



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizė

Baigiamasis magistro projektas

Gabrielė Mockutė

Projekto autorė

Prof. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizė

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Gabrielė Mockutė

Projekto autorė

Prof. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Lekt. Eimantas Neniškis

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Gabrielė Mockutė

Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizė

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.

Gabrielė Mockutė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Mockutė, Gabrielė. Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: elektros energijos paklausa, prognozė, ekonometrinis modelis, regresija, MAED, MAE, MAPE, RMSE.

Kaunas, 2024. 75 p.

Santrauka

Elektros energijos perspektyvinių poreikių analizės atlikimas yra itin svarbus siekiant šalies organizacijoms pagrįstai priimti naujus įstatymus, projektus ar planuoti investicijas, optimaliai paskirstyti elektros energijos gamybą, užtikrinti energetinį saugumą ir patikimumą, vykdyti tikslingą elektrinių ir tinklų planavimą, įgyvendinti ES bei kitų tarptautinių organizacijų keliamus energetikos tikslus, skatinti efektyvų elektros energijos vartojimą bei integruoti atsinaujinančius energijos išteklius. Šiai dienai Lietuvos namų ūkių sektorius yra vienas iš pagrindinių elektros energiją vartojančių sektorių, kurio elektros energijos poreikiai tendencingai auga. Taigi, šio sektoriaus elektros energijos poreikių prognozės atlikimas gali turėti reikšmingą įtaką visos šalies elektros energetikos sektoriaus rizikų valdymui, tiekimo patikimumo užtikrinimui ir strateginių tikslų įgyvendinimui.

Šiame magistro baigiamajame darbe, visų pirma, atliekama Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyviniams poreikiams įtaką turinčių ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus kitimo, energijos vartojimo efektyvumo skatinimo bei ES didmeninės elektros energijos kainos pokyčių scenarijų analizė. Antra, prognozės atlikimui sudaromi statistiniai – regresijos ir ekonometrinis, modeliai bei imitacinis MAED modelis. Trečia, remiantis prognozės prielaidomis ir parengtais prognozavimo modeliais atliekama Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozė 2023–2050 m. laikotarpiu. Galiausiai, rezultatų reikšmingumo įvertinimas ir modelių palyginimas atliekamas remiantis MAE, MAPE ir RSME statistiniais rodikliais.

Atlikto tyrimo rezultatai leido identifikuoti, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas 2023–2050 m. laikotarpiu augs. Kvadratinio regresijos modelio prognozuojamas vidutinis metinis elektros energijos poreikių augimo tempas siekia 4,6 proc., ekonometrinio modelio – apie 1,8 proc., o MAED modelio – 3,62 proc. Nustatyta, jog visų modelių MAPE rodiklis yra mažesnis nei 10 proc., todėl prognozės gali būti laikomos tiksliomis. Identifikuota, jog kvadratinis regresijos modelis, kurio MAE ir RMSE rodikliai mažiausi lyginant su kitais prognozavimo modeliais, yra tinkamiausias atliekant Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizę tokiu atveju, jei šalies ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos išliks panašios į praeities. Kita vertus, ekonometrinį ir MAED modelius, kurių MAE ir RMSE rodikliai buvo didesni nei kvadratinio regresijos modelio, rekomenduojama taikyti, jei Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizę siekiama atlikti įvertinant įvairius elektros energijos poreikius sąlygojančius ekonominius, socialinius ir technologinius veiksnius bei jų skirtingus kitimo scenarijus.

Mockutė, Gabrielė. Analysis of Prospective Electricity Demand of Lithuanian Households / supervisor prof. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Energy Engineering, Engineering Sciences.

Keywords: electricity demand, forecasting, econometric model, regression, MAED, MAE, MAPE, RMSE.

Kaunas, 2024. 75 p.

Summary

Analyzing the prospective needs for electricity is crucial for national organizations to make informed decisions on new laws, projects, or investment planning, to optimize the distribution of electricity generation, to ensure energy security and reliability, to carry out targeted planning of power plants, and grids, to meet the energy objectives of the EU and other international organizations, to promote efficient electricity consumption and to integrate renewable energy sources. Today, the Lithuanian household sector is one of the main electricity-consuming sectors, with electricity needs growing on a trend. Thus, forecasting electricity demand in this sector can have a significant impact on risk management, security of supply and the achievement of strategic objectives for the electricity sector.

In particular, this Master's thesis analyses scenarios of economic growth, population change, energy efficiency promotion, and changes in the EU wholesale electricity price that affect the prospective electricity needs of Lithuanian households. Secondly, statistical models - regression and econometric - and a simulation MAED model are developed to perform the forecast. Thirdly, based on the assumptions of the forecast and the developed forecasting models, a forecast of the electricity demand of Lithuanian households for the period 2023-2050 is made. Finally, the assessment of the significance of the results and the comparison of the models is carried out based on the MAE, MAPE, and RSME statistical indicators.

The results of the study identified that electricity consumption of Lithuanian households will grow in the period 2023-2050. The average annual growth rate of electricity demand projected by the quadratic regression model is 4.6%, by the econometric model it is around 1.8% and by the MAED model it is 3.62%. The MAPE of all models was found to be below 10%, so the forecasts can be considered accurate. The quadratic regression model with the lowest MAE and RMSE compared to the other forecasting models was identified as the most appropriate model to analyze the future electricity needs of Lithuanian households if the country's economic growth and population trends remain similar to the past. On the other hand, the econometric and MAED models, whose MAE and RMSE were higher than those of the quadratic regression model, are recommended to be used if the analysis of the prospective electricity needs of Lithuanian households is to be carried out by taking into account the various economic, social, and technological factors that determine the electricity needs of Lithuanian households, as well as the different scenarios of their development.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Namų ūkių elektros energijos poreikiams įtaką turinčių veiksnių analizė	11
1.1. Makroaplinkos veiksniai	11
1.2. Mikroaplinkos veiksniai	18
2. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimo metodų analizė	24
2.1. Elektros energijos poreikių prognozavimo eiga	24
2.2. Elektros energijos poreikių prognozavimo metodai	26
2.2.1. Regresijos modeliai	28
2.2.2. Laiko eilučių analizės modeliai	30
2.2.3. Ekonometrinis modelis	32
2.2.4. Energijos paklausos analizės modelis (MAED)	34
2.2.5. DNT modelis	36
3. Namų ūkių prognozavimo prielaidų analizė	40
3.1. Ekonomikos augimo tendencijos	40
3.2. Elektros energijos kainos kitimo tendencijos	41
3.3. Gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos	42
3.4. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo tendencijos	43
4. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimas	45
4.1. Regresinio modelio taikymas	45
4.1.1. Koreliacinė analizė	45
4.1.2. Regresinė analizė	47
4.2. Ekonometrinio modelio taikymas	50
4.3. Imitacinio MAED modelio taikymas	54
4.4. Prognozavimo rezultatų palyginimas	60
5. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimo tikslumo įvertinimas.....	62
Išvados	64
Literatūros sąrašas	65

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Elektros energijos paklausos prognozavimo kategorijos [66, 68].....	24
2 lentelė. Elektros energijos poreikių prognozavimo svarba [66, 70].....	24
3 lentelė. Elektros energijos poreikių prognozavimo metodai [sudaryta autoriaus].....	38
4 lentelė. Koreliacinės ir regresinės analizių faktiniai duomenys.....	45
5 lentelė. Čedoko skalė [115].....	46
6 lentelė. Kintamųjų koreliacijos koeficientai [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	46
7 lentelė. Koreliacijos koeficientų p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus].....	46
8 lentelė. Regresijos modelių determinacijos ir koreguoti determinacijos koeficientai [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	47
9 lentelė. Regresijos modelių koeficientų p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	48
10 lentelė. ANOVA p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus].....	48
11 lentelė. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant kvadratinį regresijos modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus].....	49
12 lentelė. 1 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	51
13 lentelė. 2 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	52
14 lentelė. 3 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	53
15 lentelė. Namų ūkių skaičius mieste ir kaime, 2015–2050 m., tūkst. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	55
16 lentelė. Metinis energijos poreikis gyvenamųjų būstų šildymui mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus].....	56
17 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje būstų šildymo energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	56
18 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis vandens šildymui mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus].....	57
19 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje vandens šildymo energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	57
20 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis maisto gamybai mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	58
21 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje maisto gamybos energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	58
22 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis elektros prietaisams mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus].....	59
23 lentelė. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant imitacinį MAED modelį, 2025–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	59
24 lentelė. Vidutinių metinių Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempų palyginimas, 2023–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus]	61
25 lentelė. Prognozavimo modelių MAE, MAPE ir RMSE rodiklių vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	62

Paveikslų sąrašas

1 pav. Gyventojų tankumas Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., gyv./km ² ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 9]	12
2 pav. Gyventojų skaičius Lietuvoje ir Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., mln. ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 14]	13
3 pav. Populiacijos gyvenimo trukmė Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., metai ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 17]	14
4 pav. Lietuvos ir ES BVP vienam gyventojui indeksas išreikštas perkamosios galios standartais (PGS) bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 26]	15
5 pav. Užimtumo lygis Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., proc. ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 31]	16
6 pav. Lietuvos ir ES vidutinio dydžio namų ūkių elektros energijos kaina bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., Eur/kWh ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 39]	17
7 pav. Naudingasis būsto plotas tenkantis vienam gyventojui Lietuvoje bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2013–2021 m., m ² ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]	19
8 pav. Vidutinis namų ūkių sudarančių asmenų skaičius Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., asmenys ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 58]	20
9 pav. Vidutinės Lietuvos vieno namų ūkio disponuojamosios pajamos per mėnesį bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., eurai ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]	21
10 pav. Vidurinį ir aukštąjį išsilavinimą turintys Lietuvos gyventojai bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., tūkst. gyventojų ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]	22
11 pav. Supaprastintas energijos poreikio prognozavimo procesas [71]	25
12 pav. Pagrindiniai ekonometrinio modelio sudarymo žingsniai [94]	32
13 pav. Pagrindiniai MAED modelio įvesties ir išvesties parametrai [101]	34
14 pav. Supaprastinta dirbtinio neuroninio tinklo struktūra [106]	37
15 pav. Lietuvos BVP tenkančio vienam gyventojui kitimo tendencijos, 1995–2050 m., eurai pagal 2015 m. PGP [110]	41
16 pav. Europos didmeninės elektros kainos kitimo tendencijos, 2015–2050 m., eurai/MWh [111]	42
17 pav. Lietuvos populiacijos kitimo tendencijos, 1950–2050 m., mln. gyv. [112]	43
18 pav. Liekamųjų paklaidų normalusis pasiskirstymas, a) tiesinis modelis, b) kvadratinis modelis, c) atvirkštinis modelis [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	49
19 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant kvadratinį regresijos modelį, 2010–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	50
20 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2010–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]	54
21 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant imitacinį MAED modelį, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]	60

Santrumpų sąrašas

ANOVA – dispersinė analizė (angl. *analysis of variance*);

ARIMA – autoregresinis integruotas slenkamasis vidurkis (angl. *autoregressive integrated moving average*);

ARMA – autoregresinis slenkamasis vidurkis (angl. *autoregressive moving average*);

CCR – kanoninė kointegruojanti regresija (angl. *canonical cointegrating regression*)

DNT – dirbtinis neuroninis tinklas (angl. *artificial neural network (ANN)*);

DOLS – dinaminis paprastas mažiausias kvadratas (angl. *dynamic ordinary least square*)

EIA – Jungtinių Amerikos Valstijų Energetikos informacijos administracija (angl. *U.S. Energy Information Administration*)

FMOLS – visiškai modifikuotas paprastas mažiausias kvadratas (angl. *fully modified ordinary least square*);

MAE – vidutinė absoliutinė paklaida (angl. *mean absolute error*);

MAED – energijos paklausos analizės modelis (angl. *model for analysis of energy demand*);

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

OECD – ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija (angl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*);

PGP – perkamosios galios paritetas;

RMSE – vidutinė kvadratinė paklaida (angl. *root mean squared error*);

RMSPE – šaknies vidurkio kvadratinio procento klaida (angl. *root mean squared percent error*);

SVM – atraminių vektorių mašinos (angl. *support vector machines*);

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

TATENA – tarptautinės atominės energijos agentūra.

Įvadas

Temos aktualumas. Energetikos sektorius yra ypač svarbus kiekvienos šalies ekonomikai, o energetinis saugumas yra laikomas vyriausybės prioritetu. 2009 m. gruodžio 31 d. Lietuvoje buvo uždarytas antrasis Ignalinos atominės elektrinės reaktorius, kuris padengdavo apie 70 proc. šalies bendrojo elektros energijos poreikio [1]. Po elektrinės uždarymo Lietuva iš grynosios elektros energijos eksportuotojos tapo grynąja elektros energijos importuotoja [2]. Siekdama diversifikuoti šalies energijos šaltinius, Lietuvos Respublikos vyriausybė įgyvendino daugybę projektų: 2014 m. pastatytas suskystintų gamtinių dujų (SGD) terminalas Klaipėdoje, o 2015 metų pabaigoje pradėjo veikti elektros jungtys tarp Švedijos ir Lietuvos (NordBalt) bei tarp Lenkijos ir Lietuvos (LitPol Link) [2]. Šiuo metu vykdomi pagrindiniai energetikos sektoriaus projektai – elektros tinklų atnaujinimas ir Baltijos šalių tinklo sinchronizacija su kontinentine Europa [2]. Be to, Lietuva sparčiai vykdo atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo plėtrą. Vyriausybė rengia planus, jog Lietuva iki 2025 m. 80 proc. šalies vidaus energijos poreikių padengtų iš atsinaujinančių išteklių [2]. Vis dėlto šiai dienai Lietuva elektros pagamina 3 kartus mažiau nei suvartoja, todėl ekspertų teigimu [1], elektros gamybos deficitas dar labiau padidina ir taip nemažas elektros kainas. Taigi, galima pasakyti, jog Lietuvos elektros energetikos sektorius susiduria su tam tikrais iššūkiais ir turi ambicingų ateities planų, kurių įgyvendinimui ypač svarbu atlikti ilgojo laikotarpio Lietuvos elektros energijos poreikio prognozę, kuri suteiktų galimybę valdančioms organizacijoms pagrįstai priimti naujus įstatymus, projektus ar planuoti investicijas, optimaliai paskirstyti elektros energijos gamybą, leistų užtikrinti energetinį saugumą ir patikimumą, vykdyti tikslingą elektrinių ir tinklų planavimą, įgyvendinti Europos Sąjungos bei kitų tarptautinių organizacijų keliamus energetikos tikslus, skatinti efektyvų elektros energijos vartojimą bei integruoti atsinaujinančius energijos išteklius. Identifikuojama, jog Lietuvos namų ūkių sektorius yra vienas iš pagrindinių sektorių, kurio elektros energijos poreikiai yra augantys. Remiantis Nacionalinės Lietuvos energetikos asociacijos duomenimis [3], 2019 m. lyginant su 2017 m. namų ūkių elektros energijos suvartojimas padidėjo 5,2 proc., o pramonės įmonių suvartojimas analizuojamu laikotarpiu augo tik 1,9 proc. Taigi, vieno iš pagrindinių elektros energiją vartojančių sektorių poreikių prognozės atlikimas gali turėti reikšmingą įtaką visos šalies elektros energetikos sektoriaus rizikų valdymui ir strateginių tikslų įgyvendinimui.

Darbo problema – kokios namų ūkių elektros energijos poreikių perspektyvos?

Darbo tikslas – išanalizuoti namų ūkio elektros energijos poreikių prognozavimo metodus, atlikti prognozę ir įvertinti analizuotų metodų tikslumą.

Darbo uždaviniai:

1. nustatyti veiksnius, turinčius įtaką elektros energijos poreikiams;
2. išnagrinėti elektros energijos poreikių prognozavimo metodus, taikomus mokslinėje literatūroje;
3. sudaryti Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimo prielaidas;
4. atlikti Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių prognozę;
5. įvertinti skirtingų namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizės metodų tikslumą.

Taikyti tyrimo metodai. Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizei atlikti taikyti regresinės, ekonometrinės ir imitacinio MAED analizių metodai.

Darbo struktūra. Baigiamasis magistro darbas susideda iš santraukos, turinio, lentelių, paveikslų ir santrumpų sąrašų, įvado, 5 dėstymo skyrių, išvadų bei literatūros sąrašo. Darbą sudaro 75 puslapiai, 25 lentelės ir 21 paveikslas. Darbe iš viso panaudoti 131 literatūros šaltinis.

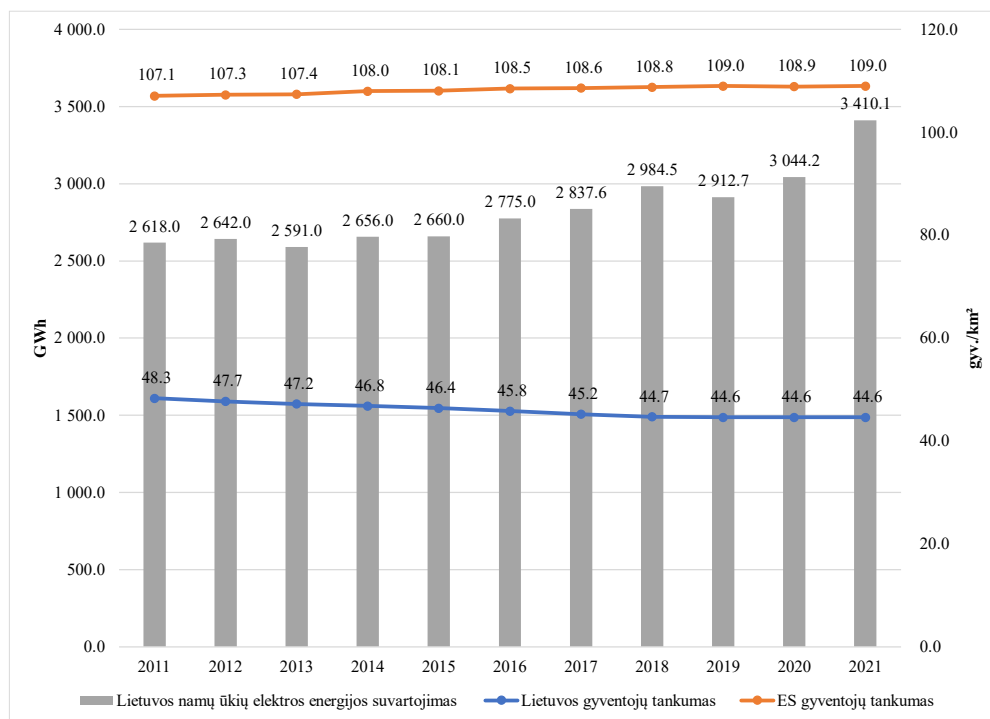
1. Namų ūkių elektros energijos poreikiams įtaką turinčių veiksnių analizė

Elektros energijos poreikius gali lemti įvairūs makroaplinkos ir mikroaplinkos veiksniai. Šiame skyriuje remiantis mokslinė literatūra atliekama svarbiausių demografinių, ekonominių ir su namų ūkių charakteristikomis susijusių veiksnių analizė, o remiantis statistine informacija aptariamos reikšmingiausių Lietuvos rodiklių kitimo tendencijos.

1.1. Makroaplinkos veiksniai

Remiantis Australijos universiteto Monash [4] duomenimis makroaplinka yra apibūdinama kaip visuma nekontroliuojamų išorinių jėgų, kurios turi įtaką objekto, pavyzdžiui, namų ūkio, sprendimų priėmimui ir veiklos vykdymui. Tokie veiksniai gali būti įvairūs: ekonominiai, demografiniai, technologiniai, aplinkos, socialiniai, kultūriniai, teisiniai ar politiniai [4]. Tačiau šiuo atveju pasirinkti analizuoti pagrindiniai, dažniausiai tiriami mokslinėje literatūroje, elektros energijos suvartojimui įtaką turintys makroaplinkos veiksniai: populiacijos skaičius, tankumas, gyvenimo trukmė, ekonomikos augimas, užimtumo lygis ir elektros kaina. Kiekvienas iš išvardintų veiksnių toliau išsamiai analizuojami šiame skyriuje.

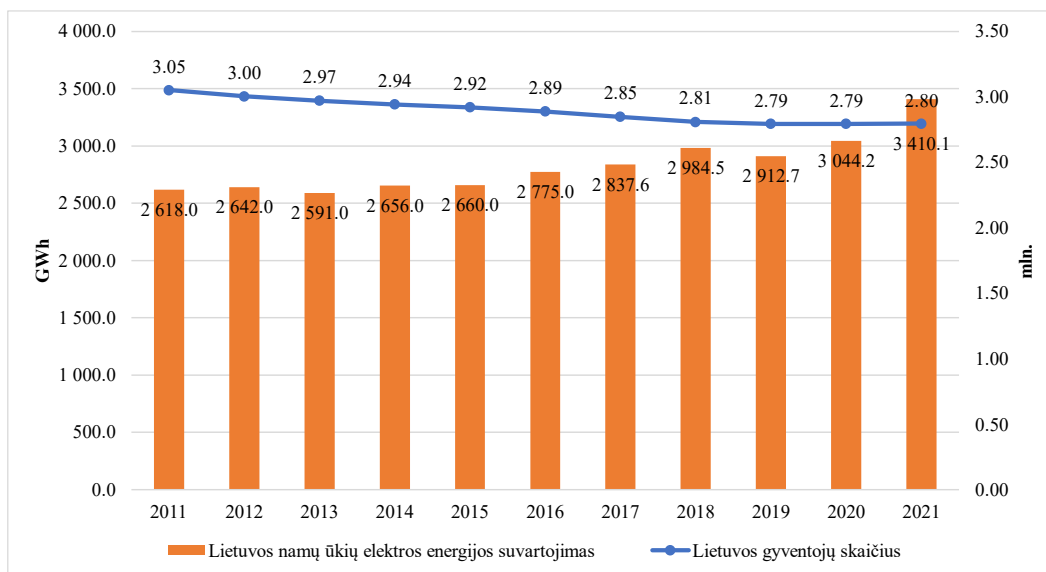
Populiacijos tankumas. Populiacijos tankumas yra vienas iš veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos vartojimo poreikiams. Muzayanah ir kt. [5] atlikta koreliacinė analizė parodė, jog tarp populiacijos tankumo ir energijos vartojimo egzistuoja ryšys, o regresinė analizė atskleidė, jog populiacijos tankumas turi statistiškai reikšmingą įtaką galutiniam energijos suvartojimui. Tyrimo [5], kuris atliktas Indonezijos regione, rezultatai parodė, jog vidutiniškai populiacijos tankumui padidėjus 1 proc., galutinis energijos suvartojimas auga 0,36 proc., o išskirtinai elektros sunaudojimas – 0,77 proc. Sarkodie'io ir Adom'o [6] atlikto tyrimo, kuriame buvo taikomas netiesinių iteracinių dalinių mažiausių kvadratų (angl. *nonlinear iterative partial least squares (NIPALS)*) metodas, rezultatai parodė, jog gyventojų tankumui padidėjus 1 proc., elektros energijos suvartojimas padidėja 0,1 proc., tačiau galutinis energijos suvartojimas dėl patiriamos masto ekonomijos sumažėja 0,7 proc. Tyrimo autoriai paaiškina rezultatus ir teigia, jog padidėjus gyventojų tankumui paprastai sutrumpėja kelionės laikas ir dažniau tampa naudojamos tradicinės transporto priemonės, pavyzdžiui, dviračiai, nes miestai ir jame esantys objektai yra išdėstyti arčiau vienas kito [6]. Kita vertus, Otsuka'os [7] tyrimo, kuriame lyginami du, skirtingo gyventojų tankio, Japonijos miestai, rezultatai parodė, jog metinis namų ūkių elektros suvartojimas vienam gyventojui šiuose dviejuose miestuose yra panašus, o didžiausias suvartojamos energijos skirtumas pasireiškia transporto sektoriuje. Analizuojant Lietuvos gyventojų tankumo rodiklį (žr. 1 pav.) pastebima, jog šalies rodiklis, skirtingai nei Europos Sąjungos (toliau – ES), yra mažėjantis. Paskaičiuota, jog Lietuvos gyventojų tankumas nuo 2011 m. iki 2021 m. sumažėjo 7,7 proc. Kita vertus, skirtingai nei gyventojų tankumo rodiklis, Lietuvos namų elektros energijos suvartojimas analizuojamu laikotarpiu yra didėjantis, kas atitinkamai gali reikšti, jog populiacijos tankumo veiksnys, kaip ir Otsuka'os [7] tyrime, gali neturėti reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui Lietuvoje.



1 pav. Gyventojų tankumas Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., gyv./km² ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 9]

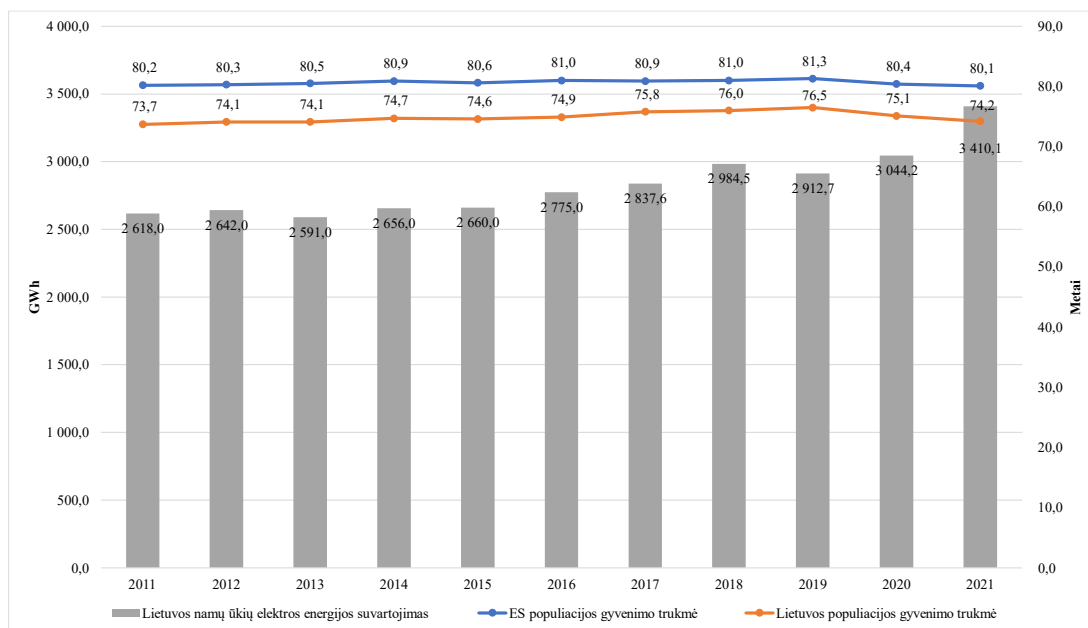
Populiacijos skaičius. Analizuojant populiacijos skaičiaus įtaką elektros energijos suvartojimui, Sarkodie'io ir Adom'o [6] tyrimo rezultatai parodė, jog gyventojų skaičiaus padidėjimas 1 proc., iškastinio kuro ir galutinės energijos suvartojimą atitinkamai padidina 0,4 proc. ir 0,5 proc., tačiau elektros energijos suvartojimą sumažina 0,08 proc. Tyrimo [6] autoriai teigia, jog analizuojamoje Kenijos teritorijoje didėjantis gyventojų skaičius galimai nulemia elektros energijos pakeitimą kita energijos rūšimi, nes šios šalies elektros energijos sistema yra laikoma žemo patikimumo lygio. Kita vertus, Merlin'o ir Chen'o [10] atliktas tyrimas, taikant visiškai modifikuoto įprastų mažiausių kvadratų (angl. *fully modified ordinary least square (FMOLS)*), dinaminį įprastų mažiausių kvadratų (angl. *dynamic ordinary least square (DOLS)*) ir kanoninės kointegruojančios regresijos (angl. *canonical cointegrating regression (CCR)*) metodus, parodė, jog pagal FMOLS metodiką populiacijos padidėjimas 1 proc. elektros energijos suvartojimą padidina 43,4 proc., pagal DOLS metodiką – 1 proc. populiacijos padidėjimas lemia elektros energijos suvartojimo padidėjimą 66 proc., o pagal CCR metodiką – elektros energijos suvartojimas auga 44 proc. Panašūs rezultatai buvo gauti atliekant ir kitus tyrimus. Zaman'o ir kt. [11] atlikta elektros energijos suvartojimo ir gyventojų skaičiaus analizė Pakistano regione parodė, jog populiacijai padidėjus 1 proc., elektros energijos suvartojimas padidėjo 1,6 proc., o Ekpo'o ir kt. [12] tyrimas, kuris atliktas taikant kointegracijos ribų testą (angl. *bounds test for cointegration*) atskleidė, jog gyventojų skaičius turi statistiškai reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui tiek trumpuoju, tiek ilguoju laikotarpiu. Mokslinėje literatūroje [13] ryšys tarp populiacijos skaičiaus ir elektros energijos suvartojimo yra grindžiamas tuo, jog didėjant gyventojų skaičiui pasireiškia masto ekonomijos efektas, kitaip tariant, visuomenė tampa imlesnė energijos vartojimui. Be to, York'o [13] tyrime, kuris atliekamas remiantis 14 ES šalių istoriniais duomenimis, suprojektuoti demografiniai scenarijai, kurie identifikuoja, jog mažėjantis gyventojų skaičius ES šalyse, ateityje gali sumažinti ES energijos poreikius. Analizuojant Lietuvos gyventojų skaičių (žr. 2 pav.) pastebima, jog šis rodiklis pasižymi tendencija mažėti, t. y. kasmet šalyje užfiksuojama mažiau gyventojų. Paskaičiuota, jog nuo 2011 m. iki 2021 m. Lietuvoje

gyventojų skaičius sumažėjo arti 257 tūkst. Kaip ir atliekant gyventojų tankio rodiklio analizę, pastebima, jog Lietuvos gyventojų skaičius mažėja, tačiau namų ūkių elektros energijos suvartojimas didėja, todėl siekiant tiksliau įvertinti ryšį tarp šių kintamųjų reikia atlikti išsamią analizę.



