Pasinaudojimo elektros skirstomaisiais tinklais tvarkos aprašas, <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/6b7bf270282911efb121d2fe3a0eff27?jfwid=c2vttc8ho>
10. Cozzolino, R., & Bella, G. (2024). A review of electrolyzer-based systems providing grid ancillary services: current status, market, challenges and future directions. *Frontiers in Energy Research*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1358333>
11. ENTSOE, Manually acticated reserves initiative. Tikrina 2025-04-06: [https://www.entsoe.eu/network\\_codes/eb/mari/](https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/mari/)
12. ENTSOE, Platform for the International Coordination of Automated Frequency Restoration and Stable System Operation, Tikrinta 2025-04-06: [https://www.entsoe.eu/network\\_codes/eb/picasso/](https://www.entsoe.eu/network_codes/eb/picasso/)
13. NORD POOL, Euronext and Nord Pool announce Nordic and Baltic Power Futures market, Tikrinta 2025-04-11 <https://www.nordpoolgroup.com/en/message-center-container/newsroom/exchange-message-list/2024/q3/euronext-and-nord-pool-announce-nordic-and-baltic-power-futures-market/>
14. C. Mittler, M. Bucksteeg, P. Staudt, Review and morphological analysis of renewable power purchasing agreement types, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 211, 2025, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115293>
15. B. Vargas, Balansavimo rinkos. <https://medium.com/@brandonvar/balancing-markets-b276be34e173>

16. LITGRID, Baltijos balansavimo pajėgumų rinkos pirkimo optimizavimo funkcijos dokumentacija.  
Tikrinta 2025-01-18. <https://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/balansavimo-rinka/baltijos-balansavimo-pajegumu-rinkos-pirkimo-optimizavimo-funkcijos-dokumentacija/33130>
17. LITGRID, Baltic Balancing market rules Appendix A. <https://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/balansavimo-rinka/31281>
18. LITGRID, Baltic balancing market rules, 2020m. gruodžio redakcija. <https://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/balansavimo-rinka/31281>
19. LITGRID, Baltic CoBA Imbalance Settlement Rules, 2021m. rugsėjo redakcija. <https://www.litgrid.eu/index.php/elektros-rinka/balansavimo-rinka/31281>
20. AHMED, E. M. *et al.* A Comprehensive Analysis of Demand Response Pricing Strategies in a Smart Grid Environment Using Particle Swarm Optimization and the Strawberry Optimization Algorithm. *Mathematics* (2227-7390), [s. l.], v. 9, n. 18, p. 2338, 2021. DOI 10.3390/math9182338.
21. Ramos, A. (2019). Consumer Access to Electricity Markets: the Demand Response Baseline. 2019 16th International Conference on the European Energy Market (EEM), 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEM.2019.8916212>
22. DNV GL, Baseline Methodology Assessment DNV GL doc No: 1025166001, 2020.
23. Tuo Xie, Yang Su, Gang Zhang, Kaoshe Zhang, Hua Li, Ruogu Wang, Optimizing peak-shaving cooperation among electric vehicle charging stations: A two-tier optimal dispatch strategy considering load demand response potential, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 162, 2024, 110228, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110228>
24. M. H. Moradi, A. R. Reisi and S. M. Hosseinian, "An Optimal Collaborative Congestion Management Based on Implementing DR," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 5, pp. 5323-5334, Sept. 2018, doi: 10.1109/TSG.2017.2686875
25. Shewale, A., Mokhadde, A., Funde, N., & Bokde, N. D. (2020). An Overview of Demand Response in Smart Grid and Optimization Techniques for Efficient Residential Appliance Scheduling Problem. *Energies (Basel)*, 13(16), 4266-. <https://doi.org/10.3390/en13164266>
26. F. Liberati, A. D. Giorgio, A. Giuseppi, A. Pietrabissa, E. Habib and L. Martirano, "Joint Model Predictive Control of Electric and Heating Resources in a Smart Building," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 6, pp. 7015-7027, Nov.-Dec. 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2932954.
27. International Energy Agency (IEA), Demand response. Žiūrėta 2025-03-30. <https://www.iea.org/energy-system/energy-efficiency-and-demand/demand-response>
28. LR Energetikos Ministerija, Nacionalinė Energetinės Nepriklausomybės Strategija. Galiojanti suvestinė redakcija 2024-06-28. [https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62/asr#part\\_69c375d1e04749599b31b7adb2d1ef58](https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62/asr#part_69c375d1e04749599b31b7adb2d1ef58)
29. G. Lanot, M. Vesterberg, The price elasticity of electricity demand when marginal incentives are very large, *Energy Economics*, Volume 104, 2021, 105604, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105604>.

30. M. Hofmann, S. Bjarghov, H. Sæle, K. Byskov Lindberg, Grid tariff design and peak demand shaving: A comparative tariff analysis with simulated demand response, *Energy Policy*, Volume 198, 2025, 114475, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114475>.
31. National Energy System Operator, Demand Flexibility Service <https://www.neso.energy/industry-information/balancing-services/demand-flexibility-service-dfs#Demand-Flexibility-Service>
32. National Energy System Operator, Demand Flexibility Service approved for 2023/24 winter, <https://www.neso.energy/news/demand-flexibility-service-approved-202324-winter>
33. Centre for Net Zero, Enedis, Enel X, National Grid Electricity Distribution, Octopus Energy, Quantifying Demand Flexibility: Towards a standardised approach, 2024 Londonas, <https://www.centrefornetzero.org/papers/quantifying-demand-flexibility-towards-a-standardised-approach>
34. Centre for Net Zero, Quantifying Demand Flexibility at Household Level Analysis of Baseline Methodologies, 2024. <https://www.centrefornetzero.org/papers/quantifying-demand-flexibility-at-household-level-analysis-of-baselining-methodologies>
35. S. Gudžius, A. Jonaitis, A. Slivikas, J. Vaičys, EDIS Lab, Pradinio kiekio skaičiavimo metodikos patikrinimo studija, 2022 m.
36. LITGRID, Pradinio elektros energijos kiekio nustatymo metodika. Lietuva, 2023m. <https://www.litgrid.eu/index.php/paslaugos/prekyba-disbalansu/519>
37. NESO, Demand Flexibility Service Procurement Rules. Jungtinė Karalystė, 2024m. <https://www.neso.energy/industry-information/balancing-services/demand-flexibility-service-dfs>
38. NESO, DFS Deep Dives. Rinkos konsultacija. Jungtinė Karalystė, 2023m. <https://www.neso.energy/industry-information/balancing-services/demand-flexibility-service-dfs>
39. Valstybinė skaitmeninių sprendimų agentūra, Lietuvos atvirų duomenų portalas, Vilnius. <https://data.gov.lt/>
40. Rob Shipman, Rebecca Roberts, Julie Waldron, Sophie Naylor, James Pinchin, Lucelia Rodrigues, Mark Gillott, We got the power: Predicting available capacity for vehicle-to-grid services using a deep recurrent neural network, *Energy*, Volume 221, 2021, 119813, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119813>.
41. European Environment Agency, Energy prosumers in Europe — Citizen participation in the energy transition, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-role-of-prosumers-of>