2 pav. Gyventojų skaičius Lietuvoje ir Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., mln. ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 14]

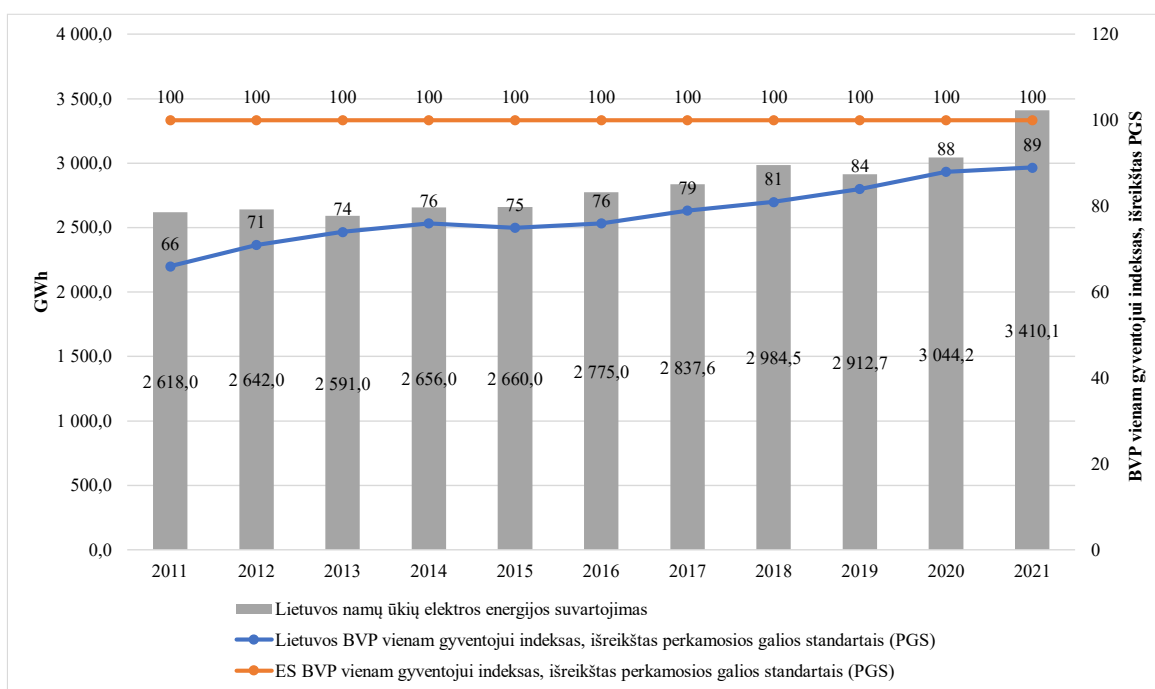
Populiacijos gyvenimo trukmė. Populiacijos gyvenimo trukmė yra dar vienas svarbus rodiklis, kuris turi įtaką elektros energijos poreikiams. Merlin'o ir Chen'o [10] atliktas tyrimas taikant FMOLS metodiką parodė, jog gyvenimo trukmei pailgėjus 1 proc. elektros energijos suvartojimas padidėja 12,4 proc., pagal DOLS metodą – gyvenimo trukmės pailgėjimas 1 proc. lemia elektros energijos suvartojimo padidėjimą 30 proc., o taikant CCR metodą nustatyta, jog elektros energijos poreikiai padidėja 22 proc. Be to, York'o [13] tyrimas taip pat identifikuoja, jog populiacijos amžius turi reikšmingą įtaką ne tik elektros, bet ir bendram energijos suvartojimui, nes rezultatai rodo, jog vyresnių nei 65 metų amžiaus gyventojų dalies padidėjimas lemia didesnę energijos suvartojimą. Šiuos rezultatus patvirtina Huang'o [15] kvantilinės regresijos (angl. *quantile regression*) tyrimas, kurio rezultatai rodo, jog namų ūkiai, kuriuose didesnę dalį sudaro vyresni nei 65 metų amžiaus asmenys, pasižymi didesniu elektros energijos suvartojimu. Galima teigti, jog vyresnio amžiaus gyventojai įprastai praleidžia daugiau laiko namuose, todėl didėja oro šildymo ir (arba) vėsinimo bei kitų elektros įrenginių poreikis, kas atitinkamai lemia didesnę elektros energijos suvartojimą [10]. Analizuojant 3 pav., pastebima, jog Lietuvos gyventojų gyvenimo trukmė yra mažesnė nei ES vidurkis. Be to, iki 2019 m. Lietuvos, kaip ir visos ES, populiacijos gyvenimo trukmė turėjo tendenciją augti, tačiau nuo 2019 m. iki 2021 m. pastebimas šio rodiklio sumažėjimas. Remiantis EUROSTAT [16] duomenimis, pastaraisiais metais šio rodiklio mažėjimui reikšmingą įtaką turėjo globali COVID-19 pandemija. Galima teigti, jog pandemija lėmė visų šalių mirtingumo rodiklio padidėjimą, todėl atitinkamai sumažėjo populiacijos gyvenimo trukmė. Kita vertus, pastebima, jog iki pandemijos populiacijos gyvenimo trukmė augo kaip ir namų ūkių elektros energijos suvartojimas, todėl galimai šis veiksnys turi reikšmingą įtaką Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikiams.



3 pav. Populiacijos gyvenimo trukmė Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., metai ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 17]

Ekonomikos augimas. Ekonomikos augimas yra dar vienas svarbus rodiklis, kuris turi reikšmingą įtaką elektros energijos poreikiams. Įprastai ekonomikos augimas yra matuojamas pagal šalies bendrojo vidaus produkto (toliau – BVP) rodiklį. BVP – tai per tam tikrą laikotarpį šalies ūkyje pagamintų galutinių prekių ir paslaugų vertė [18]. Šis rodiklis gali būti dviejų tipų: nominalus BVP, kas reiškia, jog per tam tikrą laikotarpį šalyje pagamintos produkcijos vertė apskaičiuojama pagal to laikotarpio kainas arba einamąsias kainas, ir realus BVP, kuris įvertina gamybos padidėjimą eliminavus kainų įtaką [18]. Būtent realusis BVP yra dažniausiai taikomas siekiant įvertinti šalies ekonomikos augimą. Ekonomikos augimas reiškia didėjančias namų ūkių pajamas ir gerėjančią pragyvenimo lygį, kas atitinkamai lemia augančius elektros energijos poreikius [10]. Šią išvadą patvirtina Merlin'o ir Chen'o [10] tyrimas, kurio rezultatai pritaikius DOLS metodą rodo, jog 1 proc. BVP padidėjimas lemia elektros energijos suvartojimo padidėjimą 42 proc., o pagal pritaikytą CCR metodą – elektros energijos suvartojimas auga 24 proc. Tačiau nemaža dalis atliktų tyrimų [19–22] rodo, jog ryšys tarp ekonomikos augimo ir elektros energijos suvartojimo yra abipusis, t. y. ne tik ekonomikos augimas skatina elektros energijos suvartojimą, bet ir elektros energijos suvartojimas turi įtaką ekonomikos augimui. Pavyzdžiui, Lu'aus [20] atliktame tyrime pritaikytas *Granger* priežastingumo testas (angl. *granger causality test*) parodė, jog elektros energijos suvartojimo padidėjimas 1 proc., gali paskatinti ekonomikos augimą 1,72 proc., o Dey ir Tareque'o [21] darbe pritaikius laiko eilučių analizę nustatyta, jog abipusis ryšys tarp ekonomikos augimo ir elektros energijos suvartojimo egzistuoja tik ilgalaikėje perspektyvoje. Nors dar nuo pramonės perversmo laikų buvo aišku, jog auganti šalies ekonomika didina energijos poreikį, o prieigos prie energijos apribojimas lemia mažėjančią BVP rodiklį, McKinsey [23] atliktas tyrimas rodo, jog artimiausioje ateityje ryšys tarp šių veiksnių bus atsietas ir tam reikšmingą įtaką turės energijos vartojimo efektyvumas. Mokslinėje literatūroje [24] energijos vartojimo efektyvumas yra apibūdinamas kaip mažesnis energijos suvartojimas tam pačiam paslaugų ir (arba) produkcijos kiekiui pagaminti arba naudojant tą patį kiekį energijos didesniai paslaugų ir (arba) produktų kiekiui pagaminti. Taigi, prognozuojama, jog energijos vartojimo efektyvumą paskatins sparti technologinė pažanga, pavyzdžiui, LED apšvietimo, pastatų modernizavimo, išmaniųjų prietaisų ir programų, mažinančių energijos vartojimo intensyvumą plėtra, energijos vartotojų elgsenos pokyčiai, energijos vartojimo

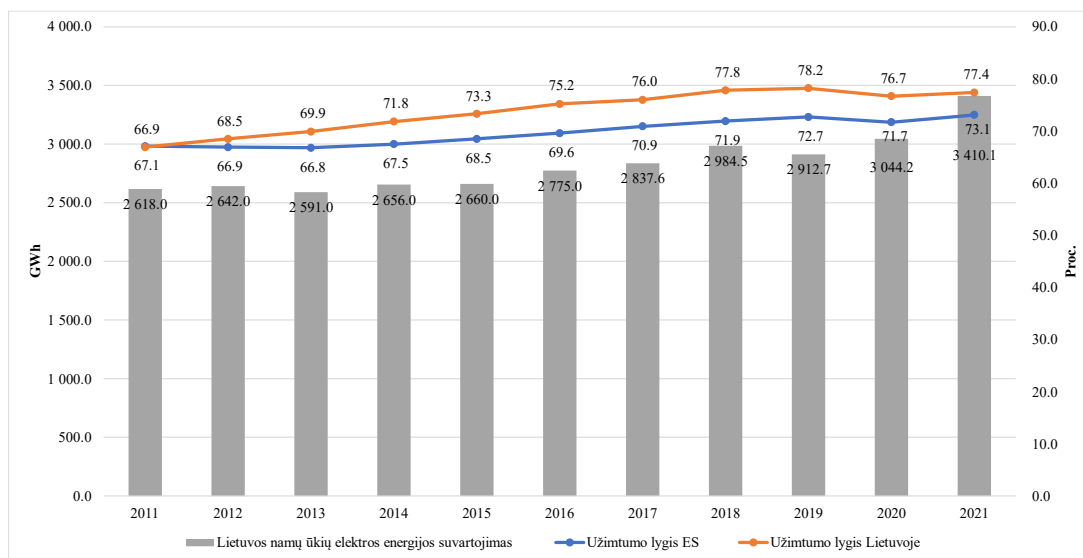
efektyvumą skatinančios politikos priemonės ir investicijos [23]. Wua'os ir kt. [25] atlikto tyrimo, kurio tikslas taikant palyginamąją analizę išsiaiškinti ekonomikos augimo ir energijos vartojimo atsiejimo tendencijas išsivysčiusiose ir besivystančiose šalyse, rezultatai parodė, jog bendras energijos suvartojimas išsivysčiusiose šalyse yra didelis, tačiau dėl energijos vartojimo efektyvumo poveikio, šių šalių atsiejimo indeksas buvo žymiai didesnis nei besivystančių šalių. Be to, tyrime [25] identifikuota, jog išsivysčiusiose šalyse techninės pažangos veiksniai turi didžiausią įtaką atsiejimo indeksui, kai besivystančiose šalyse atsiejimo indeksui didžiausią poveikį daro pramonės struktūros pokyčiai. Analizuojant Lietuvos BVP vienam gyventojui indeksą išreikštą perkamosios galios standartais (PGS) (žr. 4 pav.) galima nustatyti, jog analizuojamu laikotarpiu šis dydis yra augantis, kas parodo, jog Lietuvos gyventojų pajamos ir pragyvenimo lygis kasmet didėja. Tačiau šis šalies indeksas vis dėlto išlieka mažesnis nei ES vidurkis. Be to, identifikuojama, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas taip pat turi tendenciją didėti, todėl galimai šalies ekonomikos augimo veiksnys turi reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui.



4 pav. Lietuvos ir ES BVP vienam gyventojui indeksas išreikštas perkamosios galios standartais (PGS) bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 26]

Užimtumo lygis. Užimtumo lygis yra dar vienas makroaplinkos veiksnys, kuris turi įtaką elektros energijos poreikiui. Šis rodiklis apibūdinamas kaip santykis tarp pasirinktos amžiaus grupės užimtų gyventojų skaičiaus ir to paties amžiaus viso gyventojų skaičiaus [27]. Chen'o [28] atliktas regresinės analizės tyrimas parodė, jog kintamasis – užimtumo lygis, turi teigiamą įtaką suvartojamos elektros energijos per vieną gyventoją kiekiui. Šią išvadą patvirtina ir Gurgul'o ir Lach'o [29] atliktas priežastingumo ryšio nustatymo Lenkijoje tyrimas, kurio rezultatai rodo, jog didėjantis užimtumo lygis skatina elektros energijos suvartojimą trumpuoju laikotarpiu. Panašūs rezultatai buvo gauti Ubani [30] tyrime, kuriame pritaikyta daugialypė tiesinė regresinė analizė atskleidė, jog ryšys tarp elektros energijos suvartojimo ir užimtumo lygio yra statistiškai reikšmingas. Be to, Merlin'o ir Chen'o [10] tyrime, kuriame analizuojama, kokią įtaką elektros energijos suvartojimui turi nedarbingumas, nustatyta, jog tarp nedarbingumo lygio ir elektros energijos poreikio egzistuoja neigiamas ryšys, o nedarbingumo lygiui padidėjus 1 proc., elektros energijos suvartojimas sumažėja 21 proc. Mokslinėje literatūroje [10] paaiškinama, jog nedarbo lygio augimas rodo sulėtėjusią

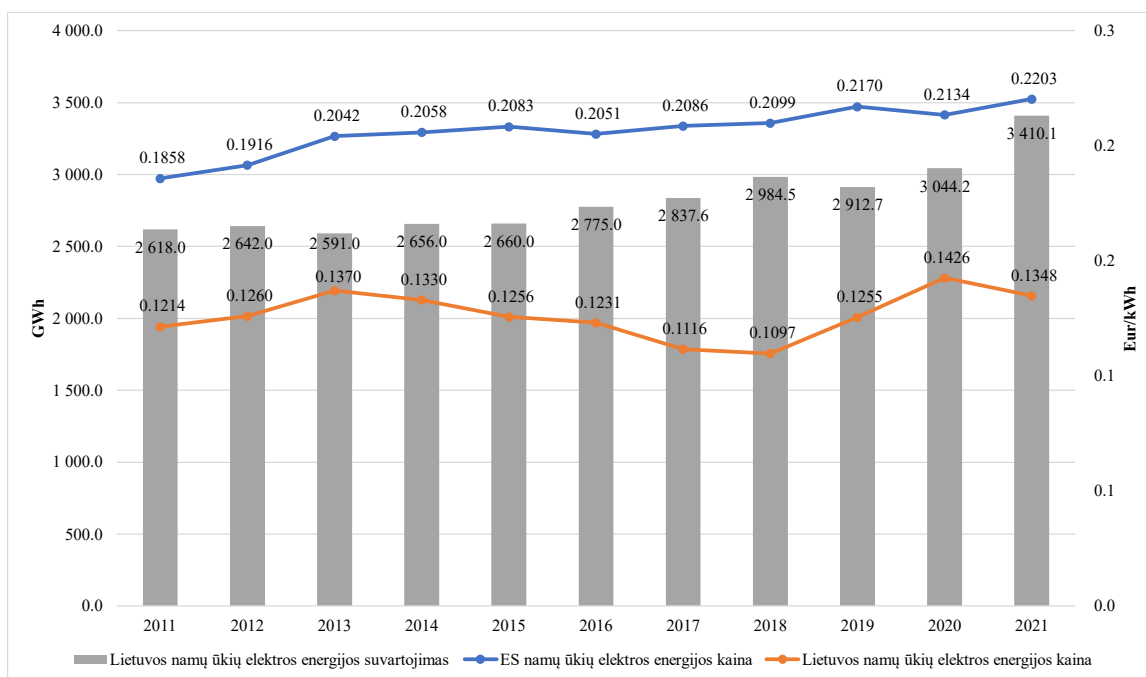
pramonės ir kitų verslo įmonių veiklą, todėl mažėja elektros energijos suvartojimo poreikis. Be to, nedarbo lygio augimas lemia mažesnes namų ūkių pajamas, todėl šie išigyja mažiau elektros imtuvų prietaisų, kas vėlgi lemia sumažėjusį elektros energijos poreikį [10]. Analizuojant užimtumo lygį Lietuvoje (žr. 5 pav.) pastebima, jog šis rodiklis, beje kaip ir Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, yra augantis, išskyrus 2020 m. stebimas sumažėjimas. Šio rodiklio pablogėjimui įtaką galėjo turėti suvaržymo priemonės, taikytos pandemijos metu, tačiau užimtumo lygis Lietuvoje visu analizuojamu laikotarpiu išliko aukštesnis už ES užimtumo lygio vidurkį.



5 pav. Užimtumo lygis Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., proc. ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 31]

Elektros energijos kaina. Elektros energijos kaina taip pat dažnai yra identifikuojamas kaip veiksnys, turintis įtaką elektros energijos poreikiams. Šį teiginį patvirtina atlikti tyrimai [32, 33] kurių rezultatai rodo, jog tarp elektros energijos kainos ir elektros energijos suvartojimo egzistuoja neigiamas ryšys, t. y. elektros kainai padidėjus, energijos suvartojimas sumažėja. Kita vertus, Ekpo'o [12] tyrimas, kuriame atlikta Nigerijos elektros energijos poreikių analizė, parodė, jog tiek trumpuoju, tiek ilguoju laikotarpiu elektros energijos suvartojimas yra neelastingas kainoms. Tačiau Dzioubinski'is ir Chipman'as [34] identifikuoja, jog sudėtinga įvertinti kainų poveikį namų ūkių energijos suvartojimui besivystančiose šalyse, kaip jau minėtoje Nigerijoje, nes šiose šalyse didelė dalis energijos suvartojama naudojant tradicinį kurą, kuris surenkamas neoficialiai (pvz., surenkamos malkos). Kita vertus, Haas'o ir kt. [35] tyrimas rodo, jog nedideli energijos kainų svyravimai neturi reikšmingą įtaką energijos vartojimui namų ūkiuose, o tik kainai viršijus tam tikrą ribą yra pastebimas energijos poreikio sumažėjimas. Remiantis Jungtinių Amerikos Valstijų Energetikos informacijos administracija (angl. *U.S. Energy Information Administration (EIA)*) [36] elektros energijos kaina yra priklausoma nuo elektrinių, perdavimo ir paskirstymo tinklų sąnaudų, oro sąlygų, reguliacijos politikos ir kuro kainų. Analizuojant pastarąjį veiksni, EIA [36] identifikuoja, jog augančios kuro kainos, ypač gamtinių dujų ir naftos, padidina elektros energijos gamybos sąnaudas, todėl atitinkamai didėja ir galutinė elektros energijos kaina. Svarbu paminėti, jog dėl ribotų energijos išteklių prieinamumo, kuro kainoms reikšmingą įtaką turi įvairūs politiniai ir ekonominiai veiksniai, pavyzdžiui, laikotarpis po COVID-19 pandemijos, kada dėl atsigavusios šalių gamybos smarkiai padidėjo energijos išteklių paklausa, kurios pasiūla negalėjo patenkinti, todėl tai lėmė 2021 m. pabaigoje rinkoje smarkiai pakilusias energijos kainas arba 2022 m. ES padidėjusi naftos ir gamtinių dujų kaina dėl Rusijos invazijos į Ukrainą [37]. Ateityje tikimasi, jog elektros kainos svyravimus,

kuriuos didžiąją apimtimi lemia minėtas kuro rinkos nestabilumas, padės labiau suvaldyti atsinaujinančių energijos išteklių plėtra. Tą patvirtina Ballester'io ir Furió'o [38] atlikto tyrimo, kurio metu buvo analizuojama Ispanijos dienos į priekį elektros energijos rinka (angl. *the day-ahead energy market*), rezultatai, parodantys, jog atsinaujinančios energijos gamybos dalies padidėjimas sumažina kainų šuolio tikimybę. Analizuojant Lietuvos vidutinio dydžio namų ūkių elektros energijos kainas (žr. 6 pav.) pastebima, jog visu laikotarpiu šis rodiklis yra mažesnis už ES vidutinę namų ūkių elektros kainą. Be to, identifikuojama, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos kaina yra svyruojantis dydis ir tam tikrais laikotarpiais, pavyzdžiui, 2021 m., pastebima, jog elektros energijos kainai sumažėjus, padidėjo namų ūkių elektros energijos suvartojimas. Tačiau siekiant nustatyti, ar Lietuvoje elektros energijos kaina turi reikšmingą įtaką namų ūkių elektros energijos suvartojimui, reikia atlikti išsamią analizę.



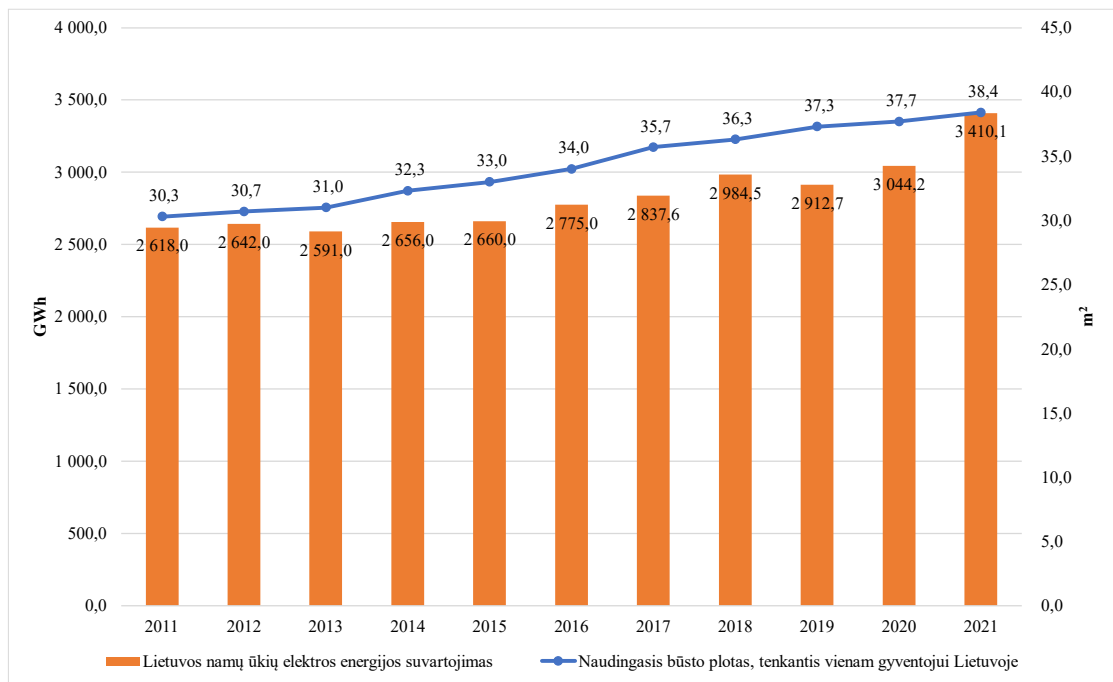
6 pav. Lietuvos ir ES vidutinio dydžio namų ūkių elektros energijos kaina bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., Eur/kWh ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 39]

Taigi, atlikus makroaplinkos veiksnių analizę galima pasakyti, jog dažnu atveju elektros energijos poreikiams teigiamą įtaką turi populiacijos skaičius, tankumas ir gyvenimo trukmė, t. y. šių veiksnių didėjimas lemia augančius elektros energijos poreikius. Tačiau tam tikrais atvejais dėl pasireiškusio masto ekonomijos efekto, gyventojų skaičius ir tankumas gali neturėti reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui. Atlikus analizę identifikuota, jog elektros energijos poreikių didėjimui įtaką turi ekonomikos augimas. Be to, ryšys tarp ekonomikos augimo ir elektros energijos suvartojimo dažnu atveju nustatomas kaip abipusis. Prognozuojama, jog ateityje dėl sparčiai didėjančio energijos vartojimo efektyvumo, ypač išsivysčiusiose šalyse, ryšys tarp ekonomikos augimo ir energijos suvartojimo bus atsietas. Atlikta mokslinės literatūros analizė taip pat parodė, jog užimtumo lygio didėjimas turi reikšmingą įtaką elektros energijos poreikių augimui, o nedarbo lygis turi neigiamą įtaką elektros energijos suvartojimui. Nustatyta, jog elektros energijos kaina turi neigiamą įtaką elektros energijos poreikiams, t. y. aukštesnė elektros energijos kaina lemia mažėjančią elektros energijos poreikį, tačiau tam tikrais atvejais, o ypač besivystančiose šalyse, identifikuota, jog elektros energijos suvartojimas yra neelastingas kainos atžvilgiu.

1.2. Mikroaplinkos veiksniai

Mikroaplinka įprastai yra apibūdinama kaip visuma veiksnų, kuriems objektas, pavyzdžiui, namų ūkis, gali daryti tam tikrą poveikį bei įtaką [40]. Analizei atlikti pasirinkti pagrindiniai ir dažniausiai mokslinėje literatūroje tiriama elektros energijos poreikius lemiantys ir namų ūkių charakteristikas apibūdinantys veiksniai: gyvenamojo būsto dydis, namų ūkį sudarančių asmenų skaičius, namų ūkio pajamos ir išsilavinimo lygis. Kiekvienas iš šių veiksnų toliau išsamiai analizuojami šiame skyriuje.

Būsto dydis. Namų ūkio būsto dydis yra vienas iš pagrindinių veiksnų, turinčių įtaką elektros energijos poreikiams. Tewathia'os [41] tyrime identifikuojama, jog tarp būsto dydžio ir namų ūkio elektros energijos suvartojimo egzistuoja vidutinė, nuo 0,462 iki 0,612 svyruojanti, teigiama koreliacija. Remiantis Morrison'o ir Gladhart'o [42] analize, elektros energijos poreikiams įtaką turi būste esančių kambarių skaičius, t. y. kuo daugiau kambarių, tuo didesnis elektros energijos kiekis yra reikalingas patalpų šildymui, vėsinimui bei apšvietimui. Daug kitų atliktų tyrimų [43–45] taip pat patvirtina, jog kambarių skaičius turi reikšmingą įtaką namų ūkių elektros energijos suvartojimui. Pavyzdžiui, Leahy'aus ir Lyons'o [45] tyrime, kuriame pritaikytas paprastų mažiausių kvadratų (angl. *ordinary least square (OLS)*) regresijos modelis Airijoje, identifikuota, jog būstuose, kuriuose kambarių skaičius siekia nuo 1 iki 2, sunaudojama kur kas mažiau elektros energijos nei būstuose, kurie turi 5 ir daugiau kambarių. Be to, Tiwari'io [44] tyrime nustatyta, jog kiekvienas papildomas kambarys Indijos gyvenamuose būstuose padidina elektros energijos suvartojimą 11 proc. Kita vertus, Wiesmann'io kt. [46] atliktas tyrimas Portugalijoje identifikavo, jog kambarių skaičius neturi reikšmingą įtaką namų ūkių elektros energijos poreikiams. Analizuojant ne tik kambarių skaičių, bet ir viso būsto plotą, Jiang'o [47] atliktas ekonometrinės analizės tyrimas atskleidė, jog 50–70 m², 70–100 m² ir daugiau nei 100 m² ploto būstai pasižymi teigiama koreliacija su namų ūkio elektros energijos suvartojimu, nes didesnis būsto plotas įprastai lemia didesnį skaičių turimų elektros imtuvų prietaisų. Bartiaux'o ir Gram-Hanssen'o [48] tyrime, kuriame pritaikyti kokybiniai analizės metodai, nustatyta, jog būsto ploto veiksnys buvo trečiasis kintamasis, kuris labiausiai paaiškino Danijos namų ūkių elektros energijos suvartojimą. Be to, Rylatt'o [49] tyrime, kuris atliktas analizuojant Jungtinės Karalystės namų ūkių elektros energijos suvartojimą, nustatyta, jog būsto plotas turi reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui nepriklausomai nuo būsto tipo, t. y. ar būstas yra butas, ar nuosavas gyvenamasis namas. Tačiau Bartiaux'o ir Gram-Hanssen'o [48] tyrime identifikuota, jog būsto plotas reikšmingą įtaką Belgijos namų ūkių elektros energijos suvartojimui turi tik, jei būstas yra nuosavo namo tipo. Siekiant įvertinti kiekybiškai, kokią įtaką elektros energijos suvartojimui daro būsto plotas, atliktas Zhou ir Teng'o [50] Kinijoje tyrimas, kuriame nustatyta, jog būsto ploto padidėjimas 1 proc., namų ūkių elektros energijos suvartojimą padidina 0,1 proc. Panašius rezultatus atskleidė ir Filippini'io ir Pachauri [51] tyrimas, kuriame identifikuota, jog 1 proc. būsto ploto padidėjimas Indijos namų ūkių elektros energijos poreikius padidina 0,2 proc. Atliekant Lietuvos situacijos analizę (žr. 7 pav.), Lietuvos statistikos departamentas pateikia rodiklį – naudingasis būsto plotas tenkantis vienam asmeniui. Pastebima, jog analizuojamu laikotarpiu šis rodiklis, kaip ir namų ūkių elektros energijos suvartojimas, turi tendenciją didėti, t. y. Lietuvoje vienam asmeniui atitenka vis didesnis naudingojo būsto plotas.

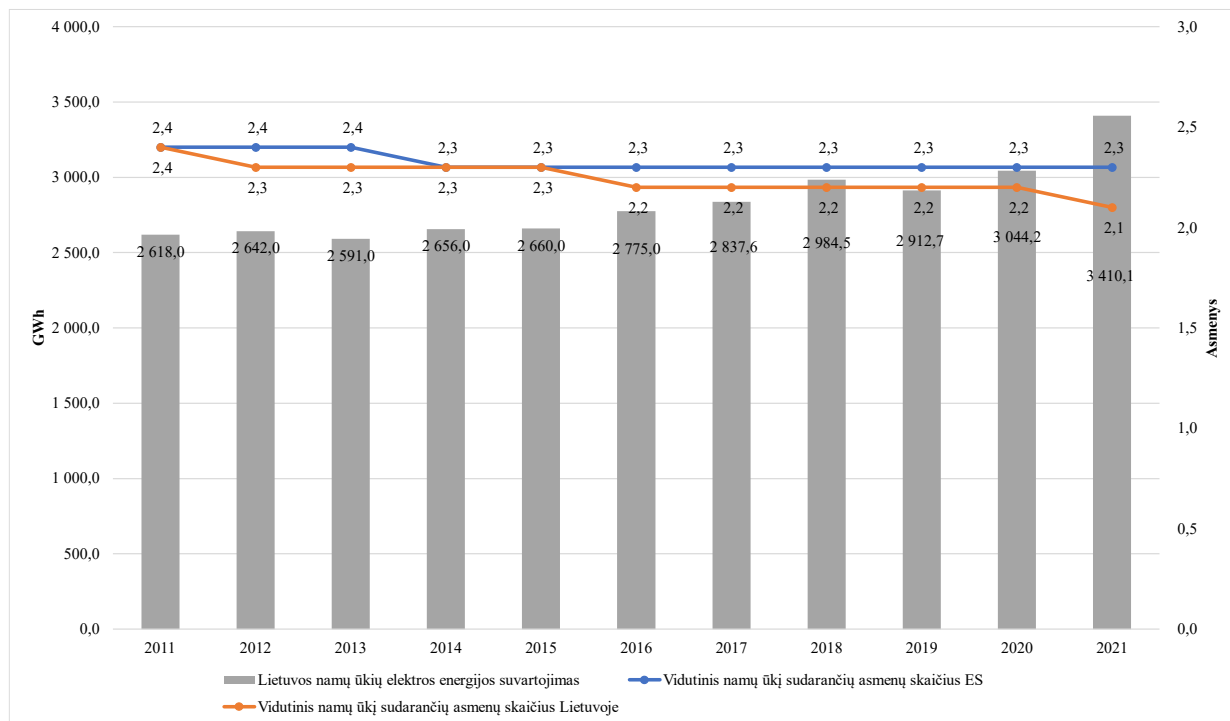


7 pav. Naudingasis būsto plotas tenkantis vienam gyventojui Lietuvoje bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2013–2021 m., m² ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]

Šeimos dydis. Namų ūkį sudarančių asmenų skaičius yra dar vienas veiksnys, kuris turi įtaką namų ūkio elektros energijos poreikiams. Mokslinėje literatūroje [51] identifikuojama, jog tarp namų ūkio asmenų skaičiaus ir namų ūkio elektros energijos suvartojimo egzistuoja teigiamas ryšys, t. y. padidėjęs asmenų skaičius namų ūkyje didina elektros energijos poreikius. Leahy'aus ir Lyons'o [45] tyrime nustatyta, jog Airijos namų ūkiuose, kuriuos sudaro 1 asmuo, per savaitę suvartojama 19 proc. mažiau elektros energijos nei namų ūkiuose, kuriuos sudaro 2 asmenys. Dash [52] tyrime nustatyta, jog šeimos, kurias sudaro daugiau nei 3 asmenys, suvartoja elektros energijos daugiau ir jų mėnesinės elektros sąnaudos apytiksliai yra 2 140 rupijų (24 eurų¹) didesnės nei namų ūkių, kurių sudėtyje yra iki 3 asmenų. Genjo [53] tyrimo, kuriame taikytas regresinės analizės metodas Japonijoje, rezultatai atskleidė, jog didėjant asmenų skaičiui šeimoje elektros energijos poreikiai apšvietimui ir kitiems elektros imtuvų prietaisams padidėja 230 kWh vienam gyventojui. Tiwari'io [44] tyrime identifiukuota, jog kiekvienas papildomas šeimos narys Indijos namų ūkiuose padidina elektros energijos suvartojimą 7,7 proc. Kinijoje kiekvienas papildomas asmuo namų ūkyje elektros poreikius padidina 8 proc. [50], Nyderlandų namų ūkiuose – 21 proc. [54]. Kita vertus, mokslinėje literatūroje [41] taip pat aprašoma, jog tarp mažesnių (iki 4 asmenų) ir didesnių (daugiau nei 4 asmenys) šeimų turimų elektros imtuvų prietaisų skaičius reikšmingai nesiskiria, o koreliacija tarp šeimos dydžio ir elektros energijos suvartojimo yra silpna – koeficientas svyruoja nuo 0,075 iki 0,190. Be to, Lenzen'o ir kt. [55] atliktame regresinės analizės tyrime, kuriame analizuoti Sidnėjaus namų ūkiai, nustatyta, jog tarp šeimos dydžio ir elektros energijos sąnaudų, tenkančių vienam asmeniui, egzistuoja neigiama koreliacija, nes šeimos nariai paprastai dalijasi elektros imtuvų prietaisais. Mokslininkai [56, 57] taip pat analizuoja, jog namų ūkyje padaugėjus asmenų skaičiui bendras elektros energijos suvartojimas padidėja, tačiau dėl patiriamos masto ekonomijos tokie namų ūkiai paprastai pasižymi efektyvesniu elektros energijos suvartojimu tenkančiu vienam asmeniui. Analizuojant Lietuvos vidutinį namų ūkį sudarančių asmenų skaičių (žr. 8 pav.) pastebima, jog šis rodiklis analizuojamu laikotarpiu pasižymi

¹ Remiantis 2023 m. gegužės 31 d. valiutos kursu 1 Indijos rupija = 0,0113 euro.

mažėjimo tendencija, t. y. vis mažesnis skaičius asmenų sudaro Lietuvos namų ūkius. Identifikuojama, jog visu laikotarpiu, išskyrus 2011 m., 2014 m. ir 2015 m., vidutinis asmenų skaičius Lietuvos namų ūkiuose buvo žemesnis nei ES vidurkis. Vis dėlto namų ūkių elektros energijos poreikiai augantys, todėl galimai šeimos dydis neturi reikšmingą įtaką elektros energijos suvartojimui Lietuvoje.



8 pav. Vidutinis namų ūkį sudarančių asmenų skaičius Lietuvoje ir ES bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., asmenys ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 58]

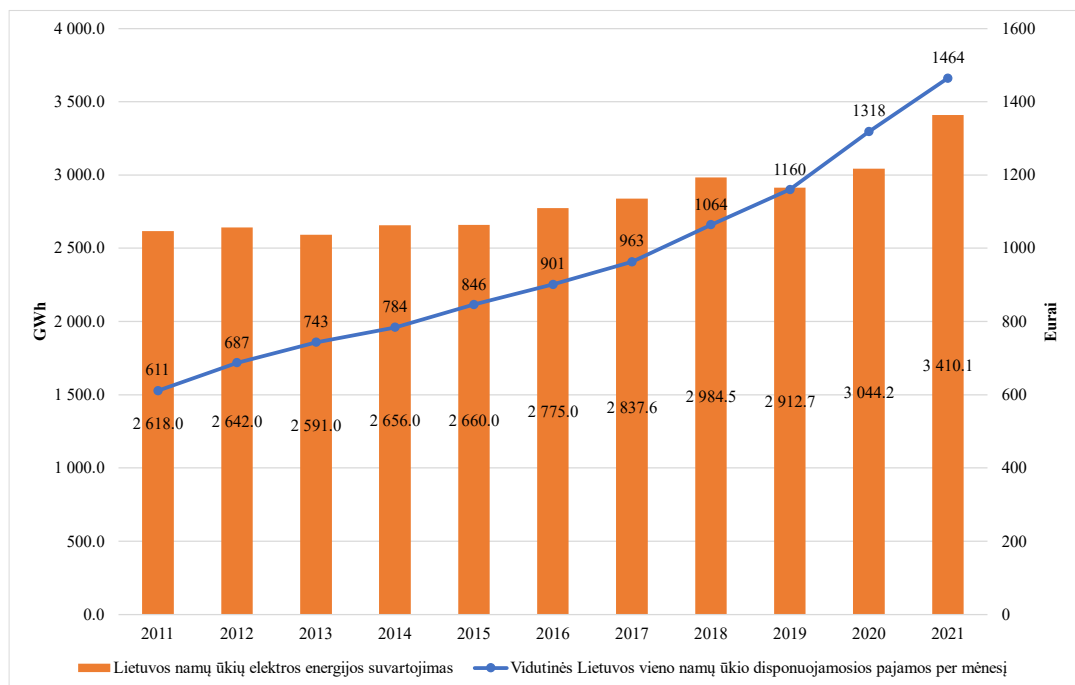
Namų ūkio pajamos. Namų ūkio pajamos yra dar vienas mokslinėje literatūroje dažnai analizuojamas veiksnys, kuris turi įtaką elektros energijos poreikiams. Jiang'o [47] tyrime, kuriame taikyti ekonometriniai analizės metodai, nustatyta, jog metiniam Kinijos namų ūkio pajamų lygiui siekiant 150 000–200 000 juanių (19 751–26 335 eurų²), 200 000–250 000 juanių (26 335–32 919 eurų) ir 250 000–300 000 juanių (32 919–39 506 eurų), tarp šio veiksnio ir elektros energijos suvartojimo egzistuoja statistiškai reikšmingas ryšys esant 1 proc. patikimumo lygiui. Yohanis'o [59] atliktas tyrimas identifikavo, jog Šiaurės Airijos namų ūkiai, kurių metinės pajamos siekia daugiau kaip 30 000 svarų (34 913 eurų³), vakaro metu energijos suvartoja 2,5 karto daugiau nei žemo metinio pajamų lygio – mažiau nei 10 000 svarų (11 637 eurų), namų ūkiai. Didžiosios Britanijos namų ūkiai, kurių metinis pajamų lygis yra didesnis nei 75 000 svarų (87 282 eurų), elektros energijos suvartoja 1,9 karto daugiau nei žemo metinio pajamų lygio – mažiau nei 10 000 svarų (11 637 eurų), namų ūkiai [60]. Remiantis Genjo ir kt. [53] atlikta apklausos duomenų regresine analize nustatyta, jog didėjant metinių pajamų lygiui, Japonijos namų ūkiuose elektros energijos suvartojimas auga tiesiškai, o kasmet metinėms namų ūkio pajamoms padidėjus 27 000 JAV dolerių (25 293 eurų⁴), elektros energijos poreikiai apšvietimui ir kitiems elektros imtuvų prietaisams padidėja 350 kWh. Be to, Ali'io ir kt. [61] tyrime, kuriame analizuotos sparčiai besivystančios šalys, pavyzdžiui, Malaizija,

² Remiantis 2023 m. gegužės 31 d. valiutos kursu 1 Kinijos juanis = 0,13 euro.

³ Remiantis 2023 m. gegužės 31 d. valiutos kursu 1 Didžiosios Britanijos svaras = 1,16 euro.

⁴ Remiantis 2023 m. gegužės 31 d. valiutos kursu 1 JAV doleris = 0,94 euro.

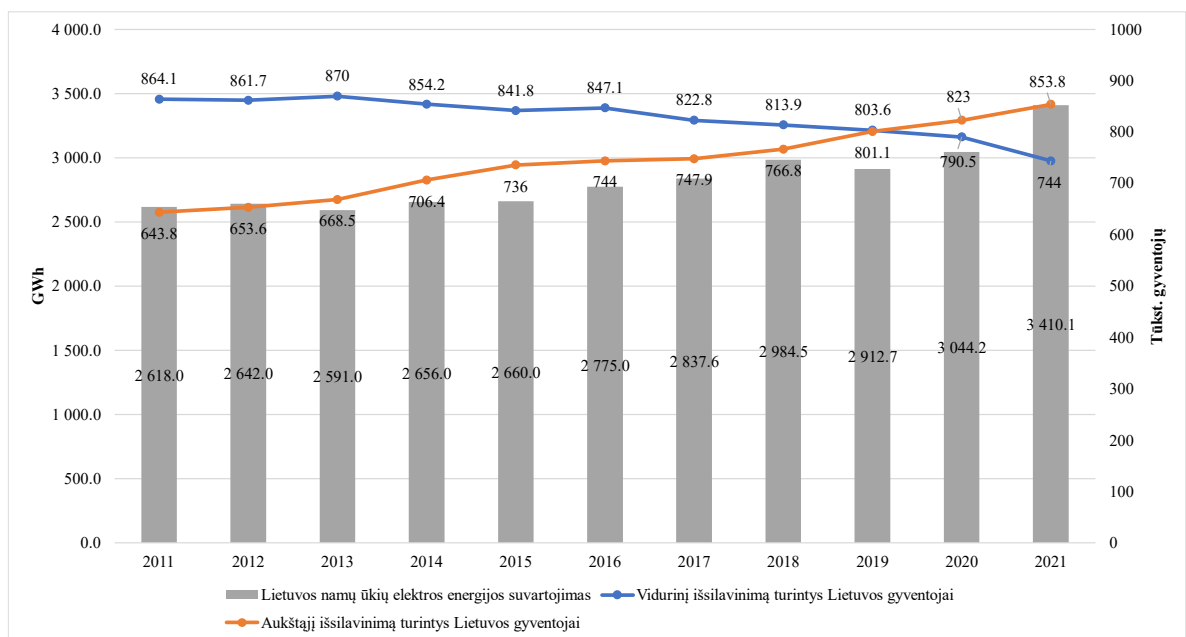
identifikavo, jog mėnesinės namų ūkių pajamos lemia maždaug 12,9 proc. bendro mėnesinio elektros energijos suvartojimo (kWh) kitimo, o kiekvienas namų ūkių pajamų vieneto prieaugis padidina maždaug 0,378 kWh per mėnesį suvartojamos elektros energijos kiekį. Taigi, didėjant metinių namų ūkių pajamų lygiui, žmonės turi galimybę pagerinti savo gyvenimo sąlygas, pavyzdžiui, įsigyti didesnį kiekį elektros imtuvų prietaisų, o tai atitinkamai lemia namų ūkių elektros energijos poreikių padidėjimą [47]. Kita vertus, mažesnes pajamas gaunantys namų ūkiai labiau atsižvelgia į gaunamas sąskaitas už energiją, todėl jie yra linkę taupyti energiją ir dažnai atjungia maitinimą, kai nebesinaudoja elektros įranga [47]. Analizuojant Lietuvos vidutines vieno namų ūkių disponuojamas pajamas, t. y. pajamų dalis, kurias atskaičius mokesčius namų ūkis gali išleisti ar taupyti [62], per mėnesį (žr. 9 pav.) pastebima, jog šis rodiklis visu analizuojamu laikotarpiu didėja. Paskaičiuota, jog nuo 2011 m. iki 2021 m. vidutinės Lietuvos vieno namų ūkių disponuojamos pajamos per mėnesį padidėjo daugiau kaip 82 proc. Be to, atkreipiamas dėmesys, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas taip pat pasižymi augimo tendencija, kuriai galimai įtaką turi augantis namų ūkių mėnesinis pajamų lygis.



9 pav. Vidutinės Lietuvos vieno namų ūkių disponuojamosios pajamos per mėnesį bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., eurai ir kWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]

Išsilavinimo lygis. Išsilavinimo lygis taip pat yra vienas iš veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos vartojimo poreikiams. Mokslinėje literatūroje [41, 47] identifikuojama, jog tarp namų ūkių išsilavinimo lygio ir elektros energijos suvartojimo egzistuoja neigiamas ryšys, t. y. didesnis išsilavinimo lygis skatina elektros energijos poreikių mažėjimą. Pavyzdžiui, Jiang'o [47] regresinės analizės tyrime nustatyta, jog su 99 proc. tikimybe apklausoje dalyvavusių respondentų išsilavinimo lygis (vidurinis ir aukštasis) neigiamai koreliuoja su energijos kiekiu tenkančiu vienam gyventojui. Be to, identifiikuota, jog didėjant išsilavinimo lygiui atitinkamai didėja ir žmonių supratimas apie energijos vartojimo efektyvumą [47]. Yang ir Liu [64] analizuoja, jog aukštesnio išsilavinimo žmonės labiau išmano aplinkos apsaugos principus bei padidėjusio anglies dvideginio išmetimo pavojus, todėl kasdieniame gyvenime įprastai tokie žmonės yra linkę taupyti energiją arba rinktis švaresnius, nedaug anglies dvideginio į aplinką išskiriančius, energijos šaltinius. Aukštesnio išsilavinę žmonės taip pat labiau supranta energijos taupymo privalumus, todėl dažnai renkasi efektyvesnę buitinę

techniką, kuri pasižymi energijos taupymo funkcijomis, ir tokiu būdu sumažina vienam gyventojui tenkančios buitinės elektros energijos kiekį [47]. Bhushan'o [65] tyrime analizuotas intervencinių gyventojų energijos taupymo skatinimo programų poveikis ir nustatyta, jog tokios programos yra veiksmingos ir prisideda prie elektros energijos poreikių mažinimo, nes programų metu suteikiamos žinios apie elektros energijos taupymo galimybes bei stiprinama motyvacija taupyti elektros energiją. Priešingai, dalyje tyrimų [50, 61] identifikuota, jog išsilavinimo lygis gali padidinti elektros energijos poreikius. Pavyzdžiui, Zhou ir Teng'o [50] tyrime nustatyta, jog šeimos, kurios pasižymi aukštesniu išsilavinimu nei tik pradinio lygmens, Kinijoje suvartoja daugiau energijos. Ali'is ir kt. [61] teigia, jog aukštesnis išsilavinimo lygis yra susijęs su tikimybe turėti daugiau elektros imtuvų prietaisų, todėl tai gali lemti tam tikrais atvejais elektros energijos poreikių padidėjimą. Kita vertus, Bedir ir kt. [43] tyrime, kuriame taikytas regresinės analizės metodas, nustatyta, jog išsilavinimo lygis neturi statistiškai reikšmingą įtaką Danijos gyventojų elektros energijos poreikiams. Analizuojant Lietuvos gyventojų išsilavinimo lygį (žr. 10 pav.) pastebima, jog aukštąjį išsilavinimą turinčių asmenų skaičius yra didėjantis, o nuo 2019 m. viršija vidurinį išsilavinimą turinčių gyventojų skaičių, nes pastarasis dydis pasižymi mažėjančia tendencija. Paskaičiuota, jog 2021 m. aukštąjį išsilavinimą turinčių asmenų skaičius buvo 15 proc. didesnis nei vidurinį išsilavinimą turinčių asmenų skaičius. Taigi, išlieka tikimybė, jog didėjantis Lietuvos namų ūkių išsilavinimo lygis turi įtaką augantiems namų ūkių elektros energijos poreikiams.



10 pav. Vidurinį ir aukštąjį išsilavinimą turintys Lietuvos gyventojai bei Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas, 2011–2021 m., tūkst. gyventojų ir GWh [sudaryta autoriaus pagal 8, 63]

Taigi, atlikus mikroaplinkos veiksnių analizę galima pasakyti, jog dažnu atveju didesnis kambarių skaičius ir didesnis bendras būsto plotas didina namų ūkių elektros energijos poreikius, nes reikalingas didesnis elektros energijos kiekis patalpų šildymui, vėsinimui bei apšvietimui. Kita vertus, dalis tyrimų atskleidė, jog šie veiksniai gali būti nereikšmingi ir neturėti įtaką elektros energijos suvartojimui. Analizuojant namų ūkių sudarančių asmenų skaičiaus įtaką elektros energijos poreikiams buvo nustatyta, jog padidėjęs asmenų skaičius namų ūkyje lemia didesnius bendrus elektros energijos poreikius, nes įsigyjamas didesnis skaičius elektros imtuvų prietaisų, tačiau paprastai dėl patiriamos masto ekonomijos elektros energijos suvartojimas tenkantis vienam asmeniui sumažėja. Atlikta analizė taip pat parodė, jog didesnes pajamas gaunančių namų ūkių elektros energijos poreikiai yra

didesni nei mažas pajamas gaunančių namų ūkių, Be to, aukštesnį išsilavinimą turintys namų ūkiai įprastai labiau išmano aplinkos apsaugos principus ir užterštumo pavojus, todėl tokie žmonės yra linkę taupyti energiją arba pasirinkti efektyvesnę buitinę techniką. Tačiau dalis tyrimų identifikavo, jog aukštesnį išsilavinimą turinčių namų ūkių elektros energijos poreikiai gali ir padidėti, nes aukštesnis išsilavinimo lygis yra susijęs su tikimybe turėti daugiau elektros imtuvų prietaisų. Dalis tyrimų taip pat rodo, jog šis veiksnys gali ir neturėti reikšmingą įtaką namų ūkių elektros energijos poreikiams.

2. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimo metodų analizė

Šiame skyriuje yra analizuojama elektros energijos poreikių prognozavimo eiga, nagrinėjami pagrindiniai metodai (modeliai), kurie naudojami elektros energijos poreikių prognozavimui, ir aptariami įvairiose šalyse pritaikytų tyrimų pavyzdžiai.

2.1. Elektros energijos poreikių prognozavimo eiga

Mokslinėje literatūroje [66] prognozavimas yra apibūdinamas kaip būsimos veiklos, įvykių ar reiškinių numatymas bei įvertinimas, o būtent elektros energijos poreikio prognozavimas apima būsimos elektros energijos suvartojimo įvertinimą naudojant įvairius turimus duomenis ir informaciją. Įprastai poreikio prognozavimas atliekamas naudojant specialiai tam sukurtus matematinius modelius, į kuriuos yra projektuojami praeities duomenys ar informacija, jog būtų galima numatyti energijos paklausos tendencijas ateityje. Tikslios energijos paklausos prognozės gali padėti šalių vyriausybėms tobulinti šalies energijos tiekimo grafikus bei suformuoti tinkamiausius pasiūlymus energijos tiekimo sistemų veiklos planavime [67].

Elektros energijos paklausos prognozavimą, priklausomai nuo prognozuojamo laikotarpio trukmės, galima išskirstyti į tris kategorijas (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Elektros energijos paklausos prognozavimo kategorijos [66, 68]

Prognozavimo kategorija	Prognozavimo laikotarpio trukmė	Taikomumas
Trumpalaikis	Nuo 1 val. iki 1 sav.	Skirstomojo tinklo planavimui ir analizėms
Vidutinės trukmės	Nuo 1 mėn. iki 5 m.	Elektros energijos gamybos išteklių ir tarifų planavimui
Ilgalaikis	Nuo 5 m. iki 20 m.	Išteklių valdymui ir plėtros investicijoms

Identifikuojama, jog elektros energijos poreikis keičiasi priklausomai nuo laiko, klimato kintamųjų, socialinių, ekonominių ir demografinių parametrų, todėl tikslus energijos suvartojimo vertės prognozavimas yra ne tik svarbus, bet ir sudėtingas reiškinys [69].

Prognozavimo svarba. Elektros energijos poreikio prognozavimas yra itin svarbus įvairiuose srityse, pvz., inicijuojant plėtros planus, priimant eksploatavimo ir techninės priežiūros sprendimus bei vykdant strateginį energetikos planavimą [66]. Elektros energijos paklausos prognozavimo tikslumas daro didelę įtaką elektros energijos gamintojų, perdavimo ir (arba) paskirstymo operatorių sąnaudoms ir pajamoms, taip pat šių išvardintų organizacijų finansiniams rezultatams bei tvarumui. Be to, valstybių politikams prognozuojama energijos paklausa yra naudinga priimant sprendimus, susijusius su energetiniu saugumu ir infrastruktūros plėtra [66]. Išsamiau elektros energijos poreikių prognozavimo svarbą analizuoja Agrawal'as [70] (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Elektros energijos poreikių prognozavimo svarba [66, 70]

Svarba	Paaiškinimas
Politika ir planavimas	Politikai gali tinkamai planuoti naujus įstatymus ar sprendimus, pagrįstus prognozuojamu būsimu elektros energijos poreikiu.
Optimalus tiekimo grafikas	Elektros energijos gamintojai gali optimaliai paskirstyti energiją ir taip sumažinti riziką, jog bus gaminama per mažai arba per daug energijos.

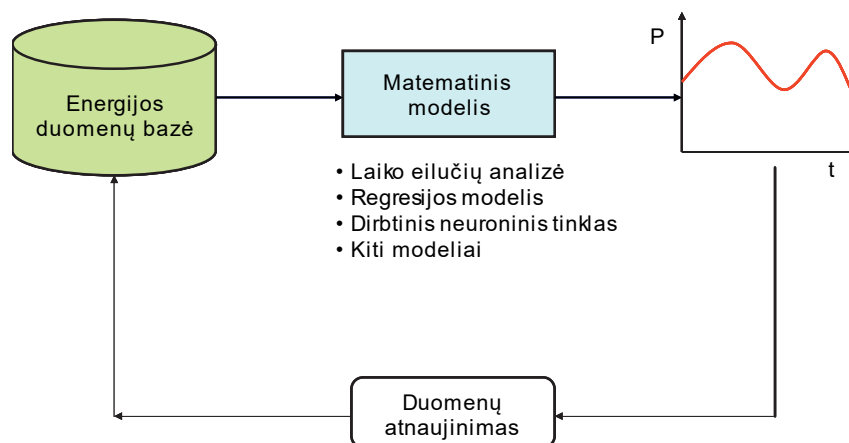
2 lentelės tęsinys

Svarba	Paaškinimas
Kuro rūšių parinkimas	Kuro tiekimo planavimo ir kuro parinkimo elektrinėms palengvinimas.
Elektrinių ir tinklų planavimas	Svarbūs priimant sprendimus dėl būsimų elektrinių ir elektros perdavimo ir (arba) skirstymo tinklų dydžio, vietos, tipo.
Paklausos valdymas	Leidžia elektros energijos paslaugų teikėjams arba politikams sudaryti reikalingus paklausos valdymo planus taikant paskatas, nuobaudas ir kitas priemones.
Atsinaujinančių energijos išteklių planavimas	Padedą priimti sprendimus dėl atsinaujinančių energijos išteklių gamybos įrenginių vietos ir dydžio.

Prognozavimo iššūkiai. Prognozuojant energijos poreikį atsiranda ir tam tikrų iššūkių. Energijos paklausai įtaką gali turėti ne tik ekonominiai, bet ir socialiniai bei aplinkos veiksniai, ypač klimato sąlygos [66]. Staigūs ir nenumatyti klimato pokyčiai gali turėti didelę įtaką trumpalaikėms ir vidutinės trukmės prognozėms, todėl tikslus energijos paklausos prognozavimas priklauso nuo sudarytų prielaidų apie oro sąlygas [66]. Mokslinėje literatūroje [66] yra pabrėžiami ir kiti kylantys techniniai iššūkiai:

- energijos vartojimo elgsenos neapibrėžtumas dėl ekonominių ir socialinių veiksnių pokyčių. Pavyzdžiui, dėl netikėtų įvykių (pandemija, stichinės nelaimės ir pan.) elektros energijos vartojimas gali reikšmingai sumažėti arba padidėti;
- sunkumai nustatant tikslas koreliacijas tarp elektros energijos poreikio ir jam darančių įtaką veiksnių. Šis apribojimas gali turėti įtaką matematiniam modeliui, pagal kurį sudaroma paklausos prognozė.

Prognozavimo procesas. Kaip jau buvo minėta, elektros energijos poreikio prognozavimas yra sudėtingas procesas, tačiau šioje dalyje analizuojama supaprastinta jo versija (žr. 11 pav.). Įprastai prognozavimas pradedamas nuo tinkamos energijos duomenų bazės, kuri sudaryta iš patikimų istorinių duomenų, pasirinkimo. Į tokią duomenų bazę turėtų būti įtraukti energijos paklausos duomenys bei kiti kintamieji, kurie turi įtaką energijos suvartojimui [66]. Šie duomenys yra naudojami kaip įvesties parametrai pasirinktam prognozavimo modeliui, kurio išėjimo rezultatas bus prognozuojamas energijos poreikis. Dažnai toks procesas yra laikomas nenutrūkstamu, nes duomenų bazė yra periodiškai papildoma naujais duomenimis, todėl laikui bėgant prognozės yra atnaujinamos [66].



11 pav. Supaprastintas energijos poreikio prognozavimo procesas [71]

Mokslinėje literatūroje yra pateikiama daug įvairių elektros energijos poreikių prognozavimo metodų, tačiau tipinė prognozavimo eiga apima šiuos pagrindinius etapus [66]:

- **prognozuojamų kintamųjų apimties nustatymas** – pradiniam etape nustatoma prognozuojamų kintamųjų apimtis, kuri apima konkrečių prognozuojamų elementų, kintamųjų matavimo vienetų ir pageidaujamo prognozavimo laikotarpio nustatymą [72]. Paprastai šiame etape siekiama atsakyti į tris pagrindinius klausimus: „Kas?“, „Kur?“ ir „Kada?“;
- **duomenų įvertinimas** – šis etapas yra būtinas, jog būtų galima nustatyti, kokie duomenys yra reikiami prognozavimui ir ar jie yra prieinami [72]. Duomenų prieinamumas ir pobūdis turi didelę įtaką prognozės metodologijai ir tikslumui;
- **prognozavimo modelio pasirinkimas** – renkantis prognozavimo modelį, paprastai reikia įvertinti įvairius veiksnius, pavyzdžiui, modelio tikslumą ir sudėtingumą bei duomenų prieinamumą [72];
- **prognozavimo atlikimas** – šio etapo metu sudarytos duomenų bazės duomenys yra įvedami į pasirinktą prognozavimo modelį, kad būtų gaunami prognozuojami rezultatai;
- **prognozės tikslumo įvertinimas** – elektros energijos poreikio prognozavimas įprastai yra nuolatinis procesas, tačiau tam tikruose projektuose gali būti taikomos ir vienkartinės prognozės [72]. Prognozės tikslumas turi būti nuolatos stebimas ir vertinamas, todėl atsiradus tam tikriems nenumatytiems veiksniams, reikia atitinkamai koreguoti duomenų bazę ir (arba) modelį.

Apibendrinant galima pasakyti, jog elektros energijos poreikių prognozavimas yra svarbus procesas, kuris yra naudingas daugeliui sričių, pavyzdžiui, politikams, energijos gamintojams, energijos perdavimo ir (arba) skirstymo operatoriams ir t. t. Prognozavimas gali būti trumpalaikis, vidutinės trukmės arba ilgalaikis, priklausomai nuo pasirinktos prognozavimo taikymo srities. Be to, elektros energijos poreikio prognozių tikslumui įtaką gali turėti įvairūs nenuspėjami veiksniai, tokie kaip, socialiniai, ekonominiai pokyčiai ar aplinkos sąlygos. Identifikuota, jog pagrindiniai elektros energijos poreikio prognozavimo etapai yra susiję su prognozės apimties nustatymu, turimų duomenų įvertinimu, tinkamo prognozavimo modelio parinkimu, duomenų įvedimu prognozuojamiems rezultatams gauti bei prognozės tikslumo įvertinimu. Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, jog elektros energijos poreikio prognozavimas atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį optimizuojant išteklių paskirstymą, gerinant energijos vartojimo efektyvumą ir palengvinant tvarios energijos planavimą.

2.2. Elektros energijos poreikių prognozavimo metodai

Elektros energijos poreikių prognozavimo metodai gali būti skirstomi į dvi pagrindines kategorijas: priežastiniais (angl. *causal*) ir istoriniais (angl. *historical*) duomenimis pagrįsti metodai [68]. Taikant priežastinius metodus, elektros energijos suvartojimas, kaip išvesties parametras, ir kai kurie įvesties kintamieji, tokie kaip, ekonominiai, socialiniai ir klimato veiksniai, yra susiję priežastiniu ryšiu [68]. Svarbu paminėti, jog priežastinis ryšys identifikuojamas tuomet, kai vienas duomenų rinkinio kintamasis daro tiesioginę įtaką kitam kintamajam, t. y. vienas įvykis sukelia kitą įvykį [73]. Dažniausiai naudojami priežastiniai metodai, skirti energijos poreikiui prognozuoti yra dirbtinio neuroninio tinklo (toliau – DNT) (angl. *artificial neural network (ANN)*) ir regresijos modeliai. Kita vertus, istoriniais duomenimis grindžiami metodai naudoja ankstesnes kintamojo vertes jo būsimoms vertėms prognozuoti [68]. Keletas tokio tipo prognozavimo metodų yra laiko eilučių analizės, Grey prognozavimo ir autoregresiniai modeliai [74]. Suganthi ir Samuel'is [75] pateikia ir kitus

papildomus energijos paklausos prognozavimo modelių tipus, pavyzdžiui, statiniai ir dinaminiai, vienmačiai (angl. *univariate*) ir daugiamačiai (angl. *multivariate*) bei hibridiniai modeliai.

Ghalekhondabi'io ir kt. [68] atliktoje apžvalginių straipsnių analizėje apie energijos poreikių prognozavimą, nustatyta, jog visi autoriai vieningai sutaria, kad nėra vieno tinkamo metodo, kuris pagal prognozavimo tikslumo rodiklius būtų pranašesnis už kitus metodus visais atvejais. Taip pat mokslininkų atliktame tyrime [68] daug dėmesio skiriama dešimties dažniausiai naudotų energijos poreikių prognozavimo modelių nuo 2005 m. iki 2015 m. apžvalgai. Tyrime yra aptariami tokie pagrindiniai energijos poreikių prognozavimo metodai [68]:

- DNT;
- neraiškos logikos (angl. *fuzzy logic*);
- laiko eilučių analizės;
- Grey prognozavimo;
- autoregresiniai slenkamojo vidurkio (angl. *autoregressive moving average (ARMA)*), autoregresiniai integruoto slenkamojo vidurkio (angl. *autoregressive integrated moving average (ARIMA)*) ir sezoniniai autoregresiniai integruoto slenkamojo vidurkio (angl. *seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA)*);
- regresijos modeliai;
- atraminių vektorių mašinos (angl. *support vector machines (SVM)*);
- genetinis algoritmas;
- ekonometriniai modeliai;
- sistemų dinamikos modeliai.

Mokslininkai Suganthi ir Samuel'is [75] savo apžvalginiame straipsnyje pateikia kelis papildomus modelius, tinkamus energijos poreikių prognozavimui:

- skaidymo modeliai;
- kointegracijos modeliai;
- įvesties – išvesties modeliai;
- integruoti modeliai, pvz., autoregresiniai, atraminių vektorių regresija;
- kiti modeliai, pvz., rinkos ir paskirstymo modelis (MARKAL), ilgo nuotolio energijos alternatyvų planavimo sistema (LEAP).

Ghods'as ir Kalantar'as [76] pateikia pagrindinius ilgalaikės prognozavimo trukmės modelius, kurie gali būti skirstomi į parametrinius metodus ir metodus paremtus dirbtiniu intelektu. Pastarieji metodai gali būti skirstomi į neuroninių tinklų, genetinių algoritmų, bangelių tinklo (angl. *wavelet networks*) ar neraiškos logikos metodus. Tačiau parametriniams arba dar kitaip vadinamiems tradiciniams statistiniams prognozavimo metodams priklauso regresijos modeliai, laiko eilučių analizė ir ekonometriniai modeliai [76]. Būtent parametriniai metodai yra plačiai naudojami elektros energijos paklausos prognozavimui daugelyje šalių dėl savo patikimų rezultatų [76]. Kita vertus, dirbtiniu intelektu paremti metodai gali padėti spręsti netiesinius uždavinius bei atlikti ilgalaikį prognozavimą su dideliu skaičiumi kintamųjų. Bianco'as ir kt. [77] pateikia energijos poreikių prognozavimo modelių skirstymą į „iš apačios į viršų“ modelius (angl. *bottom-up models*) ir „iš viršaus į apačią“ modelius (angl. *top-down models*). „Iš apačios į viršų“ modeliai remiasi išsamium šalies, miesto, energetikos sistemų aprašymu ir atsižvelgiant į plėtojamų veiklų, pvz., pramonės, transporto ar šildymo, intensyvumu atitinkamai apskaičiuojamas energijos suvartojimas bei išmetamas teršalų kiekis į aplinką [78]. Pagrindinis tokių modelių trūkumas yra, jog reikiamų aprašymų pateikimui reikia labai daug kintamųjų. Tarp tokių modelių pavyzdžių yra anksčiau paminėti Suganthi ir

Samuel'io [75] modeliai – MARKAL, LEAP. Kita vertus, „iš viršaus į apačią“ tipo modeliai energijos poreikio prognozavimą atlieka remiantis atitinkamais makrokintamaisiais, tokiais kaip, BVP, gyventojų skaičius, klimato sąlygos ir pan. Šie parametrai tarpusavyje susieti lygtimis, sudarytomis iš koeficientų, apskaičiuotų naudojant statistinius modelius, pvz., ekonometrinę regresiją, DNT [79, 80]. Kiekvienas iš šių paminėtų metodų turi savo trūkumų bei privalumų, tačiau mokslinėje literatūroje nėra identifikuojamos bendros sistemos, kurią būtų galima taikyti visiems prognozavimo atvejams [77].

Apibendrinant galima pasakyti, jog mokslinėje literatūroje pateikiami įvairūs energijos poreikio prognozavimo metodai. Dažniausiai šie metodai yra skirstomi į tradicinius ir dirbtinio intelekto metodus. Atlikus analizę nustatyta, jog regresijos modeliai, ekonometriniai modeliai, laiko eilučių analizė ir ARIMA yra plačiausiai aprašomi tradiciniai metodai. Kita vertus, iš dirbtinio intelekto metodų daugiausiai yra naudojamas DNT. Kiekvienas iš šių išvardintų modelių turi savo privalumų ir trūkumų bei pasižymi skirtingais taikymo principais ir metodikomis, todėl tolimesniuose poskyriuose išsamiau analizuojami plačiausiai mokslinėje literatūroje taikomi energijos poreikių prognozavimo metodai.

2.2.1. Regresijos modeliai

Regresija yra vienas iš plačiausiai taikomų statistinių metodų, skirtų prognozavimui. Įprastai regresijos modelis aprašo prognozavimo funkciją apskaičiavus priklausomo kintamojo vertę pagal vieną ar daugiau nepriklausomų kintamųjų [68]. Regresijos metodą, taikomą energijos poreikio prognozavimui, įprastai sudaro du etapai [66]:

1. regresijos modelio sudarymas. Sudarytu modeliu siekiama parodyti ryšį tarp energijos poreikio ir kitų kintamųjų, kurie gali turėti įtaką poreikiui, pvz., BVP, namų ūkio pajamos ir pan. Šiuo atveju energijos poreikis yra vadinamas atsaku arba priklausomu kintamuoju (angl. *response/dependent variable*), o įtaką darantys kintamieji – prediktoriai arba nepriklausomais kintamaisiais (angl. *predictor/independent variable*);
2. iteracinis regresijos analizės procesas. Šio proceso metu siekiama pakartotinai išanalizuoti, patikrinti ir pakeisti sudaryto modelio koeficientus, kol bus nustatytas geriausias priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų ryšys.

Įprastai regresija yra skirstoma į tiesinę ir netiesinę regresiją. Tiesinės regresijos modeliai papildomai skirstomi į vienmačius – paprastoji tiesinė regresija (angl. *simple linear regression*) ir daugialypė tiesinė regresija (angl. *multiple linear regresssion*), bei daugiamatius [66]. Bendrai tiesinė regresija yra linijinis metodas, kuris skirtas apibrėžti ryšį tarp priklausomo kintamojo ir vieno arba daugiau nepriklausomų kintamųjų. Regresija, kurioje yra daugiau negu vienas nepriklausomas kintamasis, yra vadinama daugialype tiesine regresija. Vienmatė regresija yra vadinama tuomet, kai tiriamas ryšys tik su vienu priklausomu kintamuoju [66]. Toliau kiekvienas iš regresijos tipų yra analizuojamas išsamiau.

Paprastoji tiesinė regresija. Lygtis (1) apibrėžia paprastą tiesinės regresijos modelį, kuris taip pat vadinamas dviejų kintamųjų tiesinės regresijos modeliu [82]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon; \quad (1)$$

čia y – priklausomas kintamasis; β_0 – laisvasis narys arba konstanta (angl. *intercept*), t. y. y reikšmė, kai x lygus 0; β_1 – krypties koeficientas (angl. *slope*), kuris parodo kiek pakinta y , kai x pakinta

vienetu; x – nepriklausomas kintamasis; ε – liekamosios paklaidos (angl. *residuals*), kurios parodo kitus veiksnius nei x , kurie turi įtaką y [82].

Prognozuojama vertė iš (1) lygties yra išreiškiama (2) lygtimi [66]:

$$\hat{y} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 x; \quad (2)$$

čia $\hat{y}$ – prognozuojama vertė; $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1$ – regresijos koeficientų įverčiai.

Daugialypė tiesinė regresija. Šis regresijos tipas yra apibrėžiamas (2) lygtimi. Pagrindinis skirtumas yra, jog šio tipo regresija yra sudaryta iš daugiau nei vieno nepriklausomo kintamojo [82]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon = \beta_0 + (\sum \beta_k x_k) + \varepsilon; \quad (3)$$

čia $\beta_1, \beta_2, \beta_k$ – krypties koeficientai; x_1, x_2, x_k – nepriklausomi kintamieji.

Prognozuojama vertė iš daugialypės tiesinės regresijos (3) lygties yra išreiškiama (4) lygtimi [66]:

$$\hat{y} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 x_1 + \widehat{\beta}_2 x_2 + \dots + \widehat{\beta}_k x_k; \quad (4)$$

čia $\hat{y}$ – prognozuojama vertė; $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1, \widehat{\beta}_2, \widehat{\beta}_k$ – regresijos koeficientų įverčiai.

Daugiamatė tiesinė regresija. Šis metodas leidžia apibendrinti kelis daugialypės regresijos metodus bei ištirti tiesinio ryšio tikimybę tarp kelių nepriklausomų kintamųjų ir kelių atsako parametrų, t. y. galima lengviau įvertinti kiekvieno iš nepriklausomų kintamųjų ryšį su atsaku atskirai [66]. Iš (3) lygties galima išreikšti dviejų ir daugiau atsako kintamųjų prognozavimo lygtį (5) [83]:

$$\hat{y}_i = \widehat{\beta}_{i,0} + \widehat{\beta}_{i,1} x_{i,1} + \widehat{\beta}_{i,2} x_{i,2} + \dots + \widehat{\beta}_{i,k} x_{i,k}; \quad (5)$$

Daugiamatėje regresijoje ne tik nepriklausomi kintamieji koreliuoja vienas su kitu, bet ir priklausomi kintamieji koreliuoja vienas su kitu bei su nepriklausomais kintamaisiais [83].

Netiesinė regresija. Prognozuojant elektros energijos poreikį pagal netiesinės regresijos metodą stebimi duomenys yra modeliuojami netiesine funkcija, o atsako kintamieji priklauso nuo vieno arba daugiau nepriklausomų kintamųjų, taip pat netiesinės regresijos metodai gali apimti vieno arba kelių kintamųjų regresiją [83]. Netiesinę regresiją galima išreikšti bendrąja matematine funkcija (f), kuri apibrėžia ryšį tarp priklausomo parametro ir nepriklausomų kintamųjų (6) [83]:

$$y = f(x, \beta) + \varepsilon; \quad (6)$$

čia β – nežinomi parametrai (regresijos koeficientai).

Taip pat iš (6) lygties galima išreikšti netiesinės regresijos prognozavimo lygtį (7) [83]:

$$\hat{y} = f(x, \hat{\beta}); \quad (7)$$

Analizuojant tyrimų pavyzdžius, Kandananond [84] savo tyrime atliko metinio elektros energijos suvartojimo prognozavimą Tailando šalyje naudojant daugialypės regresijos, ARIMA bei DNT modelius. Šiame darbe [84] kaip nepriklausomi kintamieji buvo naudojami BVP, populiacijos, pajamų iš pramonės produktų eksporto, akcijų indekso ir elektros energijos suvartojimo parametrai

1986–2010 m. laikotarpiu. Tyrime [84] mažiausiu vidutinės procentinės absoliutinės paklaidos (angl. *mean absolute percentage error (MAPE)*) įverčiu pasižymėjo DNT modelis (0,99 proc.), o regresijos modelio paklaida buvo didžiausia ir siekė 3,26 proc. [84]. Visgi, tyrime regresijos modelis buvo laikomas pranašesniu už DNT modelį dėl savo paprastumo ir konkurencingų rezultatų [84]. Ngoc'as ir kt. [85] atliko elektros energijos poreikio prognozavimą Vietname 2021–2025 m. laikotarpiui taikant daugialypį tiesinės regresijos modelį. Tyrime [85] modelio sudarymui buvo naudojami populiacijos, elektros kainos ir vidutinių pajamų vienam gyventojui nepriklausomi parametrai, tačiau galutiniam elektros energijos poreikio prognozavimui tyrime buvo pasirinkta naudoti tik populiacijos parametras, kuris buvo statistiškai reikšmingiausias, įvertinus sudarytą pirminę regresijos modelio lygtį. Galutiniai prognozavimo rezultatai Vietname parodė, jog sudaryto modelio MAPE įvertis siekia 0,92 proc., kas atitinkamai reiškia aukštą daugialypio tiesinio regresijos modelio tikslumą [85]. Regresijos analizė taip pat gali būti naudojama ir trumpojo periodo prognozėms. Fumo'o ir Rafe Biswas'o [83] tyrime taikoma paprastosios tiesinės, kvadratinės ir daugialypės regresinės analizės metodai namų ūkio dienos ir valandinio elektros energijos poreikio prognozavimui. Šiame darbe [83] elektros energijos suvartojimo prognozavimas, taikant paprastą tiesinį ir kvadratinį regresijos modelį, atliekamas naudojant lauko temperatūrą kaip nepriklausomą parametras, o daugialypės tiesinės regresijos modeliui sudaryti papildomai naudojamas saulės horizontaliosios spinduliuotės nepriklausomas parametras. Gauti tyrimo [83] rezultatai parodė, jog visi trys regresijos prognozavimo modeliai pasižymi panašiais modelio kokybės – determinacijos koeficiento ir vidutinės kvadratinės paklaidos (angl. *root mean squared error (RMSE)*), įverčiais, todėl visi minėti modeliai geba pakankamai tiksliai prognozuoti elektros energijos poreikį [83]. Atliktas tyrimas pateikė svarbius rezultatus, kurie leidžia suprasti, jog regresijos analizės modeliai yra tinkami bei gali tiksliai prognozuoti ne tik ilgalaikį, bet ir trumpalaikį elektros energijos suvartojimą namų ūkiuose.

Apibendrinant galima pasakyti, jog mokslinėje literatūroje elektros energijos poreikiui prognozuoti daugiausiai taikomas daugialypis tiesinės regresijos modelis, kurio pagalba dažniausiai prognozavimas atliekamas tiek trumpajam, tiek ilgajam periodui. Regresinės analizės metodas yra paprastas ir patogus būdas analizuojant daugiafaktorinius modelius, tačiau kai kuriais atvejais, regresinė analizė yra ribota, nes sunku nuspėti, kuris ir kokios išraiškos veiksnys turi būti naudojamas analizei, todėl tai gali lemti tam tikrų veiksmų įvairovę ir nenusipėjamumą [83].

2.2.2. Laiko eilučių analizės modeliai

Laiko eilučių analizės metodai yra vieni iš paprasčiausių metodų, kurie naudoja laiko eilučių tendencijų analizę, jog ekstrapoliuotą būsimą energijos poreikį [75]. Laiko eilučių analizę galima išskirstyti į dvi dalis [86]:

1. stebimų duomenų struktūros ir pagrindinio dėsninio gavimas;
2. pasirinkto modelio pritaikymas ateities prognozavimui atlikti.

Šis analizės metodas taikomas įvairiose srityse, pvz., ekonominiame prognozavime, procesų ir kokybės kontrolėje, pastatų energijos suvartojimo prognozavime ir pan. [86]. Paprastai laiko eilučių analizės metodas susijęs su eilutės išskaidymu į trys pagrindinius komponentus [86, 87]:

1. tendencija (angl. *trend*) – bendras kintamojo kitimas per visą stebėjimo laikotarpį, neįskaitant sezoniškumo ir netolygumų. Tendencija parodo lėtai vykstančius laiko eilutės pokyčius;
2. sezoniškumas (angl. *seasonality*) – periodiniai analizuojamo kintamojo pasikeitimai, t. y. ciklai kartojasi per nustatytą laikotarpį. Sezoniškumą sudaro poveikiai, kurie yra stabilūs kartu su laiku, dydžiu ir kryptimi;

3. liekanos – laiko eilutės dalis, kurios negalima paaiškinti tendencijos ir sezoniškumo komponentais. Jos taip pat atitinka atsitiktines paklaidas, vadinamas baltuoju triukšmu (angl. *white noise*). Kartais šios paklaidos gali būti didelės ir taip paslėpti laiko eilutės tendenciją ir sezoniškumą.

Paprastai laiko eilučių analizė gali būti skirstoma į vienmatę ir daugiamatę analizę. Vienmatėje analizėje naudojamas tik vienas stebėjimas tam tikrame laiko intervale, pvz., metinis energijos suvartojimas. Daugiamatė analizė yra sudėtingesnė ir naudojama, kai turimos laiko eilučių kintamųjų grupės ir reikia atsižvelgti į jų tarpusavio sąveiką [86]. Labiausiai paplitę vienmatės laiko eilutės analizės metodai yra atraminių vektorių mašinos, neaiškos logikos, Grey prognozavimo modelio ir ARIMA modelio [86]. Pastarasis modelis dėl savo paprastumo yra dažnai naudojamas energijos suvartojimo prognozavime.

Autoregresinis integruotas slenkamojo vidurkio modelis yra populiarus metodas, kuris naudojamas laiko eilutės duomenis pritaikyti prognozei ir atlikti prognozavimą. ARIMA modelį sudaro sujungti autoregresijos (AR) ir slenkančių vidurkių (MA) modeliai. ARMA modelis yra skirtas tik stacionarių laiko eilučių duomenims apibūdinti, todėl ARIMA modelis yra naudojamas tuomet, kai laiko eilučių stacionarumas yra nepakankamas [88]. Modelis gali prognozuoti ateities tendencijas integruodamas praeities duomenis ir suteikdamas jiems autoregresinį komponentą [89]. Šis procesas atliekamas naudojant ankstesnę matavimo reikšmę ir ją padauginus iš numatytų parametrų, jog apskaičiuoti, kiek ji turėtų pasislinkti nuo dabartinės vertės [89]. ARIMA modelis yra apibrėžiamas trimis skirtingais parametrais – p , d , q , kur p – autoregresinė priklausomybė, d – diferencijavimo eilė, q – slenkančio vidurkio vėlavimo eilė [90]. Paprastai ARIMA metodiką sudaro keturi etapai: identifikavimas, vertinimas, diagnostinis modelio patikrinimas ir prognozavimas [91].

Ping'as ir Kamarudin [92] atliko elektros energijos paklausos prognozavimą Malaizijos trims skirtingiems sektoriams: pramonės, gyventojų ir komercijos. Tyrime [92] elektros energijos paklausa prognozuojama 2019–2025 m. laikotarpiui naudojant elektros energijos paklausos duomenis iš 1990–2018 m. Gautos pramonės, gyvenamojo ir komercinio sektorių MAPE vertės buvo mažesnės nei 10 proc. (atitinkamai 1,58 proc., 3,13 proc. ir 5,46 proc.), kas reiškia, jog kiekvieno sektoriaus ARIMA modeliai buvo labai tikslūs atliekant ilgalaikę paklausos prognozę [92]. Tačiau pabrėžiama, jog šio tyrimo [92] metu buvo naudojami tik 29 duomenys būsimam elektros energijos poreikiui prognozuoti, todėl siekiant, kad ateityje tyrimas būtų tikslesnis, kuriant modelį turėtų būti naudojama daugiau duomenų bei veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos paklausos didėjimui [92]. Sharma'os ir Mishra'os [89] tyrime atliekama ilgalaikė elektros suvartojimo prognozė Pensilvanijos valstijai taikant ARIMA modelį. Pasirinkta prognozavimo trukmė: 3–5 m. į priekį, o modelio sudarymui buvo naudojami mėnesiniai 1973–2021 m. elektros suvartojimo duomenys [89]. Sukurtas modelis pasižymėjo mažu MAPE klaidos įverčiu, kuris siekė 10,02 proc. [89]. Gauti tyrimo [89] rezultatai atskleidė, jog ARIMA modelį esant mažoms paklaidoms galima naudoti prognozuojant elektros energijos paklausą. Visgi siekiant didesnio tikslumo, autoriai ARIMA modelį siūlo derinti su kitais prognozavimo metodais [89].

Taigi, atlikti tyrimai parodo, jog ARIMA modelis gali būti tinkamas naudoti prognozuojant ilgalaikį elektros energijos poreikį, nes šis modelis dėl savo paprastos struktūros, didelio modeliavimo greičio ir gero prognozavimo tikslumo [92], užtikrina aukštesnę prognozavimo kokybę lyginant su įprastiniais laiko eilučių analizės modeliais [93]. Tačiau ARIMA modelis turi ir tam tikrų trūkumų, nes siekiant tiksliai įvertinti modelio parametrus reikia atlikti didelį skaičių stebėjimų [93]. Be to,

svarbu atkreipti dėmesį, jog ARIMA modelis vienu metu negali atlikti prognozavimo su keliais skirtingais nepriklausomais kintamaisiais.

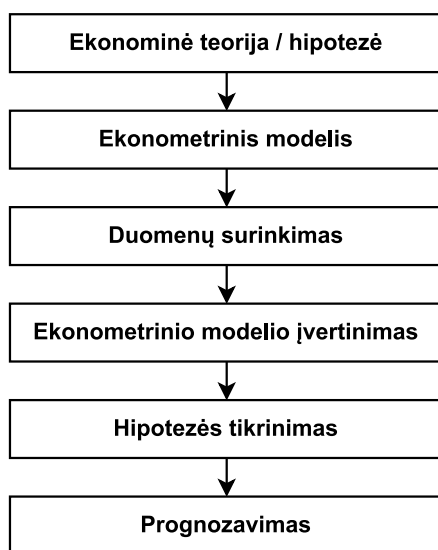
2.2.3. Ekonometrinis modelis

Mokslo kryptis, nagrinėjanti socialinius ir ekonominius duomenis, įvairius ekonominius modelius ir matematines statistikas, yra vadinama ekonometrija [68]. Šioje kryptyje nustatomi priežastiniai ryšiai tarp priklausomų ir nepriklausomų kintamųjų. Modeliu yra siekiama nustatyti aiškinamuosius kintamuosius ir apibrėžti tinkamą matematinį ryšį tarp įtaką darančių veiksnių ir priklausomojo kintamojo [68]. Taikant ekonometrinį modelį ekonominė teorija yra derinama su įvairiais statistiniais metodais ir taip sudaroma lygčių sistema, kuri gali būti skirta elektros energijos poreikiams prognozuoti.

Svarbu paminėti, jog ekonominių duomenų rinkiniai naudojami ekonometrinio modelio sudarymui būna įvairių tipų. Kai kuriuos ekonometrinius metodus galima taikyti įvairiems duomenų rinkiniams, tačiau kai kurie duomenų rinkiniai reikalauja specifinių metodų taikymo [82]. Pagrindiniai identifikuojami duomenų tipai [82]:

- skerspjūvio duomenys (angl. *cross-sectional data*) – duomenų rinkinį sudaro asmenų, namų ūkių, žmonių ar įvairių kitų vienetų imtis, sudaryta tam tikru laiko momentu;
- laiko eilučių duomenys – šiuos duomenis sudaro kintamojo ar kelių kintamųjų stebėjimai per tam tikrą laiką, pvz., vartotojų kainų indeksas, BVP, akcijų kainos ir pan.;
- jungtiniai skerspjūvio duomenys (angl. *pooled cross-sectional data*) – šio tipo duomenys apjungia laiko eilučių ir skerspjūvio duomenų savybes, t. y. yra lyginamos skirtingos tiriamųjų imtys skirtingais laikotarpiais;
- paneliniai arba išilginiai duomenys (angl. *panel or longitudinal data*) – šie duomenys sujungia skerspjūvio ir laiko eilučių duomenis: tie patys tiriamieji (įmonės, namų ūkiai ir t. t.) stebimi keliais laiko momentais (metais, dienomis, savaitėmis ir t. t.).

Ekonometrinio modelio sudarymas gali būti apibrėžtas 6 pagrindiniais etapais (žr. 12 pav.) [94].



12 pav. Pagrindiniai ekonometrinio modelio sudarymo žingsniai [94]

Pirmas žingsnis yra skirtas išsikelti ekonominę hipotezę arba teoriją, kuria siekiama paaiškinti tam tikro veiksnio elgesį, pvz. elektros energijos poreikį lemiančius veiksnius [94]. Šio žingsnio metu yra

išryškinami pagrindiniai kintamieji, kurie gali turėti įtaką prognozuojamo veiksnio rezultatui. Kitame žingsnyje yra sudaromas ekonometrinis modelis, kuriuo apibūdinamas matematinis įvairių ekonominių kintamųjų ryšys. Kitaip tariant, šiuo modeliu yra įvertinami kintamųjų priežastiniai ryšiai [68]. Statistinio modelio parinkimas paprastai priklauso nuo naudojamų duomenų tipo, pvz., regresinės analizės metodai (paprastoji tiesinė regresija, daugialypė tiesinė regresija, įprastas mažiausių kvadratų metodas ir pan.) taikomi modeliuojant priežastinį ryšį su laiko eilutės arba skerspjūvio tipo duomenimis [94]. Kita vertus, turimi laiko eilučių tipo duomenys yra tinkami atlikti vienmatį prognozavimą, pvz., ARIMA modelio taikymas, kurio metu užtenka tik vieno nepriklausomo kintamojo norint gauti atsako vertę. Siekiant įvertinti sudarytą ekonometrinį modelį, t. y. gauti skaitines nepriklausomų kintamųjų koeficientų vertes, reikia surinkti duomenis [94]. Duomenys yra atrenkami pagal išsikeltą hipotezę, t. y. analizėje naudojami duomenys galintys turėti ryšį su prognozuojamu kintamuoju. Su turimais duomenimis atliekamas modelio įvertinimas, t. y. gaunamos modelio nepriklausomų kintamųjų koeficientų vertės. Toliau yra atliekamas išsikeltos hipotezės tikrinimas, kurio metu tikrinama, ar tam tikras rezultatas, gautas sukurtu modeliu, yra pakankamai artimas numanomai vertei. Jeigu pasirinktas modelis nepaneigia išsikeltos hipotezės ar teorijos, jį galima toliau naudoti priklausomo kintamojo vertei prognozuoti, remiantis žinomomis arba tikėtinomis nepriklausomo kintamojo vertėmis [94].

Mtembo'o ir kt. [95] pritaikė ekonometrinį modelį, pagrįstą daugialypės tiesinės regresijos metodu, elektros energijos paklausai Zimbabvėje prognozuoti. Prognozė buvo atliekama 2011–2015 m. laikotarpiui ir gauti rezultatai palyginti su duomenimis iš Afrikos plėtros banko [95]. Kaip nepriklausomi kintamieji buvo naudojami metiniai BVP, grynojo vartotojų kainų indekso, temperatūros ir populiacijos parametrai iš 1980–2010 m. laikotarpio [95]. Tyrime [95] gauti elektros energijos poreikio prognozavimo rezultatai parodė panašią tendenciją kaip ir atraminės banko prognozės. Gul'as ir kt. [96] naudodami ekonominius ir demografinius kintamuosius atliko elektros energijos paklausos prognozavimą Pakistane. Prognozė buvo atliekama 2011–2015 m. laikotarpiui, o sudarytas daugialypės tiesinės regresijos ekonometrinis modelis pasižymėjo aukštu koreguotu determinacijos koeficientu, taip pat liekamųjų paklaidų analizė neparodė jokios nuoseklios koreliacijos tarp jų [96]. Taigi, tyrimas [96] atskleidė, jog atrinkti kintamieji (BVP, pajamos vienam gyventojui ir populiacija) yra labai susiję su elektros energijos paklausa. Mohamed'as ir Bodger'is [97] atliko elektros energijos suvartojimo prognozavimą Naujojoje Zelandijoje taikant ekonometrinį metodą su daugialypiu tiesinės regresijos modeliu. Tyrime [97] pagrindiniai nepriklausomi kintamieji modeliui sudaryti buvo naudojami metiniai BVP, vidutinės elektros energijos kainos ir populiacijos rodikliai. Regresinės analizės pagalba buvo sudaryti trys skirtingi prognozavimo modeliai: buitiniam sektoriui, ne buitiniam sektoriui ir bendram energijos suvartojimui [97]. Palyginus gautus rezultatus, buvo nustatyta, jog sudarytos prognozės trimis skirtingais regresijos modeliais yra labai panašios į nacionalines prognozes [97]. Liu ir kt. [98] atliktame tyrime lygino DNT modelį su ekonometrinio modeliu prognozuojant energijos suvartojimą 1960–1990 m. laikotarpiui Singapūre. Gauti rezultatai parodė, jog dėl modelių struktūros skirtumų atsiranda nesutapimai tarp prognozuojamo energijos suvartojimo [98].

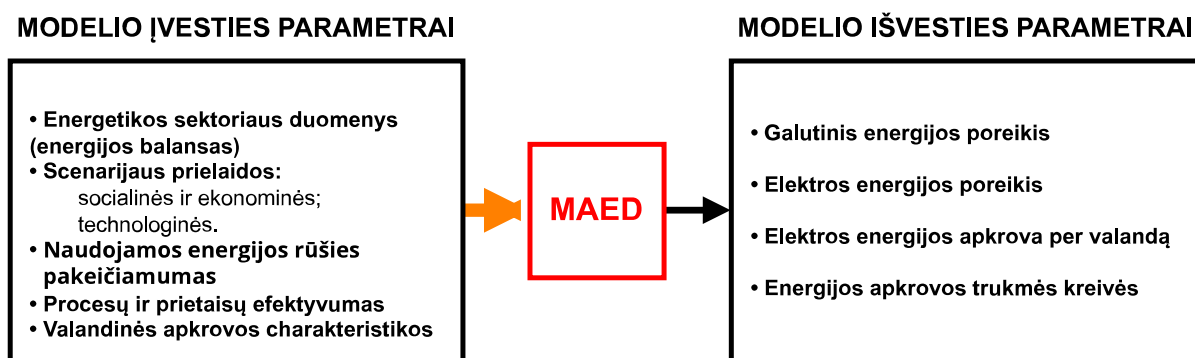
Taigi, apibendrinant galima pasakyti, jog ilgalaikės prognozės atveju prognozavimo paklaida paprastai didėja ilgėjant prognozavimo trukmei, todėl siekiant spręsti šią problemą dažniausiai taikomi ekonometriniai modeliai, kurie pasižymi aukštu tikslumu lyginant su kitais prognozavimo metodais [99]. Verta paminėti, jog prognozuojant elektros energijos poreikį dažnu atveju pirmenybė yra teikiama ekonometriniam modeliui, nes šis modelis naudoja kiekybinius kintamuosius, kurie

paaikškina kokybinius kintamuosius, pvz., BVP, kuris dėl gyventojų perkamosios galios gali hipotetiškai analizuoti gyventojų energijos vartojimą [100]. Šis metodas taip pat suteikia išsamią informaciją apie būsimą elektros energijos paklausos lygį, parodo, kodėl ateityje elektros energijos poreikis didėja ir kaip šį poreikį veikia įvairūs veiksniai, tačiau ekonometrinio prognozavimo trūkumas yra tas, jog elektros energijos pokyčiai prognozuojamu laikotarpiu išlieka tokie patys kaip ir praeityje, šią prielaidą, kuri dar vadinama nuolatiniu elastingumu, gali būti sunku pagrįsti, ypač, kai elektros kainos padidėja ir vartotojai tampa jautresni kainoms [76].

2.2.4. Energijos paklausos analizės modelis (MAED)

Energijos paklausos analizės modelis (angl. *model for analysis of energy demand (MAED)*) yra Tarptautinės atominės energijos agentūros (TATENA) sukurtas imitacinis modelis, kuris naudojamas vertinti ateities energijos poreikius, remiantis vidutinės trukmės ir ilgalaikiais socialinės, ekonominės, technologinės ir demografinės raidos scenarijais [101]. Remiantis apibrėžtais scenarijais modelis gali apskaičiuoti bendrą energijos poreikį, kuris yra išskirstomas į keturis pagrindinius energijos vartotojų sektorius – pramonės, transporto, paslaugų ir namų ūkių [101]. Apskaičiuotas energijos poreikis kiekvienam iš sektorių yra išskirstytas pagal nustatytas energijos formas (pvz., tradicinis kuras, elektra, centrinis šildymas, iškastinis kuras ir kt.) bei galutinę energijos panaudojimo kategoriją (pvz., patalpų šildymas, vandens šildymas, elektros prietaisai ir kt.). Be to, MAED modelis gali apskaičiuoti, kokią poveikį energijos poreikiui daro ekonomikos arba gyventojų lygio pokyčiai [101].

Pagrindiniai MAED modelio įvesties ir išvesties parametrai pateikiami 13 pav. Įvesties parametrus sudaro įvairūs energetikos sektoriaus duomenys, socialinių, ekonominių ir technologinių scenarijų apibrėžimai, naudojamos energijos rūšies pakeičiamumas, procesų ir prietaisų efektyvumo nustatymas, valandinių apkrovos charakteristikų pateikimas. MAED modelis išvestyje pateikia bendrą galutinį energijos poreikį, elektros energijos poreikį, apkrovą per valandą bei energijos apkrovos trukmės kreives.



13 pav. Pagrindiniai MAED modelio įvesties ir išvesties parametrai [101]

MAED modeliavimo priemonė sudaryta iš dviejų modelių: MAED_D ir MAED_EL [101]. Pirmasis, MAED_D modelis, naudoja duomenis, kurie pateikiami socialiniuose, ekonominiuose ir technologiniuose prielaidų scenarijuose, ir apskaičiuoja bendrą energijos poreikį [101, 102]. Gautas bendras energijos poreikis yra suskirstomas pagal energijos rūšį ir ekonomikos sektorių. Kitas modelis – MAED_EL, naudoja metinius kiekvieno sektoriaus energijos poreikio duomenis, gautus iš MAED_D modelio, ir apskaičiuoja bendrą valandinį energijos poreikį, kuris tenka nagrinėjamai elektros energijos sistemai [101, 102].

MAED modelio modeliavimo procesas apima kelis etapus, kurie atliekami tam tikra tvarka [103]:

- galutinės energijos struktūros išskaidymas į įvairius galutinio vartojimo sektorius nuosekliai pagal kuro rūšį ir energijos formą;
- socialinių, ekonominių ir technologinių veiksnių, kurie turi įtaką kiekvienai iš numatytų galutinės energijos vartojimo kategorijų, nustatymas;
- remdamasis turimais statistiniais duomenimis apie nustatytus bazinius tyrimo metus modelis prognozuoja galutinę energijos poreikį;
- modelis sudaro nuoseklius raidos scenarijus, atsižvelgdamas į demografinių, makroekonominių, socialinių ir ekonominių bei technologinių veiksnių, turinčių įtaką energijos paklausai, raidą;
- modelis įvertina galutinę energijos poreikį pagal kiekvieną numatytą scenarijų tiriamuoju laikotarpiu.

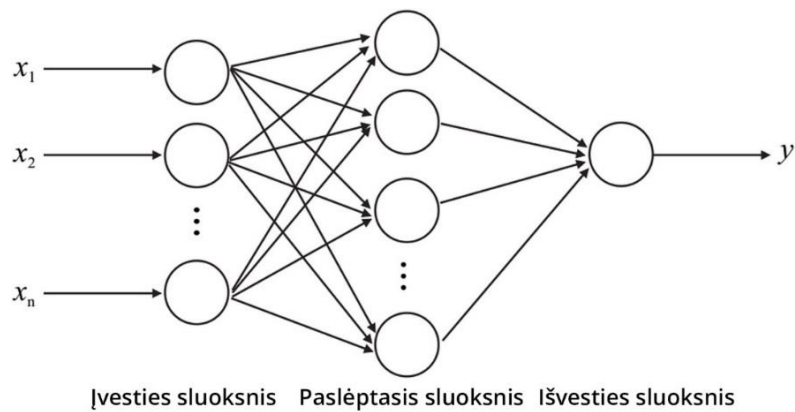
Sieed'as ir kt. [102] panaudojo MAED modelį atliekant energijos paklausos modeliavimą besivystančios ekonomikos šaliai – Bangladešui. Būsimas energijos poreikis Bangladeše prognozuojamas 2020–2050 m. laikotarpiui, naudojant 2015 m. energetikos ir ekonominius duomenis. Tyrime taikomi trys skirtingi socialiniai ir ekonominiai scenarijai, kurie susiję su BVP rodiklio augimo tempu [102]. Pagal sudarytus scenarijus BVP augimo tempas iki 2020 m. numatoma, jog pasieks 8 proc. ir vėliau pradės tiesiškai mažėti iki 4 proc. (mažo augimo scenarijus), 5 proc. (įprastinis scenarijus) ir 6 proc. (didelio augimo scenarijus) [102]. Tyrime yra analizuojamos pramonės, paslaugų ir žemės ūkio sektorių augimo tendencijos siekiant nustatyti jų indėlį į ekonomiką [102]. Papildomai kaip modelio įvesties parametrai buvo naudojamos istorinės tendencijos ir būsimos energijos intensyvumo prognozės Bangladeše. Gauti rezultatai parodė, kad esant įprastiniam ekonomikos scenarijui ir skirtingiems gyventojų skaičiaus scenarijams, galutinės energijos poreikis, tenkantis vienam gyventojui, yra didžiausias esant žemo gyventojų skaičiaus scenarijui [102]. Taip pat nustatyta, jog ekonomikos augimas yra svarbesnis už gyventojų skaičiaus pokytį, vertinant energijos poreikį vienam gyventojui. Esant vidutiniam gyventojų skaičiui, 1 proc. BVP augimas lemia 14 proc. padidėjusį energijos poreikį, o esant tam pačiam ekonomikos augimo lygiui, gyventojų skaičiaus padidėjimas 1 proc. lemia maždaug 0,5 proc. mažesnę energijos poreikį vienam gyventojui 2050 m. [102]. Taigi, tyrime naudojamas MAED modelis leido išanalizuoti įvairių socialinių ir ekonominių augimo scenarijų poveikį Bangladešo galutiniam energijos poreikiui. Mpholo'o ir kt. [104] savo tyrime naudoja MAED modelį Lesoto elektros profiliui nuo 2010 m. iki 2030 m. sudaryti, naudojant 2010 m. kaip bazinius metus. Modelio įvesties parametrus apima BPV rodiklis, gyventojų skaičius, šalies elektrifikacijos lygis ir energijos suvartojimas kiekviename ekonomikos sektoriuje [104]. Pagrindinis dėmesys atliktame tyrime yra skiriamas vidutinio dydžio namų ūkių energijos suvartojimo prognozavimui, todėl modelio prielaidos sudarytos remiantis miesto ir kaimo namų ūkių aprašymais, t. y., įvertinamas šių teritorijų gyventojų skaičius, elektrifikavimo procentas, namų ūkių prieiga prie tinklo bei gyventojų skaičius tenkantis vienam namų ūkiui. Tarp bendrų rodiklių naudojamas BVP ir fiksuotas jo augimo procentas bei bendras gyventojų skaičius. Tyrime prognozė sudaryta pagal tris galimus galutinio energijos suvartojimo iki 2030 m. scenarijus [104]. Pagal labiausiai tikėtina scenarijų BVP augimas išlieka pastovus – 4 proc., pagal žemo ekonomikos augimo scenarijų BVP augimas nuo 4 proc. krenta iki 2,2 proc., o pagal didelio ekonomikos augimo scenarijų numatoma, kad BVP augimas bus 5,7 proc. [104]. Gauti rezultatai rodo, kad pagal visus scenarijus tikimasi, jog energijos poreikis Lesote augs. Pagal labiausiai tikėtiną scenarijų nustatyta, jog metinis vidutinis namų ūkio energijos suvartojimas mažės, tačiau maksimali energijos paklausa padidės nuo 121 MW iki 211 MW [104]. Be to, prognozuojama, kad bendra Lesoto elektrifikacija nuo 2010 m.

iki 2030 m. augs nuo 19,4 proc. iki 54,2 proc., miestų nuo 54,1 proc. iki 95 proc. ir kaimų nuo 1,8 proc. iki 14 proc. [104]. Siekiant patikrinti sudaryto MAED modelio tikslumą, tyrime buvo panaudoti statistiniai klaidų įvertinimo rodikliai – kvadratinės šaknies vidurkio klaidos procentinė (*angl. root mean squared percent error (RMSPE)*) vertė ir MAPE įvertis. Tyrime buvo palyginti suprognuozuoti 2010–2015 m. laikotarpio duomenys su faktiniais duomenimis. Pramonės sektoriui RMSPE rodiklis siekė 2,4 proc., o MAPE – 2,3 proc., namų ūkio sektoriui RMSPE buvo 4,9 proc., o MAPE – 4,89 proc. ir bendram energijos suvartojimui RMSPE – 1,5 proc., MAPE – 1,33 proc. [104]. Apskaičiuoti modelio statistiniai klaidų įverčiai leidžia teigti, jog sudarytas MAED modelis parodo aukštą koreliaciją su faktiniais duomenimis ir leidžia pasitikėti gautų prognozės rezultatų tikslumu.

Apibendrinant galima pasakyti, jog MAED modelis mokslinėje literatūroje plačiai naudojamas bendram energijos poreikiui prognozuoti. MAED modelio pagrindiniai privalumai yra susiję su išsamia energijos paklausos analize, nes modelis pateikia išsamų energijos poreikį, suskirstytą pagal įvairias galutinio vartojimo kategorijas, kas atitinkamai leidžia vertinti energijos poreikius įvairiuose sektoriuose. Kitas privalumas, kad prognozavimo modelis leidžia integruoti socialinius, ekonominius ir technologinius veiksnių scenarijus ir taip nustatyti šių veiksnių poveikį galutiniam energijos poreikiui. Išanalizuoti pavyzdžiai rodo, jog MAED modelis yra tinkamas ne tik bendram energijos poreikiui prognozuoti, bet taip pat siekiant nustatyti bendrą šalies elektrifikacijos lygį, energijos suvartojimą atskirai pagal gyvenvietes (miestai, kaimai ir pan.). Toks platus prognozių pasirinkimas leidžia pritaikyti modelį pagal skirtingas situacijas. Pagrindiniai modelio trūkumai remiasi į modelio sudarymo sudėtingumą, nes prognozavimui parengti reikia gilių energetikos sistemų, ekonomikos ir demografijos išmanymo žinių. Be to, reikia didelio kiekio duomenų iš skirtingų sektorių, todėl jų surinkimas gali būti sudėtingas procesas. Kaip ir kiti modeliai, MAED modelis daro prielaidas pagal ateities tendencijas, todėl jeigu šios prielaidos pasirinktos neteisingos, modelio prognozės irgi gali būti netikslios.

2.2.5. DNT modelis

DNT yra vienas iš populiariausių ir sparčiai tobulėjančių metodų, kuris gali atlikti prognozavimą įvairiose srityse. Šis metodas labiausiai išsiskiria tuo, jog yra atsparus neapibrėžtumui. Prognozuojant elektros energijos poreikius šis metodas yra ypač naudingas, kai nėra aiškus tinkamas matematinis elektros energijos poreikio modelis. DNT metodas naudojamas netiesiniams ir sudėtingiems duomenims spręsti neturint išankstinės prielaidos dėl jų koreliacijos [66]. Supaprastintą DNT struktūrą (žr. 14 pav.) sudaro trys sluoksniai – įvesties, paslėptasis ir išvesties. Modelis naudoja mazgų tinklą, vadinama neuronais, kur mazgai tarp sluoksnių yra koreliuojami naudojant reguliuojamus svorio koeficientus (*angl. weights*) [66]. DNT metodikoje įvesties duomenys yra skirstomi į dvi dalis – apmokymo ir testavimo duomenys [109]. Modelio apmokymo metu nustačius svorio koeficientus, šis gali sugeneruoti įvesties ir išvesties parametrų santykį, kuris atitiktų pradinis apmokymo duomenis [66]. Prognozavimo, naudojantis DNT modelį, tikslumas labai priklauso nuo įvairių modelio parametrų, pvz., struktūros, neuronų skaičiaus, naudojamų apmokymo duomenų kiekio ir pan.



14 pav. Supaprastinta dirbtinio neuroninio tinklo struktūra [106]

DNT modelio sukūrimą sudaro trys pagrindiniai žingsniai [66]:

1. projektavimas – šio žingsnio metu pasirenkamas DNT tipas, sluoksnių skaičius, naudojamų neuronų skaičius kiekviename sluoksnyje bei įvesties ir išvesties parametrai;
2. apmokymas – šio iteracinio proceso metu modeliui yra pateikiami istoriniai įvesties ir išvesties parametrų duomenys bei keičiami svorių koeficientų vertės, kad būtų įvykdyta iš anksto nustatyta kvalifikacinė sąlyga;
3. patvirtinimas – modelio patvirtinimui atlikti yra naudojamas duomenų rinkinys, kuris skiriasi nuo duomenų naudotų modelio apmokymo žingsnyje. Tokiu būdu yra patikrinama, ar sudarytas modelis gali tiksliai prognozuoti išvesties parametrus naudojant įvesties duomenis. Jeigu patvirtinimas yra sėkmingas, tuomet DNT modelis gali būti naudojamas tolimesnei analizei atlikti.

González-Romera ir kt. [107] atliko vidutinės trukmės mėnesinį elektros energijos paklausos prognozavimą Ispanijoje naudojant hibridinį metodą – paklausos svyravimai prognozuojami naudojant Furjė eilutes, o tendencija prognozuojama taikant DNT. Prognozavimui atlikti buvo naudojami Ispanijos mėnesiniai elektros energijos suvartojimo duomenys nuo 1975 m. sausio 1 d. iki 2002 m. gruodžio 1 d., iš viso 336 mėnesių duomenys. Duomenys buvo išskirti į du rinkinius: pirmasis rinkinys buvo skirtas modeliui apmokyti (iš viso 276 duomenys) ir antrasis rinkinys buvo skirtas sukurto metodo patikrinimui (iš viso 60 duomenų) [107]. Identifikuota, jog naujai pasiūlytas hibridinis prognozavimo metodas užtikrina tinkamą efektyvumą, nes metodo patikrinimo metu MAPE įvertis siekė tik 1,740 proc. Ekonomou'us [108] savo tyrime naudojant DNT modelį atliko ilgalaikę energijos suvartojimo prognozę Graikijoje. Sudarytam neuroninių tinklų modeliui apmokyti ir patvirtinti buvo naudojami 1992–2004 m. įvesties ir išvesties duomenys, kuriuos sudarė metinė aplinkos temperatūra, bendra instaliuota galia, metinis elektros energijos suvartojimas viename gyventojui, BVP ir galutinis energijos suvartojimas, o DNT modelis buvo naudojamas 2005–2008 m., 2010 m., 2012 m. ir 2015 m. energijos suvartojimui prognozuoti [108]. Gauti modelio prognozavimo rezultatai yra palyginami su tiesinės regresijos metodo, atraminių vektorių mašinos metodo ir faktinių turimų 2005–2008 m. užregistruotų duomenų rezultatais [108]. DNT modelis buvo sudarytas iš 2–100 neuronų kiekviename iš 1–5 paslėptųjų sluoksnių [108]. Tyrimo [108] gauti energijos suvartojimo prognozavimo rezultatai buvo artimi realiams, nes paklaida tarp faktinių turimų rezultatų ir DNT modelio apskaičiuoto galutinio suvartojimo siekė apie 2 proc. Šie rezultatai buvo daug tikslesni už gautus naudojant tiesinės regresijos modelį ir panašūs į rezultatus gautus taikant SVM metodą [108]. Çunkaş'as ir Altun'as [109] naudodami DNT modelį atlieka ilgalaikį elektros energijos poreikio prognozavimą Turkijoje 2008–2014 m. laikotarpiui. Ilgalaikiam prognozavimui

didelę įtaką turi ekonominiai veiksniai, dėl to tyrime, kaip įvesties duomenys, daugiausiai naudojami ekonominiai duomenys – BVP, bendras nacionalinis produktas (BNP), populiacija, namų ūkių skaičius, pramonės gamybos indeksas, naftos kaina, elektros energijos suvartojimas vienam gyventojui, elektros energijos kaina [109]. Tyrimo [109] metu sudaryti dviejų skirtingų struktūrų DNT modeliai – atgalinio skleidimo (AS) ir pakartotinio neuroninio tinklo (PNT), o abiejų struktūrų modeliai apmokyti naudojant metinius duomenis iš 1981–2007 m. laikotarpio. Prognozavimo rezultatai buvo palyginti su oficialiomis prognozėmis ir parodė, kad PNT struktūros DNT modelis pateikia geriausias prognozavimo rezultatus (MAPE įvertis siekia 0,77 proc.), kai AS struktūros modelio MAPE įvertis siekia 1,53 proc. [109]. Gauti prognozuojamo elektros energijos suvartojimo rezultatai Turkijoje yra pakankamai tikslūs ir atitinka oficialias prognozes, todėl tokie modeliai gali būti naudojami įvairių šalių elektros energijos sistemose [109].

Analizuoti tyrimai parodė, jog DNT modeliai gali būti puikiai pritaikomi ilgalaikėms prognozėms atlikti, naudojant įvairius įvesties parametrus. Pagrindinis DNT modelio privalumas yra jo lankstumas aproksimuojant funkcinius ryšius tarp įvesties ir išvesties. Viena iš išskirtinių DNT modelių savybių yra ta, kad jie sugeba atlikti tikslų prognozavimą net ir turint neišsamius ar neaiškius duomenų rinkinius. Dauguma autorių pateikia įvairius neuroninių tinklų pranašumus atliekant prognozavimą, pvz., geras gebėjimas modeliuoti netiesinius ryšius, priimant sprendimus nereikia žmogaus įsikišimo, modelis pats gali prisitaikyti prie eilučių pokyčių savaime mokydamasis [107]. Visgi verta paminėti, kad tikslaus DNT modelio sudarymo procedūra yra sudėtinga, nes jos metu reikia patikrinti įvairias galimas neuronų ir sluoksnių skaičių kombinacijas siekiant tikslaus prognozavimo rezultato.

Taigi, šiame skyriuje buvo išanalizuoti pagrindiniai mokslinėje literatūroje taikomų elektros energijos poreikių prognozavimo metodai. Šių metodų apibendrinimas pateikiamas 3 lentelėje, kurioje trumpai apibūdinamas kiekvienas metodas ir identifikuojamos jo rūšys, išskiriami pagrindiniai metodo taikymo privalumai ir trūkumai.

3 lentelė. Elektros energijos poreikių prognozavimo metodai [sudaryta autoriaus]

Metodo pavadinimas	Paaikškinimas	Rūšys	Pagrindiniai privalumai	Pagrindiniai trūkumai
Regresijos modelis	Prognozavimo funkcija, kuria apskaičiuojama priklausomo kintamojo vertė pagal vieną ar daugiau nepriklausomų kintamųjų.	- Paprastoji tiesinė regresija - Daugialypė tiesinė regresija - Daugiamatė tiesinė regresija - Netiesinė regresija	- Paprastas taikymas ir aukštas patikimumas - Geba analizuoti ryšius tarp kelių nepriklausomų kintamųjų ir kelių atsako parametrų - Galima atlikti tiek ilgalaikę, tiek trumpalaikę prognozę	- Sudėtinga identifikuoti, kuris ir kokios išraiškos veiksnys turi būti taikomas analizei
Laiko eilučių analizės modelis	Laiko eilučių tendencijų analizė, kuria siekiama ekstrapoliuoti būsimą vertę.	- Vienmatis - Daugiamatis	- Paprastas taikymas - Tinkamas atliekant ilgalaikes prognozes	- Reikiamas didelis kiekis duomenų - Vienmačiai modeliai, pvz., ARIMA, negali atlikti prognozės su keliais skirtingais nepriklausomai kintamaisiais

3 lentelės tęsinys

Metodo pavadinimas	Paaishkinimas	Rūšys	Pagrindiniai privalumai	Pagrindiniai trūkumai
Ekonometrinis modelis	Matematinis modelis, kuriuo siekiama nustatyti priežastinius ryšius tarp įtaką darančių veiksnių ir priklausomojo kintamojo.	Priklauso nuo duomenų tipo, t. y. skerspjūvio duomenys, laiko eilučių duomenys, jungtiniai skerspjūvio duomenys, paneliniai arba išilginiai duomenys	- Aukštas patikimumas - Kiekybiniai kintamieji iš dalies paaiškina kokybinius kintamuosius - Parodoma veiksnių įtaka - Tinkamas atliekant ilgalaikes prognozes	- Remiasi nuolatinio elastingumo prielaida
MAED modelis	Energijos poreikių prognozavimo modelis, kuris išsamiai vertina ekonominių, socialinių ir technologinių veiksnių pokyčių scenarijus.	- MAED-D - MAED-EL	- Išsami energijos paklausos ir scenarijų analizė - Tinkamas atliekant vidutinio ir ilgo laikotarpio prognozes - Analizuoja platesnes elektros energijos panaudojimo galimybes	- Reikiamas didelis kiekis duomenų - Sudėtingas modelio pritaikymo konkrečiai šaliai, ūkio sektoriui, procesas
Dirbtinio intelekto modelis	Algoritmų ir savaiminio apsimokymo pagrindu paremtas prognozavimas, kuriame priimant sprendimus nereikia žmogaus įsikišimo.	- Neuroninio tinklo - Genetinių algoritmų - Bangelių tinklo - Neraiškos logikos	- Aukštas patikimumas - Atsparus neapibrėžtumui - Geba atlikti analizę su sudėtingais duomenimis - Tinkamas atliekant ilgalaikes prognozes	- Sudėtingas modelio sudarymo procesas - Reikiamas didelis kiekis duomenų, pvz., valandiniai duomenys

Atlikus mokslinėje literatūroje taikomų energijos poreikių prognozavimo metodų analizę, siekiant identifikuoti Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinius poreikius pasirinkta taikyti tris prognozavimo metodus – regresijos, ekonometrinį ir MAED modelius. Būtent šie modeliai lyginant su kitais metodais yra labiausiai tinkami atliekant ilgalaikes prognozes ir siekiant įvertinti įvairius ekonominius, socialinius bei technologinius veiksnus. Lyginant su dirbtinio intelekto modeliais, šių modelių sudarymas reikalauja mažesnio kiekio duomenų. Be to, skirtingai nei kiti tradiciniai prognozavimo metodai, pavyzdžiui, laiko eilučių analizė, regresinio, ekonometrinio ir MAED modelių taikymas leidžia analizuoti, kurie veiksniai ir kokia apimtimi turi įtaką galutiniam energijos poreikiui.

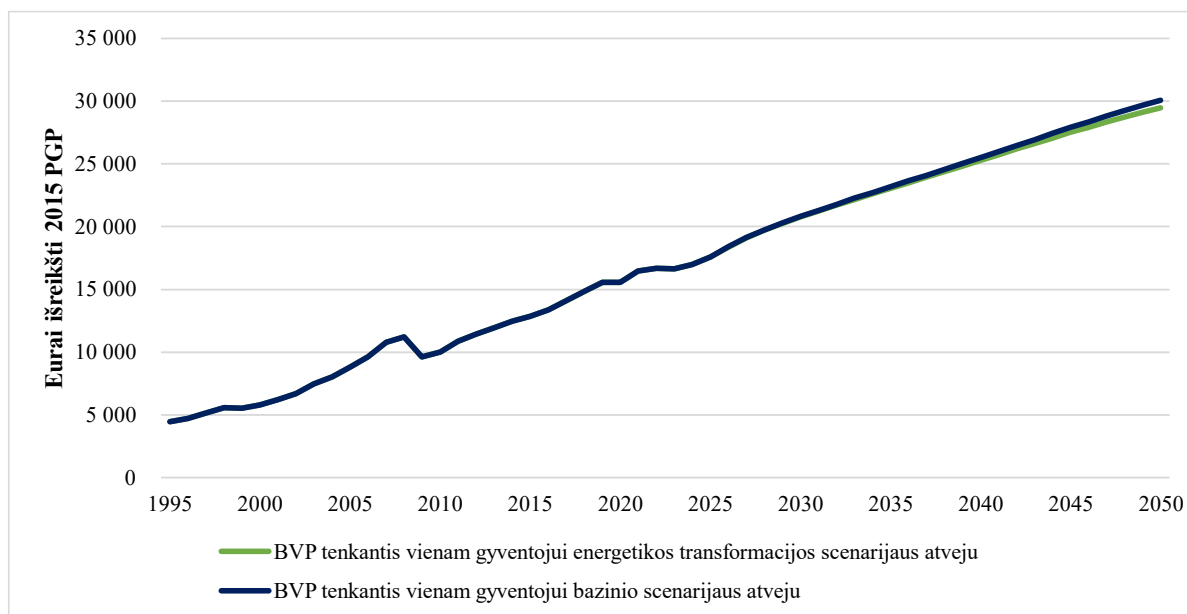
3. Namų ūkių prognozavimo prielaidų analizė

Siekiant atlikti elektros energijos perspektyvinių poreikių analizę, reikia identifikuoti pagrindinių veiksnių, kurie turi įtaką elektros energijos poreikiams, galimas kitimo tendencijas, kitaip tariant, svarbu nustatyti atliekamos prognozės prielaidas. Prognozuojant Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikius pasirinkta analizuoti šiuos pagrindinius veiksnius: ekonomikos augimą, elektros energijos kainą, gyventojų skaičių bei energijos vartojimo efektyvumą. Šiame skyriuje atliekama šių išvardintų veiksnių prognozuojamų pokyčių apžvalga.

3.1. Ekonomikos augimo tendencijos

Kaip jau buvo minėta 1.1 poskyryje, ekonomikos augimas yra vienas iš pagrindinių makroaplinkos veiksnių, kuris turi reikšmingą įtaką elektros energijos poreikiams. Be to, ekonomikos augimas paprastai yra išreiškiamas BVP rodiklio pokyčiu, todėl analizuojant Lietuvos ekonomikos augimo tendencijas tikslinga aptarti prognozuojamas BVP reikšmes.

BVP tenkančio vienam gyventojui kitimo tendencijas nuo 2024 m. iki 2050 m. pateikia Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (angl. *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*) duomenų bazė. Svarbu paminėti, jog BVP rodiklio prognozės paskutinį kartą atnaujintos 2023 m. gruodžio mėn. OECD BVP rodiklio projekcijas atlieka analizuojant du pagrindinius scenarijus – bazinį ir energetikos transformacijos. Pasak organizacijos, bazinio scenarijaus prognozė grindžiama prielaida, jog valstybė nevykdo jokių institucinių ir politikos reformų, susijusių su energetikos sektoriaus pokyčiais [110]. Alternatyvus scenarijus – energetikos transformacijos, remiasi prielaida, jog valstybė siekdama įgyvendinti ilgalaikę strategiją – iki 2050 m. pasiekti nulines šiltnamio efektą sukeliančias dujų emisijas (ŠESD), įgyvendina svarbias reformas, kurios skatina pokyčius energetikos sektoriuje [110]. Taigi, 15 pav. pateikiamas BVP tenkančio vienam gyventojui rodiklio kitimo iki 2050 m. palyginimas abiejų scenarijų atveju. Organizacija rodiklio reikšmes pateikia JAV doleriais išreikštais 2015 m. perkamosios galios paritetu, todėl duomenys perskaičiuojami į eurus pagal 2015 m. perkamosios galios paritetą. Iš pateikto 15 pav. galima matyti, jog energetikos transformacijos scenarijaus atveju numatomas ekonomikos augimas, tačiau augimo pokytis išlieka žemesnis nei bazinio scenarijaus atveju. OECD aiškina, jog pagrindinė priežastis lemianti lėtesnį ekonomikos augimą alternatyvaus scenarijaus atveju yra ženkliai padidėjusios šalies investicijos į naujos energetikos pramonės kūrimą, pavyzdžiui, inovatyvių technologijų diegimą siekiant užtikrinti sėkmingą perėjimą prie švarios, klimatui neutralios energetikos rūšies [110]. Be to, verta paminėti, jog energetikos transformacija reikšmingai paveiks pramonės šakas, kurios vis dar yra priklausomos nuo tradicinių energijos gamybos šaltinių, todėl galimas gamybos apimčių bei gyventojų užimtumo sumažėjimas. Energetikos transformacija trumpuoju laikotarpiu gali nulemti didesnes energijos išteklių kainas, todėl atitinkamai sumažėtų verslo ir gyventojų vartojimas bei noras investuoti, kas taipogi turėtų įtaką lėtesniam šalies ekonomikos augimui.



15 pav. Lietuvos BVP tenkančio vienam gyventojui kitimo tendencijos, 1995–2050 m., eurai pagal 2015 m. PGP [110]

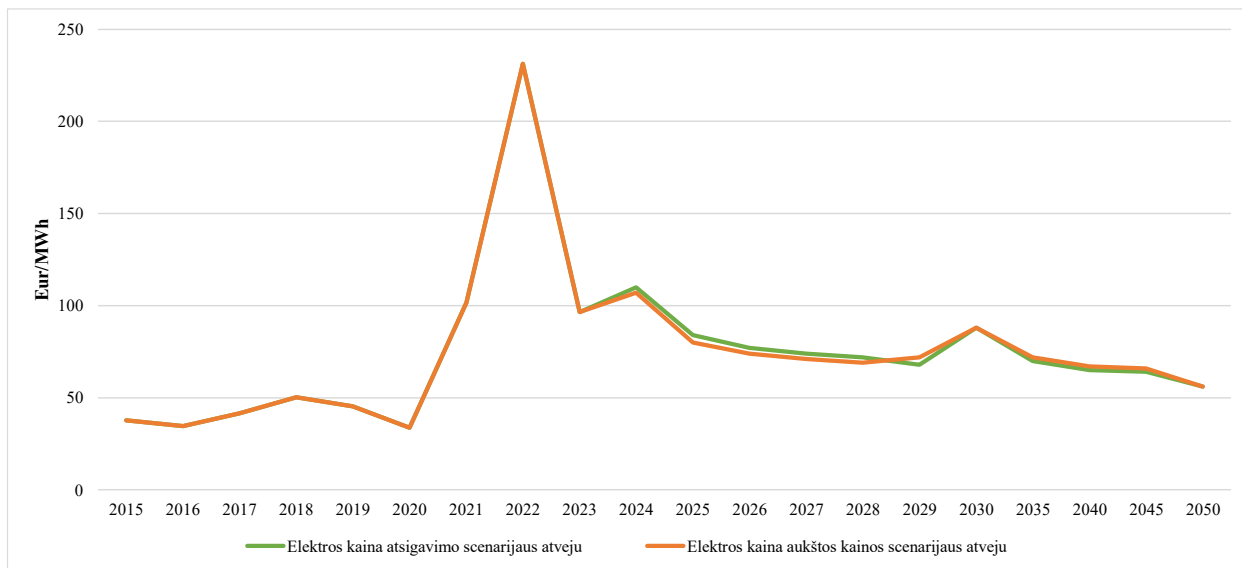
Apibendrinant galima pasakyti, jog vidutinis metinis ekonomikos augimo tempas įvertinus ir gyventojų skaičiaus kitimą 2023–2050 m. laikotarpiu bazinio scenarijaus atveju siekia 2,22 proc., energetikos transformacijos scenarijaus atveju – 2,14 proc. Taigi, ilgalaikėje perspektyvoje prognozuojamas Lietuvos ekonomikos augimas, tačiau reikšmingi pokyčiai energetikos sektoriuje ir siekis iki 2050 m. tapti neutralia klimatui valstybe, turės įtaką ir lems lėtesnį šalies ekonomikos augimo tempą lyginant su scenarijumi, kuriame nebūtų vykdoma energetikos transformacija. Vis dėlto ekonomikos augimas ateityje, bet kurio scenarijaus atveju, gali turėti įtaką Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių padidėjimui.

3.2. Elektros energijos kainos kitimo tendencijos

Elektros energijos kaina yra dar vienas iš 1.1 poskyryje aptartų pagrindinių veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos poreikiams. Dėl šios priežasties šis veiksnys vertintas siekiant identifikuoti Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikius ilgalaikėje perspektyvoje.

Elektros energijos kaina yra laikomas veiksniu, kurio dydis gali jautriai reaguoti į įvairiausių faktorius, pavyzdžiui, kuro kainą, geopolitinius reiškinius, energijos generaciją iš atsinaujinančių energijos išteklių, paklausos svyravimus, pokyčius reguliavimo srityje, infrastruktūrą, technologijų pažangą ir t. t. Būtent dėl šių priežasčių nustatyti elektros energijos kainos kitimo tendencijas ilgalaikėje perspektyvai nėra paprasta. Atsižvelgiant į ribotą duomenų prieinamumą, prognozuojant Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikius bus vertinama Europos elektros energijos didmeninė kaina. Elektros energijos kainos prognozės iki 2050 m. pateikia Miuncheno universiteto Leibniz ekonominių tyrimų institutas [111]. Moksliniame darbe analizuojami du pagrindiniai scenarijai: atsigavimo ir aukštos kainos. Atsigavimo scenarijuje daroma prielaida, jog kuro, daugiausiai gamtinių dujų, kaina palaipsniui krenta, o aukštos kainos scenarijus numato priešingai, jog kuro kaina padidėja. Iš pateikto 16 pav. galima nustatyti, jog abiejų scenarijų atvejais elektros kaina pasižymi mažėjančia tendencija ir skirtumas tarp šių scenarijų ilgalaikėje perspektyvoje nėra didelis. Svarbu atkreipti dėmesį, jog aukštos kainos scenarijaus atveju iki 2028 m. elektros energijos kaina yra žemesnė nei atsigavimo scenarijaus atveju, nes šiame scenarijuje numatoma iš apyvartos taršos leidimais išimti

mažesnę kiekį leidimų, kitaip tariant, mažesni apribojimai CO₂ išmetimui lemia mažesnes elektros kainas [111]. Be to, abiejų scenarijų atveju 2030 m. pastebimas elektros kainos padidėjimas, kurį pasak tyrimo autorių, gali nulemti 2030 m. Europoje planuojamos uždaryti atominės elektrinės [111].



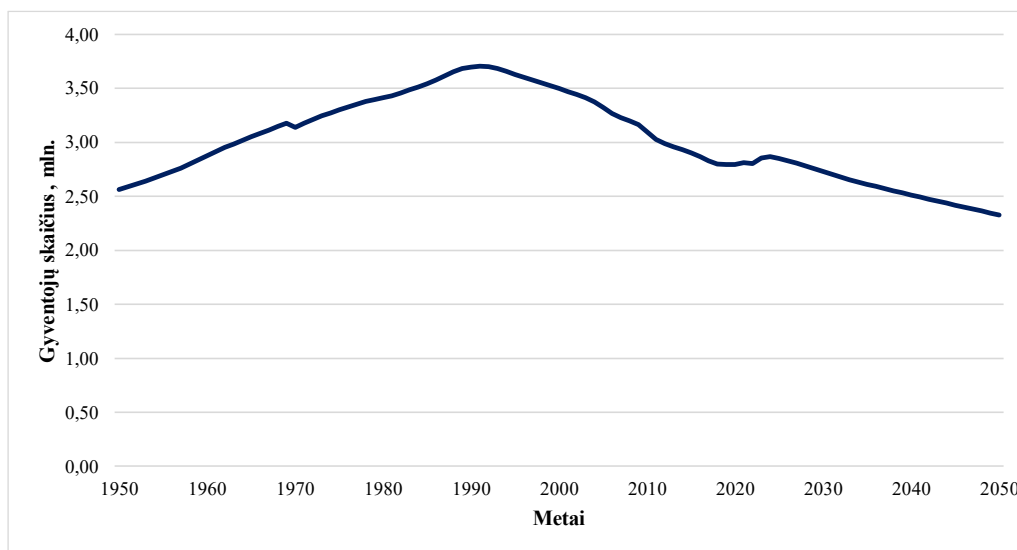
16 pav. Europos didmeninės elektros kainos kitimo tendencijos, 2015–2050 m., eurai/MWh [111]

Apibendrinant galima pasakyti, jog 2023–2050 m. laikotarpiu Europos didmeninės elektros kainos vidutinis metinis pokytis elektros energijos kainos atsigavimo scenarijaus atveju siekia apie -1,67 proc., o aukštos kainos scenarijaus atveju siekia apie -1,73 proc. Taigi, Europos didmeninė elektros energijos kaina po 2022 m. patirto kainų šoko palaipsniui stabilizuosis ir ilgalaikėje perspektyvoje pasižymės mažėjimo tendencija. Toks elektros energijos kainos pokytis ateityje gali prisidėti prie Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių išaugimo.

3.3. Gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos

Šalies gyventojų skaičius yra laikomas vienu svarbiausių iš makroaplinkos veiksnių nustatant, kaip ateityje keisis elektros energijos vartojimo paklausa. Šis veiksnys plačiau aprašomas 1.1 poskyryje. Dėl savo svarbos prognozuojant energijos vartojimo poreikius, pasirinkta analizuoti Lietuvos gyventojų kitimo tendencijas iki 2050 m.

Paprastai gyventojų skaičius turi tiesioginę įtaką energijos suvartojimui, t. y. didesnė populiacija lemia didesnę suvartojamos energijos kiekį tiek namų ūkių, tiek paslaugų ir pramonės sektoriuose. Lietuvos populiacijos kitimo tendencijos pateikiamos OECD duomenų bazėje, kurioje fiksuojamas šalies gyventojų skaičius nuo 1950 m. ir prognozuojamos ateities reikšmės iki 2050 m. [112]. Pagal pateiktą 17 pav. galima pastebėti, jog Lietuvos gyventojų skaičius iki 1992 m. pasižymėjo augimo tendencija. 1990 m. Lietuvos gyventojų skaičius siekė 3,7 mln. gyventojų. Nuo 1992 m. šis rodiklis laipsniškai pradėjo mažėti, o 2023 m. siekė 2,8 mln. gyventojų. Parengta Lietuvos populiacijos kitimo projekcija rodo, jog šalies gyventojų skaičius mažės ir toliau, o 2050 m. sieks apie 2,3 mln. gyventojų, t. y. net 24 proc. mažiau nei 2023 m. Šis šalies gyventojų skaičiaus kitimo vertinimas yra įtraukiamas į BVP tenkančio vienam gyventojui rodiklio skaičiavimą, kuris buvo aptartas 3.1 poskyryje.



17 pav. Lietuvos populiacijos kitimo tendencijos, 1950–2050 m., mln. gyv. [112]

Apibendrinant prognozuojamus duomenis galima pasakyti, jog 2023–2050 m. laikotarpiu vidutinis metinis gyventojų skaičiaus pokytis siekia -0,75 proc. Taigi, Lietuvos gyventojų skaičius ateityje ir toliau pasižymės mažėjimo tendencija. Toks demografinio veiksnio pokytis gali turėti reikšmingą įtaką prognozuojant Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikius ateityje ir lemti jų sumažėjimą ar augimo tempų sulėtėjimą.

3.4. Energijos vartojimo efektyvumo didinimo tendencijos

Nors energijos vartojimo efektyvumo skatinimo veiksnys nebuvo įtrauktas prie pagrindinių makroaplinkos veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos poreikių nustatymui, vis dėlto šis faktorius šių dienų pasaulyje įgyja vis didesnę reikšmę vertinant perspektyvinius elektros energijos poreikius. Dėl šios priežasties, šiame poskyryje atliekama Lietuvos energijos vartojimo efektyvumo skatinimo prielaidos analizė.

Šiai dienai energijos vartojimo efektyvumas yra laikomas prioritetiniu tarptautinių ir nacionalinių energetikos strategijų veiksmu. Žinoma, jog užtikrinus efektyvų energijos vartojimą būtų galima taupyti energijos išteklius bei sumažinti ŠESD emisijas, oro ir vandens taršą, sušvelninti neigiamą klimato kaitos poveikį. Be to, energijos vartojimo efektyvumo skatinimas turi įtaką mažinant namų ūkių, verslo subjektų bei visos valstybės finansines išlaidas bei prisideda prie šalies energetinės nepriklausomybės didinimo. Apibendrinant galima pasakyti, jog energijos vartojimo efektyvumas yra būtinas skatinant ekonominę gerovę, tausojant aplinką, didinant energetinį saugumą ir siekiant tvaraus vystymosi tikslų, todėl atliekant ilgalaikę elektros energijos poreikių prognozę šį faktorių būtina įvertinti taip pat. Energijos vartojimo efektyvumo skatinimas yra įtrauktas į Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos parengtą nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją. Ši strategija parengta pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą (ES) 2023/1791 dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamas Reglamentas (ES) 2023/955. Nacionalinės energetinės nepriklausomybės strategijos dokumente numatoma, jog Lietuvos tikslas iki 2030 m. galutinę energijos suvartojimą sumažinti iki 51,5 TWh, t. y. kiekvienais metais sutaupyti po 1,2 proc. galutinės energijos ir bendrai iki 2030 m. sutaupyti 12,4 proc. energijos [113]. Pagal strategiją [113], siekiant padidinti energijos vartojimo efektyvumą, planuojama įdiegti šilumos siurblius, renovuoti pastatus, elektrifikuoti transportą, įdiegti stebėsenos ir valdymo sistemas energijos suvartojimui,

integruoti vandenilio ir nebiologinės kilmės degalus iš AEI, skatinti mažiau energiją vartojančių pramonės sektorių plėtrą bei įgyvendinti kitas priemones. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija dar nepateikia, koks siekiamas galutinės energijos sutaupymo procentas yra nuo 2030 m., tačiau ES direktyva 2023/1791 [114] numato, jog galutinės energijos sutaupymas valstybėse narėse nuo 2028 m. kasmet turėtų siekti apie 1,9 proc. Šie nustatyti kasmetiniai galutinės energijos vartojimo sutaupymai turi užtikrinti, jog bus pasiekti ES 2030 m. energetikos ir klimato srities tikslai bei 2050 m. poveikio klimatui neutralumo tikslas.

Taigi, apibendrinant galima pasakyti, jog analizuojant Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinius poreikius svarbu įvertinti ir šalies numatomą metinį energijos vartojimo efektyvumo didinimą, kuris planuojama, jog iki 2030 m. sieks 1,2 proc., o nuo 2030 iki 2050 m. – 1,9 proc. Energijos vartojimo efektyvumo skatinimas turės įtaką mažinant namų ūkių elektros energijos poreikius ateityje.

4. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimas

Pagal 3 skyriuje identifikuotas ekonomikos augimo, elektros energijos kainos, gyventojų skaičiaus kitimo bei energijos vartojimo efektyvumo prielaidas atliekamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimas taikant regresinį, ekonometrinį ir MAED modelius. Darbe prognozės atliekamos naudojantis MATLAB programa ir imitaciniu MAED modeliu parengtu MS Excel skaičiuoklės aplinkoje.

4.1. Regresinio modelio taikymas

Vienas iš populiariausių taikomų statistinių metodų atliekant prognozes yra regresijos modelis, todėl šis metodas pasirinktas taikyti prognozuojant Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikius. Kaip žinia, tai paprastos struktūros modelis, kuris skirtingai nei ekonometrinis modelis, elektros energijos paklausą prognozuoja remiantis istoriniais duomenimis, todėl pagrindinis šio modelio ribotumas yra, jog jis negeba įvertinti svarbių, energijos rinkai poveikį turinčių, ateities įvykių.

Koreliacinės analizės atlikimui, regresijos modelio sudarymui ir elektros energijos paklausos prognozavimui taikomi 2015–2022 m. laikotarpio BVP tenkančio vienam gyventojui, Europos didmeninės elektros energijos kainos ir namų ūkių elektros energijos suvartojimo duomenys, kurie pateikiami 4 lentelėje.

4 lentelė. Koreliacinės ir regresinės analizių faktiniai duomenys

Metai	BVP tenkantis vienam gyventojui, eurai pagal 2015 m. PGP	Europos didmeninė elektros energijos kaina, Eur/GWh	Namų ūkių elektros energijos suvartojimas, GWh
2015	2660	0,038	2660
2016	2774	0,035	2775
2017	2837	0,041	2838
2018	2984	0,050	2985
2019	2912	0,045	2913
2020	3044	0,034	3044
2021	3410	0,102	3410
2022	3289	0,231	3289

4.1.1. Koreliacinė analizė

Sudarant regresijos modelį, visų pirma, svarbu įvertinti kintamųjų tiesinę priklausomybę. Tą padaryti padeda statistinis matas – koreliacijos koeficientas, kuris identifikuoja dviejų kintamųjų ryšio stiprumą ir kryptį. Pastarasis faktorius gali varijuoti nuo -1 iki 1. Teigiamas koreliacijos ženklas rodo, jog ryšys tarp dviejų kintamųjų yra tiesioginis, t. y. vienam kintamajam didėjant kitas kintamasis proporcingai didėja taip pat. Kita vertus, neigiamas koreliacijos ženklas rodo apie priešingą ryšį tarp kintamųjų, t. y. vienam kintamajam didėjant kitas kintamasis juda priešinga linkme – mažėja. Ryšio stiprumą tarp dviejų kintamųjų įvertinti padeda Čedoko skalė (žr. 5 lentelę), kurioje ryšys gali varijuoti nuo 0, kada ryšio tarp kintamųjų nėra, iki 1, kada ryšys tarp kintamųjų yra laikomas funkciniu [115].

5 lentelė. Čedoko skalė [115]

Ryšio glaudumo koeficientas	0	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1	1
Ryšio stiprumo charakteristika	Ryšio nėra	Silpnas	Vidutinis	Pastebimas	Stiprus	Labai stiprus	Funkcinis ryšys

Šiuo atveju koreliacinė analizė atliekama tarp šių kintamųjų:

1. elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui;
2. elektros energijos suvartojimo ir elektros energijos kainos.

Apskaičiuoti koreliacijos koeficientai apibendrintai pateikiami 6 lentelėje. Iš pateiktų rezultatų pastebima, jog koreliacijos koeficientas tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui yra 0,92, kas parodo, jog ryšys tarp šių kintamųjų yra tiesioginis ir labai stiprus. Kita vertus, koreliacijos koeficientas tarp elektros energijos suvartojimo ir elektros energijos kainos siekia 0,69, kas reiškia, jog ryšys tarp šių kintamųjų yra tiesioginis ir pastebimas.

6 lentelė. Kintamųjų koreliacijos koeficientai [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

	BVP tenkantis vienam gyventojui	Elektros energijos kaina
Elektros energijos suvartojimas	0,92	0,69

Siekiant įvertinti, ar apskaičiuoti koreliacijos koeficientai yra statistškai reikšmingi, reikalinga iškelti dvi hipotezes – nulinę ir alternatyvią:

1. nulinė hipotezė (H_0) – ryšys tarp kintamųjų yra statistškai nereikšmingas;
2. alternatyvi hipotezė (H_1) – ryšys tarp kintamųjų yra statistškai reikšmingas.

Iškeltos hipotezės įvertinamos pagal paskaičiuotą p -vertę (angl. p -value). Tyrime pasirinktas taikyti reikšmingumo lygmuo yra 95 proc., t. y. nulinė hipotezė priimama ir alternatyvi hipotezė atmetama, jei p -vertė yra didesnė nei 5 proc. Koreliacijos koeficientų p -vertės pateikiamos 7 lentelėje.

7 lentelė. Koreliacijos koeficientų p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

	BVP tenkantis vienam gyventojui	Elektros energijos kaina
Elektros energijos suvartojimas	0,000017546	0,06

Kaip matoma iš duomenų, p -vertė tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui siekia mažiau nei 5 proc., kas reiškia, jog atmetama nulinė hipotezė ir priimama alternatyvi hipotezė. Taigi, ryšys tarp šių kintamųjų laikomas statistškai reikšmingu. Kita vertus, paskaičiuota p -vertė tarp elektros energijos suvartojimo ir elektros energijos kainos siekia daugiau nei 5 proc., todėl priimama nulinė hipotezė ir atmetama alternatyvi hipotezė. Galima teigti, jog šiuo atveju ryšys tarp šių kintamųjų nėra statistškai reikšmingas. Tolimesnei regresinei analizei atlikti bus naudojami tik statistškai reikšmingi kintamieji.

Vis dėlto, koreliacijos koeficientas negali nustatyti priežastinių ryšių tarp kintamųjų, kitaip tariant, jei ryšys tarp analizuojamų kintamųjų egzistuoja, nebūtinai vieno kintamojo pokyčiai sukelia kito kintamojo pokyčius. Taigi, siekiant nustatyti priežastinius ryšius tarp kintamųjų atliekama regresinė analizė.

4.1.2. Regresinė analizė

Regresinės analizės tikslas yra nustatyti funkciją, kurioje pagal nepriklausomo kintamojo – X, reikšmės būtų prognozuojamos priklausomo kintamojo – Y, reikšmės. Regresinei analizei atlikti taikomi nuo 2015 m. iki 2022 m. laiko eilučių tipo duomenys, kurie parodo daugiau nei vieno kintamųjų stebėjimus per tam tikrą laiką. Tyrime identifikuojami priklausomi ir nepriklausomi kintamieji yra šie:

- priklausomas kintamasis Y – elektros energijos suvartojimas, GWh;
- nepriklausomas kintamasis X – BVP rodiklis tenkantis vienam gyventojui, Eur/gyv.

Šiame darbe pasirinkti analizuoti trys pagrindiniai regresijos modelių tipai – tiesinis (8), antrojo laipsnio polinomo (kvadratinis modelis) (9) ir atvirkštinis modelis (10). Programa MATLAB atitinkamai pateikia šių modelių lygtis:

$$y = 1120,4 + 0,12624 * x; \quad (8)$$

$$y = 5735,7 - 0,55268 * x + 2,45 * 10^{-5} * x^2; \quad (9)$$

$$y = 4513,1 - 2,2341 * 10^7 * \frac{1}{x}; \quad (10)$$

Siekiant nustatyti šių modelių tinkamumą pritaikytas mažiausių kvadratų metodas, kurio gauti parametrai – determinacijos koeficientas (R^2) ir koreguotas determinacijos koeficientas (R^2_{koreg}), yra vertinami siekiant parinkti tinkamiausią regresijos modelį. Šie parametrai varijuoja nuo 0 iki 1 ir parodo priklausomojo kintamojo variacijos dalį, kurią paaiškina nepriklausomas kintamasis. Parametrų reikšmės pateikiamos 8 lentelėje. Pirmenybė teikiama modeliui, kurio šie parametrai yra arčiausiai 1 reikšmės.

8 lentelė. Regresijos modelių determinacijos ir koreguoti determinacijos koeficientai [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Regresijos modelis	R^2	R^2_{koreg}
Tiesinis modelis	0,85	0,83
Kvadratinis modelis	0,93	0,91
Atvirkštinis modelis	0,78	0,76

Iš pateiktų rezultatų galima matyti, jog atvirkštinio regresijos modelio determinacijos koeficientas ir koreguotas determinacijos koeficientas yra mažiausi ir atitinkamai siekia 0,78 ir 0,76. Kita vertus, kvadratinio regresijos modelio šie parametrai yra artimiausi 1. Determinacijos koeficientas siekia 0,93, o koreguotas determinacijos koeficientas – 0,91. Tiesinio regresijos modelio parametrai yra laikomi taip pat aukštais. Galima sakyti, jog remiantis šiais dydžiais patikimiausi regresijos modeliai, kurie nusako ryšį tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui, yra tiesinis regresijos modelis ir kvadratinis regresijos modelis.

Atlikus pagrindinių parametrų analizę, svarbu nustatyti, ar analizuojamų modelių koeficientai yra statistškai reikšmingi. Kitaip tariant, reikia identifikuoti, ar ryšys tarp kintamųjų yra statistškai reikšmingas. Šiam tikslui įgyvendinti keliamos dvi hipotezės:

1. nulinė hipotezė (H_0) – ryšys tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui yra statistškai nereikšmingas;

2. alternatyvi hipotezė (H1) – ryšys tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui yra statistiškai reikšmingas.

Iškeltų hipotezių vertinamas atliekamas pagal p -vertę esant 5 proc. patikimumo lygiui. Regresijos modelių koeficientų statistinio reikšmingumo vertinimas pateikiamas 9 lentelėje.

9 lentelė. Regresijos modelių koeficientų p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Regresijos modelis	Koeficientas	p -vertė
Tiesinis modelis	1120,4	0,0006686
	0,12624	0,00001754
Kvadratinis modelis	5735,7	0,0031298
	-0,55268	0,027321
	$2,45 \cdot 10^{-5}$	0,010209
Atvirkštinis modelis	4513,1	0,000000014785
	$-2,2341 \cdot 10^7$	0,00012609

Iš pateiktų rezultatų galima pastebėti, jog visų regresijos modelių koeficientų p -vertės yra mažesnės nei 5 proc., kas reiškia, jog lygčių koeficientai yra statistiškai reikšmingi, todėl visais atvejais atmetama nulinė hipotezė ir priimama alternatyvi hipotezė, kuri teigia, jog ryšys tarp elektros energijos suvartojimo ir BVP tenkančio vienam gyventojui yra statistiškai reikšmingas.

Įvertinus regresijos modelių koeficientų reikšmingumą, svarbu patikrinti, ar pats sudarytas modelis yra statistiškai reikšmingas, todėl papildomai atliekama dispersinė analizė ir sudaroma ANOVA (angl. *analysis of variance*) lentelė. Siekiant nustatyti regresijos modelio tinkamumą keliamos dvi hipotezės:

1. nulinė hipotezė (H0) – regresijos modelis statistiškai nereikšmingas;
2. alternatyvi hipotezė (H1) – regresijos modelis statistiškai reikšmingas.

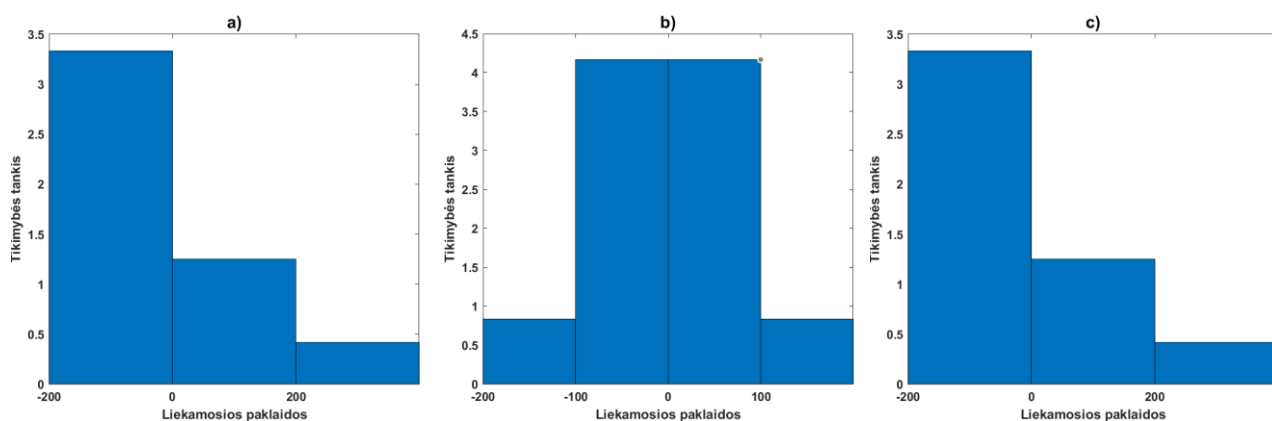
Dispersinės analizės rezultatai apibendrintai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. ANOVA p -vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Regresijos modelis	Kintamasis	p -vertė
Tiesinis modelis	X	0,000017546
Kvadratinis modelis	X	0,0000020883
	X ²	0,010209
Atvirkštinis modelis	X	0,00012609

ANOVA lentelės rezultatai parodo, jog visų regresijos modelių p -vertės yra mažesnės nei nustatytas patikimumo lygmuo – 5 proc., todėl visais atvejais atmetama nulinė hipotezė ir priimama alternatyvi hipotezė, kuri teigia, jog sudarytas regresijos modelis yra statistiškai reikšmingas.

Papildomai modelio tinkamumą įvertinti leidžia liekamųjų paklaidų analizė. Liekamosiomis paklaidomis yra vadinamas skirtumas tarp faktinės reikšmės ir regresijos lygties pagalba gautos reikšmės. Vienas iš pagrindinių taikomų analizės metodų yra liekamųjų paklaidų pasiskirstymas pagal normalųjį skirstinį. Tą įvertinti padeda sudaryta liekamųjų paklaidų histograma (žr. 18 pav.), kurios forma indikuoja apie liekamųjų paklaidų normalųjį pasiskirstymą.



18 pav. Liekamųjų paklaidų normalusis pasiskirstymas, a) tiesinis modelis, b) kvadratinis modelis, c) atvirkštinis modelis [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

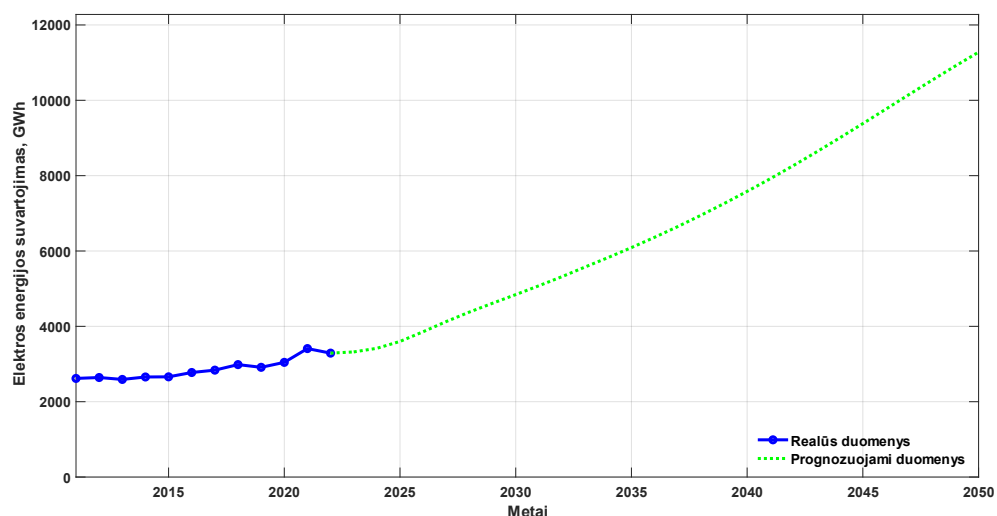
Remiantis pateiktais rezultatais, tiesinio ir atvirkštinio modelio liekamųjų paklaidų histogramos yra asimetriškos formos. Kaip pastebima, didžioji dalis liekamųjų paklaidų yra neigiamos, kas reiškia, jog šių regresijos modelių prognozuojamos vertės linkusios būti didesnė nei faktinės. Kita vertus, kvadratinio modelio liekamųjų paklaidų histograma yra simetriška ir primena varpo formą. Tokia histogramos forma rodo, jog egzistuoja liekamųjų paklaidų normalusis pasiskirstymas. Kitaip tariant, liekamosios paklaidos pasiskirsčiusios aplink nulį ir jos laikomos atsitiktinėmis bei nepriklausomomis.

Taigi, apibendrinus visus atliktos regresinės analizės rezultatus, nustatyta, jog elektros energijos poreikių prognozavimui labiausiai tinkamas yra kvadratinis regresijos modelis, kurio determinacijos ir koreguotas determinacijos koeficientai yra arčiausi 1, visi modelio koeficientai ir pats modelis yra statistiškai reikšmingi, o liekamosios paklaidos pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį. Remiantis šiuo modeliu atliekama elektros energijos paklausos prognozė nuo 2023 m. iki 2050 m. Rezultatai pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant kvadratinį regresijos modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Metai	Prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh
2023	3321
2024	3417
2025	3600
2026	3857
2027	4128
2028	4380
2029	4614
2030	4843
2035	6090
2040	7582
2045	9382
2050	11278

Atliktos prognozės rezultatai rodo, jog elektros energijos suvartojimas per visą analizuojamą laikotarpį didėja, o 2050 m. siekia apie 11 tūkst. GWh. Duomenys analogiškai atvaizduojami 19 pav.



19 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant kvadratinį regresijos modelį, 2010–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Apibendrinant galima pasakyti, jog vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimas 2023–2050 m. laikotarpiu siekia 4,64 proc. Taigi, prognozė, atlikta taikant kvadratinį regresijos modelį, kuris įvertina BVP tenkančio vienam gyventojui įtaką elektros energijos poreikiams, parodė, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausa laikotarpyje 2023–2050 m. pasižymės augimo tendencija ir suvartojimas 2050 m. vidutiniškai gali siekti apie 11 tūkst. GWh. Tokį elektros energijos poreikio pokytį ateityje lemia tendencingai auganti šalies ekonomika. Vis dėlto, pagrindinis regresinio modelio trūkumas, jog prognozės sudaromos remiantis tik istoriniais duomenimis ir nevertinami galimi ateities įvykiai.

4.2. Ekonometrinio modelio taikymas

Dar vienas iš statistinių metodų, kuris taikomas atliekant Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę, yra ekonometrinis modelis. Šiuo modeliu, skirtingai nei regresijos modeliu, siekiama įvertinti, kaip namų ūkių elektros energijos poreikiai keisis ateityje priklausomai nuo ekonomikos augimo, elektros energijos kainos kitimo, gyventojų skaičiaus ir energijos vartojimo efektyvumo skatinimo scenarijų. Be to, sudarytas ekonometrinis modelis gebės įvertinti vartotojų reakciją į pajamų bei kainų pokyčius.

Darbe analizuojamas ekonometrinis modelis aprašomas pagal (11) funkciją. Šis modelis sudarytas remiantis mokslininkų I. Konstantinavičiūtės ir kt. knygoje „Energijos poreikių kaita ir jų prognozavimo metodai“ aprašytu metodu [116].

$$E_i(t) = E_i(t-1) \left[\frac{A_i(t)}{A_i(t-1)} \right]^{\alpha_i} * \left[\frac{P_i(t)}{P_i(t-1)} \right]^{\beta_i} * T; \quad (11)$$

čia $E_i(t)$ – energijos poreikiai laiko momentu t , i -ojo ūkio sektoriuje; $E_i(t-1)$ – energijos poreikiai laiko momentu $(t-1)$, i -ojo ūkio sektoriuje; A_i – ekonominė veikla i -ojo ūkio sektoriuje; α_i – pajamų

elastingumas i-ojo ūkio sektoriuje; P_i – energijos kaina i-ojo ūkio sektoriuje; β_i – kainų elastingumas i-ojo ūkio sektoriuje; T – energijos taupymo potencialas.

Atliekant elektros energijos poreikių prognozę, visų pirma, svarbu įvertinti, kaip namų ūkiai reaguoja į elektros energijos kainos ir pajamų pasikeitimus, t. y. kaip priklausomai nuo šių dydžių pasikeičia namų ūkių elektros energijos suvartojimas. Vartotojų reakciją į kainų ir pajamų pasikeitimus įvertinti padeda energijos vartojimo kainų ir energijos vartojimo pajamų elastingumo koeficientai. Ekonometriniam modelyje šie dydžiai pažymėti α ir β koeficientais. Remiantis moksline literatūra [117], kurioje analizuojami ES šalių kainų ir pajamų elastingumo koeficientai, nustatyta, jog ilguoju laikotarpiu namų ūkių energijos vartojimo kainos elastingumas svyruoja nuo -0,53 iki -0,56, o energijos vartojimo pajamų elastingumas ilguoju laikotarpiu siekia apie 0,61. Kaip pastebima, abu elastingumo koeficientai yra mažesni už 1, kas atitinkamai parodo santykiniai neelastingą vartotojų reakciją į elektros energijos kainos ir pajamų pokyčius. Kitaip tariant, elektros energijos kainų ar pajamų pasikeitimas sąlygoja mažesnę elektros energijos suvartojimo pasikeitimą. Svarbu paminėti, jog elektros energijos kainos elastingumo koeficientas turi neigiamą ženklą, kas atitinkamai rodo, jog elektros energijos kainai padidėjus, elektros energijos poreikis keičiasi priešinga linkme – mažėja. Taigi, remiantis atlikta ES šalių statistika šiame darbe priimta α koeficientą laikyti 0,61, o β koeficientą – -0,53.

Prognozavimui atlikti pasirinkti baziniai metai yra 2022 m. Šių metų faktinis BVP tenkantis vienam gyventojui siekia 3289 eurų pagal 2015 m. PGP, Europos didmeninė elektros energijos kaina – 0,231 Eur/GWh, o energijos vartojimo efektyvumo koeficientas – 1,2 proc. Nustatytas prognozavimo laikotarpis yra 2023–2050 m. Siekiant nustatyti, kokią įtaką kiekvienas iš veiksnių daro elektros energijos paklausai, pasirinkti analizuoti 3 atvejai:

1. 1 atvejis – prognozavimas atliekamas vertinant ekonomikos augimą ir gyventojų skaičių;
2. 2 atvejis – prognozavimas atliekamas vertinant ekonomikos augimą, gyventojų skaičių ir elektros energijos kainą;
3. 3 atvejis – prognozavimas atliekamas vertinant ekonomikos augimą, gyventojų skaičių, elektros energijos kainą ir energijos vartojimo efektyvumo skatinimą.

Pirmiausia, namų ūkių elektros energijos paklausos prognozavimas atliekamas pagal 1 atvejį, kada namų ūkių elektros energijos poreikiai prognozuojami vertinant tik ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus veiksniai. Šiuo atveju analizuojami 2 pagrindiniai prognozavimo scenarijai:

1. A scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas bazinio scenarijaus atveju;
2. B scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas energetikos transformacijos scenarijaus atveju.

Prognozės rezultatai pateikiami 12 lentelėje.

12 lentelė. 1 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Metai	A scenarijus	B scenarijus
2023	3281	3280
2024	3323	3323
2025	3397	3396
2026	3488	3486

12 lentelės tęsinys

Metai	A scenarijus	B scenarijus
2027	3573	3570
2028	3644	3640
2029	3705	3700
2030	3761	3754
2035	4017	4003
2040	4259	4235
2045	4497	4459
2050	4709	4684

Apibendrinant galima pasakyti, jog vertinant tik ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus veiksnius vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimo tempas A scenarijaus atveju siekia 1,97 proc., o B scenarijaus atveju – 1,95 proc.

Toliau namų ūkių elektros energijos paklausos prognozavimas atliekamas pagal 2 atvejį, kada vertinamas ne tik ekonomikos augimas ir gyventojų skaičius, bet ir elektros energijos kaina. Šiuo atveju analizuojami 4 pagrindiniai prognozės scenarijai:

1. A scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas bazinio scenarijaus atveju ir elektros energijos kainos kitimas atsigavimo scenarijaus atveju;
2. B scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas energetikos transformacijos scenarijaus atveju ir elektros energijos kainos kitimas atsigavimo scenarijaus atveju;
3. C scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas bazinio scenarijaus atveju ir elektros energijos kainos kitimas aukštos kainos scenarijaus atveju;
4. D scenarijus – BVP tenkančio vienam gyventojui kitimas energetikos transformacijos scenarijaus atveju ir elektros energijos kainos kitimas aukštos kainos scenarijaus atveju.

Prognozės rezultatai pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. 2 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Metai	A scenarijus	B scenarijus	C scenarijus	D scenarijus
2023	5213	5213	5213	5213
2024	4927	5000	5000	4927
2025	5810	5962	5962	5810
2026	6247	6378	6380	6245
2027	6535	6676	6680	6531
2028	6763	6911	6917	6757
2029	7088	6868	6877	7079
2030	6276	6266	6276	6266
2035	7568	7430	7456	7542
2040	8345	8165	8212	8298
2045	8884	8666	8741	8808
2050	9985	9856	9985	9856

Apibendrinant galima pasakyti, jog vertinant ekonomikos augimo veiksnį, gyventojų skaičių ir elektros energijos kainą, vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimo tempas A scenarijaus atveju siekia 3,06 proc., B scenarijaus atveju – 2,99 proc., C scenarijaus atveju – 3,01 proc., o D scenarijaus atveju – 3,04 proc. Lyginant su prognozės, kada buvo vertinamas tik ekonomikos augimas ir gyventojų skaičius, rezultatais pastebima, jog vidutinis metinis namų ūkių elektros energijos poreikio augimas yra didesnis, todėl galima teigti, jog elektros energijos kainos veiksnys, kuris 3.2. poskyryje buvo identifikuotas kaip tendencingai mažėjantis, turi įtaką didėjančiam namų ūkių elektros energijos suvartojimui, t. y. mažėjanti elektros energijos kaina sąlygoja padidėjusį namų ūkių elektros energijos vartojimą.

Galiausiai, namų ūkių elektros energijos paklausos prognozavimas atliekamas pagal 3 atvejį, kada greta ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus ir elektros energijos kainos yra vertinamas ir energijos vartojimo efektyvumo veiksnys. Šiuo atveju analizuojamos tos pačios prielaidos kaip ir 2 atveju. Atliktos prognozės rezultatai pateikiami 14 lentelėje.

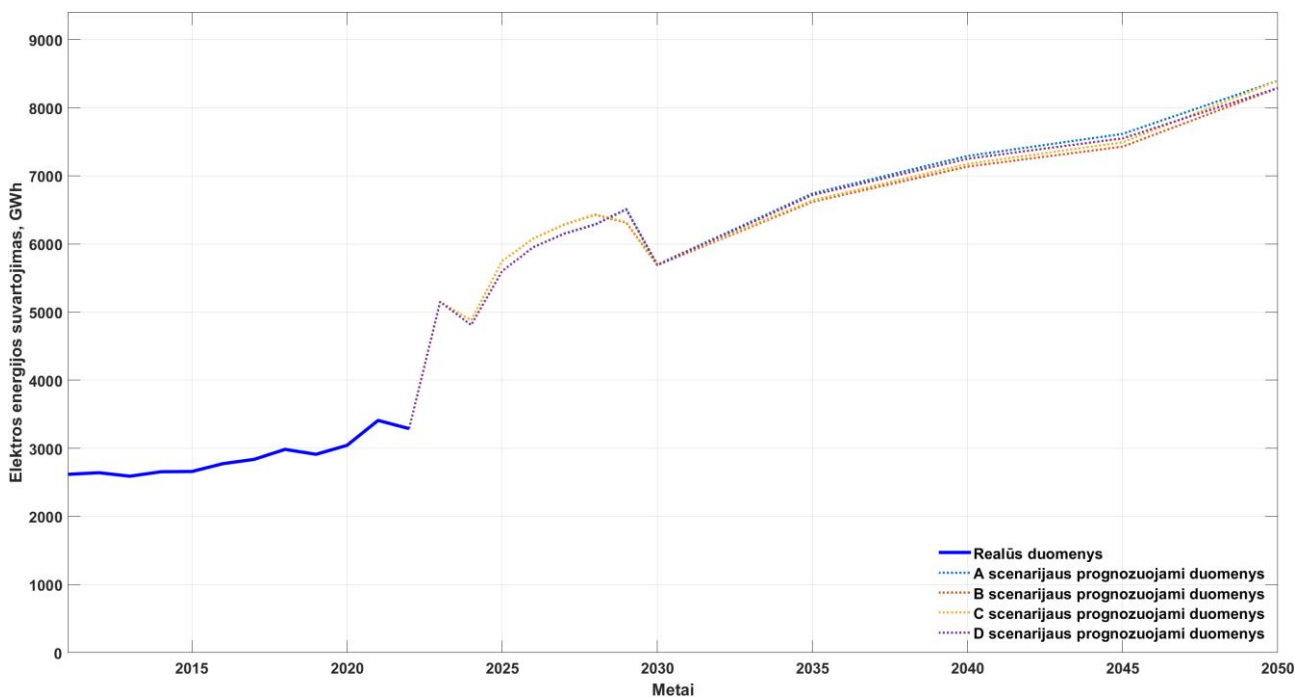
14 lentelė. 3 atveju prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2023–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Metai	A scenarijus	B scenarijus	C scenarijus	D scenarijus
2023	5150	5150	5150	5150
2024	4809	4880	4880	4809
2025	5603	5750	5750	5603
2026	5952	6077	6079	5951
2027	6152	6285	6289	6148
2028	6291	6428	6434	6285
2029	6514	6311	6319	6505
2030	5698	5689	5698	5689
2035	6741	6618	6641	6718
2040	7291	7135	7175	7250
2045	7615	7428	7492	7550
2050	8396	8288	8396	8288

Apibendrinant galima pasakyti, jog vertinant ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus, elektros energijos kainos ir energijos vartojimo efektyvumo veiksniumi, vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimo tempas A scenarijaus atveju siekia 1,82 proc., B scenarijaus atveju – 1,76 proc., C scenarijaus atveju – 1,78 proc., o D scenarijaus atveju – 1,80 proc. Lyginant su prognozės rezultatais 1 ir 2 atveju, pastebima, jog 3 atveju metinis namų ūkių elektros energijos paklausos augimas yra mažesnis. Galima daryti išvadą, jog elektros energijos vartojimo efektyvumo didinimas mažina elektros energijos suvartojimą.

Remiantis ekonometrinio modelio prognozės rezultatais pastebima, jog visais atvejais Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimas ateityje pasižymi didėjančia tendencija, o tarp skirtingų veiksmų kitimo scenarijų nėra identifikuojama ryškių skirtumų. Analizuojant pagrindinio – 3 atvejo, prognozavimo rezultatus jau 2023 m. numatomas elektros energijos suvartojimo padidėjimas. Toks energijos paklausos šuolis gali būti paaiškinamas 2023 m. daugiau kaip 50 proc. sumažėjusia didmenine ES elektros energijos kaina, kitaip tariant, prognozė rodo, jog po 2022 m. patirto elektros

energijos kainų šoko, 2023 m. elektros energijos kaina stabilizuojasi, todėl atitinkamai reikšmingai išauga ir elektros energijos suvartojimas namų ūkiuose. 2030 m. pastebimas elektros energijos suvartojimo sumažėjimas, kuris atsiranda dėl padidėjusios elektros energijos kainos. 2050 m. didžiausias elektros energijos suvartojimas prognozuojamas A scenarijaus ir C scenarijaus atveju, kada numatomas bazinis BVP tenkančio vienam gyventojui pokyčio scenarijus, o B ir D scenarijų atveju mažesnį elektros energijos suvartojimą lemia mažesni BVP tenkančio vienam gyventojui augimo tempai dėl vykdomos energetikos transformacijos. 3 atvejo prognozės rezultatai taip pat pateikiami 20 pav.



20 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant ekonometrinį modelį, 2010–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Apibendrinant galima pasakyti, jog prognozė, atlikta taikant ekonometrinį modelį, kuris įvertina ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus kitimo, elektros energijos kainos ir energijos vartojimo efektyvumo didinimo veiksnus, parodė, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikiai laikotarpyje 2023–2050 m. pasižymės augimo tendencija ir suvartojimas 2050 m. vidutiniškai gali svyruoti nuo 8288 GWh iki 8396 GWh. Nors gyventojų skaičiaus mažėjimas ir energijos vartojimo efektyvumo didinimas švelnina elektros energijos poreikių augimo tempus, tačiau įtaką didėjančiai elektros energijos paklausai daro auganti šalies ekonomika ir mažėjanti elektros energijos kaina.

4.3. Imitacinio MAED modelio taikymas

Imitacinis MAED modelis yra laikomas vienu iš pagrindinių imitacinių modelių, kuris leidžia atlikti energijos poreikių prognozavimą vertinant išsamių ekonominių, technologinių ir socialinių veiksnių, sąlygojančių elektros energijos poreikius, kitimo scenarijus. Be to, šis modelis suteikia galimybę išsamiai analizuoti istorinius šalies duomenis bei tendencijas ateityje. Skirtingai nei anksčiau aptarti statistiniai modeliai – regresijos ir ekonometrinis, MAED modelis išsiskiria savo duomenų detalumu. Taigi, dėl galimybės modelį pritaikyti analitikai ir prognozei, MAED yra naudojamas ir atliekant Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizę. Skaičiavimai tyrime atliekami naudojantis TATENA parengtu imitaciniu MAED modeliu.

TATENA parengtas modelis yra laikomas holistinio požiūrio, kadangi jis apima visus šalies sektorius – pramonės, transporto, paslaugų ir namų ūkių, bei pagrindines energijos formas – tradicinį kurą, biomasę, elektrą, centrinį šildymą, saulės energiją ir iškastinį kurą. Šiuo atveju siekiant atlikti Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę, imitaciniame MAED modelyje analizuojamas tik namų ūkio sektorius ir elektros energija. Modelyje namų ūkio sektoriaus analizė yra išskiriama į miesto ir kaimo vietas bei į keturias pagrindines energijos vartojimo sritis – būsto šildymą, vandens šildymą, maisto gaminimą ir elektros prietaisų vartojimą. Modelyje pateikiami istoriniai duomenys nuo 2015 m. iki 2022 m. Imitaciniame MAED modelyje didžiausias galimas įvedamų laikotarpių skaičius yra 15, todėl nurodomas prognozės laikotarpis yra nuo 2025 m. iki 2050 m.

Demografiniai veiksniai. Analizuojant namų ūkių elektros energijos suvartojimą, visų pirma, svarbu įvertinti demografinius veiksnius. Vienas pagrindinių MAED modelyje analizuojamų demografinių veiksnių yra šalies gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos, kurias pateikia OECD duomenų bazė (žr. 3.3. poskyrį). Šis dydis vertinamas siekiant identifikuoti namų ūkių skaičių. Papildomai, modelyje yra vertinamas Lietuvos statistikos departamento [63] pateikiamas gyventojų skaičius mieste ir kaime bei vidutinis asmenų skaičius namų ūkyje mieste ir kaime. Remiantis šiais dydžiais paskaičiuojamas namų ūkių skaičius mieste ir kaime (žr. 15 lentelę).

15 lentelė. Namų ūkių skaičius mieste ir kaime, 2015–2050 m., tūkst. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Namų ūkių skaičius mieste	911	969	1158	1118	1080	1049	1019	989
Namų ūkių skaičius kaime	431	391	442	414	388	365	343	323

Kaip pastebima iš pateiktų duomenų, namų ūkių skaičius mieste yra didesnis nei namų ūkių skaičius kaime. Tam įtaką turi sparčiai vykstantis urbanizacijos procesas. Vis dėlto, namų ūkių skaičius tiek mieste, tiek kaime identifikuojama, jog ateityje mažės, kadangi mažėja šalies gyventojų skaičius ir vidutinis asmenų skaičius namų ūkyje.

Būsto šildymas. Analizuojant energijos vartojimą būsto šildymui yra vertinamas jau minėtas namų ūkių skaičius. Kitas vertinamas veiksnys yra laipsniadieniai (angl. *degree-days*). Šio veiksnio vertės iki 2022 m. pateikia duomenų portalas EUROSTAT [118]. Laipsniadieniai per visą analizuojamą laikotarpį yra nepastoviai kintantis dydis, todėl prognozės laikotarpiui taikoma apskaičiuota vidutinė rodiklio vertė 3661 dienos °C. Kitas svarbus dydis analizuojant namų ūkių energijos poreikius būsto šildymui yra vidutinis būsto dydis, kuris išreikštas m². Šio rodiklio vertės nuo 2015 m. iki 2022 m. pateikia Lietuvos statistikos departamentas [63]. Per visą analizuojamą laikotarpį šis rodiklis pasižymi augimo tendencija. Paskaičiuota, jog gyvenamojo būsto plotas mieste vidutiniškai kasmet paauga 0,24 m², o kaime – 0,4 m². Remiantis šia rodiklio kitimo tendencija sumodeliuotas gyvenamųjų būsto plotas iki 2050 m. Be to, taikyta prielaida, jog šildoma 90 proc. viso gyvenamųjų būsto ploto. Analizuojant energijos vartojimą būsto šildymui imitaciniame MAED modelyje taip pat vertinamas pastatų atitvarų šilumos nuostolių rodiklis, kuris apskaičiuojamas įvertinant lyginamosios energijos sąnaudas, tenkančias 1 m² per metus pagal pastatų energetinio naudingumo klases ir laipsniadienius [118, 119]. Remiantis Lietuvos ilgalaikę renovacijos strategija šiai dienai šalyje vyraujanti gyvenamosios paskirties pastatų energetinio naudingumo klasė yra D ir žemesnė [120]. Iki

2050 m. planuojama, jog 100 proc. D ir žemesnės energetinio naudingumo klasės pastatų bus renovuota į A arba B klasės energetinio naudingumo pastatus [120]. Vis dėlto, pastatų renovacija į B energetinio naudingumo klasę yra pigesnė nei renovacija į A energetinio naudingumo klasę [121]. Be to, renovacijos tempai šiai dienai yra lėti, t. y. faktiškai renovuotų pastatų skaičius yra mažesnis nei buvo suplanuota [122]. Atsižvelgiant į šiuos duomenis, galima daryti prielaidą, jog nuo 2030 m. iki 2050 m. Lietuvoje didžioje dalis gyvenamosios paskirties pastatų bus B energetinio naudingumo klasės. Taigi, apibendrinus visus rodiklius MAED modelio rezultatai pateikiami 16 lentelėje. Kaip rodo pateikti rezultatai, mieste metinis energijos poreikis gyvenamųjų būstų šildymui išlieka didesnis nei kaime. Pastebima tendencija, jog namų ūkių energijos poreikis būsto šildymui ateityje mažėja. Galima teigti, jog daugiausiai tam įtaką turi mažėjantis namų ūkių skaičius ir padidėjusi pastatų dalis su aukštesne energetinio naudingumo klase.

16 lentelė. Metinis energijos poreikis gyvenamųjų būstų šildymui mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mieste	7419,7	8117,4	9806,4	6236,9	6137,4	6066,7	5999,2	5929,4
Kaime	4525,1	4260,8	4873,2	3022,5	2897,0	2789,4	2683,5	2580,5

Remiantis 2015–2022 m. Lietuvos statistikos departamento duomenimis [63] bendroje kuro struktūroje pagrindinę energijos dalį, reikalingą būsto šildymui, sudaro šiluminė energija, gamtinės dujos ir elektra, o nuo 2018 m. – aplinkos šiluminė energija arba, kitaip tariant, šilumos siurbliai, kurie paprastai 75 proc. energijos gauna iš aplinkos, o likusi dalis – 25 proc. yra priskiriami elektros energijai [123]. MAED modelyje papildomai vertinamas šilumos siurblio našumo koeficientas, kuris iki 2022 m. vidutiniškai siekia 4, o nuo 2023 m. iki 2050 m. daroma prielaida, jog ši technologija tobulės ir taps efektyvesnė, todėl parenkamas aukštesnis našumo koeficientas 4,5 [124]. Analizuojant gyvenamojo būsto šildymo tendencijas ateityje verta paminėti, jog reikšmingai mažės iškastinio kuro dalis ir didės būsto šildymas naudojant šilumos siurblius, kurie yra efektyvūs ir užtikrina mažas elektros energijos sąnaudas [125]. Be to, nuo 2023 m. spalio mėn. Lietuvos energetikos agentūra siekdama paskatinti namų ūkius modernizuoti šildymo sistemas paskelbė apie šilumos siurblių įsigijimo paramą, skirtą fiziniams asmenims [123]. Bendras numatytas paramos dydis siekia 90 mln. eurų [123]. Remiantis tarptautinės energetikos agentūros duomenimis, 2030 m. šilumos siurbliai patenkins apie 25 proc. būsto šildymo poreikių, 2035 m. – 40 proc., o 2050 m. – 55 proc. [126]. Taigi, atlikta prognozė rodo, jog ateityje elektros energijos suvartojimo dalis bendroje būsto šildymo energijos struktūroje išaugs, o pagrindiniai šaltiniai, patenkinantys būsto šildymo poreikį, bus šilumos siurbliai ir šiluminė energija (žr. 17 lentelę).

17 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje būstų šildymo energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Elektros dalis	2,6	4,0	8,3	16,3	24,2	32,3	40,3	48,3

Vandens šildymas. Analizuojant energijos poreikį vandens šildymui vertinamas vidutinis asmenų skaičius namų ūkyje ir namų ūkių skaičius. MAED modelyje taip pat vertinama procentinė dalis namų ūkių, kurie turi prieigą prie karšto vandens. Šio rodiklio pokyčius miesto ir kaimo vietovėse nuo 2006 m. iki 2016 m. pateikia Lietuvos statistikos departamentas [63]. Įvertinus rodiklį buvo pastebėta, jog mieste būstų dalis, kuri turi karšto vandens tiekimą, kas 3 metus paauga apie 2 proc., todėl daroma

prielaida, jog iki 2050 m. šis rodiklis sieks 100 proc. Kita vertus, kaimo vietovėse šis rodiklis yra kur kas mažesnis (2016 m. kaime siekia 68 proc., mieste – 96 proc.), tačiau istorinių duomenų analizė parodė, jog rodiklis kas 3 metus paauga 2 proc., todėl paskaičiuota, jog 2050 m. kaimuose būstų, turinčių karšto vandens, dalis sieks 90 proc. Toliau MAED modelyje analizuojamas karšto vandens suvartojimas tenkantis vienam gyventojui. Karšto vandens suvartojimo duomenis nuo 2015 m. iki 2022 m. pateikia Lietuvos statistikos departamentas [63]. Atliekant tolimesnę vandens vartojimo prognozę remiamasi ENERDATA ir Europos Komisijos sudarytomis energijos paklausos prognozėmis, kurios įvertina ES siekį didinti energijos vartojimo efektyvumą [127, 128], todėl iki 2030 m. vandens šildymo energijos suvartojimui pritaikomas Lietuvos suplanuotas kasmetinis 1,2 proc. sutaupymo koeficientas, o nuo 2030 m. iki 2050 m. – 1,9 proc. (žr. 3.4. poskyrį). Apibendrinus visus rodiklius, rezultatai pateikiami 18 lentelėje. Kaip pastebima iš pateiktų duomenų, metinis energijos poreikis vandens šildymui išlieka didesnis miesto vietovėse. Be to, miesto ir kaimo vietovėse iki 2025 m. identifikuojamas augantis energijos poreikis vandens šildymui, tačiau ateityje šis rodiklis pasižymi mažėjimo tendencija. Pagrindinė identifikuojama šio rodiklio mažėjimo priežastis yra vartojimo efektyvumo didinimas.

18 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis vandens šildymui mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mieste	765,7	876,5	1181,5	1121,4	1027,3	940,9	861,8	789,2
Kaime	256,6	252,8	333,6	323,8	295,0	275,1	255,7	232,0

Remiantis 2015–2022 m. Lietuvos statistikos departamento duomenimis [63] bendroje kuro struktūroje pagrindinę energijos dalį, reikalingą vandens šildymui sudaro šiluminė energija, gamtinės dujos ir elektra, o nuo 2018 m. didėja aplinkos šiluminės energijos dalis arba, kitaip tariant, šilumos siurblių kiekis. Remiantis tomis pačiomis prielaidomis kaip ir analizuojant elektros energijos dalį būsto šildyme, prognozuojama elektros energijos dalis bendroje vandens šildymui reikalingoje energijos struktūroje. Apibendrinant prognozės rezultatus galima pasakyti, jog ateityje elektros energijos suvartojimo dalis bendroje vandens šildymo energijos struktūroje išaugs, kadangi mažės iškastinio kuro vartojimas, o pagrindiniai šaltiniai, patenkinantys vandens šildymo poreikį, bus šiluminė energija ir šilumos siurbLIAI (žr. 19 lentelę).

19 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje vandens šildymo energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Elektros dalis	12,9	11,7	16,1	20,6	25,1	29,7	34,1	38,6

Maisto gaminimas. Analizuojant energijos poreikį maisto gamybai, visų pirma, MAED modelyje vertinamas namų ūkių skaičius. Sekantis pagrindinis vertinamas rodiklis yra per metus maisto gamybai patirtos energijos sąnaudos, tenkančios vienam būstui. Energijos suvartojimo maisto gamybai duomenis nuo 2015 m. iki 2022 m. pateikia Lietuvos statistikos departamentas [63]. Prognozuojant tolimesnį energijos poreikį maisto gamybai remiamasi analogiška prielaida kaip ir energijos poreikio vandens šildymui atveju [127, 128], todėl iki 2030 m. energijos suvartojimui pritaikomas Lietuvos suplanuotas kasmetinis 1,2 proc. sutaupymo koeficientas, o nuo 2030 m. iki 2050 m. – 1,9 proc. Apibendrinus aptartus rodiklius MAED modelio rezultatai pateikiami 20 lentelėje. Pateikti rezultatai rodo, jog per visą analizuojamą laikotarpį miesto vietovėse energijos

poreikis maisto gamybai yra didesnis nei kaimo vietovėse. Pastebima, jog iki 2025 m. šis rodiklis tiek mieste, tiek kaime pasižymi augimo tendencija, o nuo 2030 m. tendencingai mažėja. Tokį rodiklio pokytį ateityje paaiškina vartojimo efektyvumo didinimas.

20 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis maisto gamybai mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mieste	415,4	505,7	546,5	518,7	475,2	435,2	398,6	365,0
Kaime	196,6	204,1	208,5	192,0	170,6	151,5	134,4	119,2

Pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis nuo 2015–2022 m., bendroje kuro struktūroje pagrindinę energijos dalį, reikalingą maisto gamybai sudaro gamtinės dujos ir elektra. Analizuojant maisto gamybai skirtos energijos rūšies kitimo tendencijas, galima pasakyti, jog ateityje reikšmingai mažės iškastinio kuro dalis, todėl pagrindinė energijos rūšis, kuri patenkins maisto gamybai reikalingos energijos poreikį, bus elektra. Dėl šios priežasties, daroma prielaida, jog elektros dalis bendroje maisto gamybos energijos struktūroje kasmet didėja, o 2050 m. pasiekia 100 proc. (žr. 21 lentelę).

21 lentelė. Prognozuojama elektros dalis bendroje maisto gamybos energijos struktūroje, 2015–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Elektros dalis	28,7	24,4	30,97	44,77	58,6	72,4	86,2	100,0

Elektros prietaisai. MAED modelyje analizuojant energijos poreikį namų ūkių elektros prietaisams, visų pirma, vertinamas namų ūkių skaičius. Atliekant tolimesnę analizę remiamasi Lietuvos statistikos departamento prielaida, jog 100 proc. Lietuvos namų ūkių turi prieigą prie elektros energijos [63]. Modelyje taip pat vertinamas metinis vienam namų ūkiui tenkantis energijos suvartojimas elektros prietaisams. Šiuos duomenis nuo 2015 m. iki 2022 m. pateikia Lietuvos statistikos departamentas [63]. Išanalizavus istorinius duomenis buvo pastebėta, jog namų ūkių energijos poreikis elektros prietaisams vidutiniškai kasmet paauga apie 2,28 proc. Prognozuojant tolimesnį namų ūkių energijos poreikį elektros prietaisams atsižvelgiama į augantį namų ūkių elektrifikacijos lygį. Europos Komisijos parengtas scenarijus rodo, jog dėl spartaus elektrifikacijos proceso patalpų ir vandens šildymo bei maisto gamybos srityje šiai dienai dalis naudojamų technologijų bus pakeistos į elektrą naudojančias technologija, kaip pavyzdžiui, šilumos siurblius, boilerius, elektrines virykles ir pan. [128]. Šios technologijos įvertintos praėjusiose dalyse. Svarbu paminėti, jog elektrifikacijos pokytis apima ir elektromobilių naudojimo plėtrą, kurios vertinimas būtent įtraukiamas prie elektros prietaisų. Be to, Europos Komisijos modeliuojamame scenarijuje identifikuojama, jog namų ūkiuose didės elektros prietaisų, kurie susiję su komunikacija, IT, laisvalaikio leidimu, skaičius [128]. Taigi, prognozuojant energijos poreikį elektros prietaisams namų ūkiuose taikoma prielaida, jog kasmet vidutiniškai vienam namų ūkiui tenkantis energijos suvartojimas elektros prietaisams padidėja 3 proc. MAED modelio paskaičiuoti rezultatai, įvertinus bendrą namų ūkių skaičių, pateikiami 22 lentelėje. Iš pateiktų rezultatų pastebima, jog mieste metinis elektros energijos poreikis elektros prietaisams yra didesnis nei kaime. Tiek mieste, tiek kaime per visą analizuojamą laikotarpį identifikuojamas rodiklio augimas. Tokį rodiklio pokytį paaiškinti galima tuo, jog, dėl elektrifikacijos proceso namų ūkiuose, didėja elektros prietaisų skaičius.

22 lentelė. Prognozuojamas energijos poreikis elektros prietaisams mieste ir kaime, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Mieste	1488,0	1823,9	1974,1	2307,6	2697,3	3152,2	3684,0	4304,6
Kaime	704,0	736,3	753,2	854,3	968,2	1097,1	1242,1	1406,0

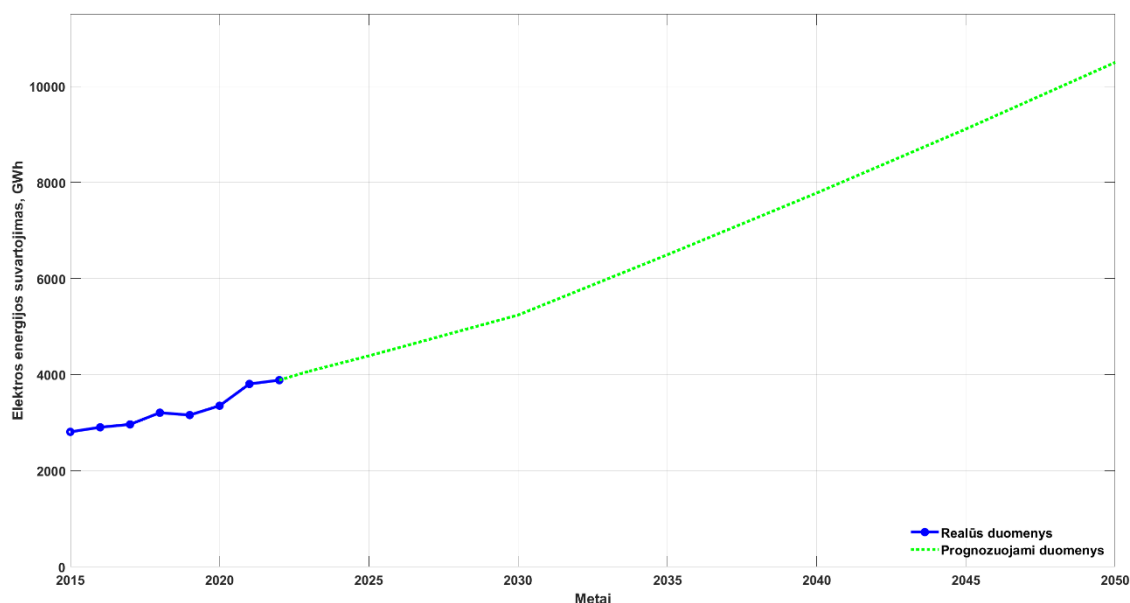
Analizuojant energijos rūšis bendroje elektros prietaisų vartojimo energijos struktūroje vertinami Lietuvos statistikos departamento duomenys nuo 2015 m. iki 2022 m., kurie rodo, jog 100 proc. namų ūkių elektros prietaisų naudoja elektros energiją [63]. Dėl šios priežasties atliekant tolimesnę prognozę taikoma prielaida, jog elektros dalis bendroje elektros prietaisų vartojimo energijos struktūroje 2015–2050 m. laikotarpiu ir toliau išliks 100 proc.

Atlikus ekonominių, technologinių ir socialinių veiksnių, turinčių įtaką elektros energijos poreikiams, analizę įvertinama bendra Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausa nuo 2025 m. iki 2050 m. (žr. 23 lentelę).

23 lentelė. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant imitacinį MAED modelį, 2025–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

Metai	Patalpų šildymui prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh	Vandens šildymui prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh	Maisto gamybai prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh	Elektros prietaisų vartojimui prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh	Iš viso prognozuojamas namų ūkio elektros energijos poreikis, GWh
2025	1192	237	233	2727	4390
2030	1472	288	318	3162	5240
2035	2132	320	378	3665	6495
2040	2760	346	425	4249	7780
2045	3362	365	459	4926	9112
2050	3927	376	484	5711	10498

Apibendrinant pateiktus rezultatus galima pasakyti, jog didžiausią įtaką elektros energijos paklausai turi elektros prietaisų naudojimas. Per visą analizuojamą laikotarpį elektros energijos poreikis skirtas prietaisų naudojimui bendrame prognozuojamame elektros energijos suvartojime sudaro nuo 54 proc. iki 62 proc. Kiek mažesnę įtaką bendram namų ūkių elektros energijos poreikiui turi būsto šildymas. Elektros energijos, skirtos būsto šildymui, dalis bendroje prognozuojamoje elektros energijos paklausoje sudaro nuo 27 proc. iki 37 proc. Galiausiai mažiausią įtaką elektros energijos paklausai turi vandens šildymas ir maisto gamyba. Elektros energijos dalis skirta vandens šildymui bendroje prognozuojamoje elektros energijos paklausoje sudaro nuo 4 proc. iki 5 proc., o elektros energijos suvartojimas maisto gamybai – nuo 5 proc. iki 6 proc. Bendrai pastebima, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis nuo 2025 m. iki 2050 m. pasižymi augimo tendencija. Paskaičiuota, jog 2050 m. namų ūkių elektros energijos suvartojimas sieks 10 498 GWh. 23 lentelėje pateikti rezultatai atitinkamai pavaizduojami 21 pav.



21 pav. Prognozuojamas Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikis taikant imitacinį MAED modelį, 2015–2050 m., GWh [sudaryta autoriaus pagal MAED modelio rezultatus]

Apibendrinant galima pasakyti, jog vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimas 2023–2050 m. laikotarpiu siekia 3,62 proc. Taigi, Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausos prognozei atlikti pritaikytas MAED modelis, kuris namų ūkių energijos poreikį analizuoja remiantis išsamiais ekonominiais, technologiniais ir socialiniais veiksniais. Šiuo metodu gauti prognozės rezultatai parodė, jog Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausa iki 2050 m. didės, o 2050 m. sieks daugiau kaip 10 tūkst. GWh. Pagrindinė priežastis, kuri turi reikšmingą įtaką šio rodiklio augimui, yra spartus elektrifikacijos procesas visose namų ūkio srityse. Vis dėlto, svarbu atkreipti dėmesį, jog elektros energijos paklausos augimą švelnina energijos vartojimo efektyvumo skatinimas.

4.4. Prognozavimo rezultatų palyginimas

Atlikus Lietuvos namų ūkių elektros energijos perspektyvinių poreikių analizę taikant kvadratinę regresijos, ekonometrinę ir imitacinę MAED modelius, reikalinga palyginti prognozavimo rezultatus. Šių minėtų trijų skirtingų metodikų rezultatų palyginimą galima atlikti įvertinus vidutinius metinius Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempus per visą prognozavimo laikotarpį – 2023–2050 m.

Paskaičiuoti vidutiniai metiniai Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempai 2023–2050 m. laikotarpiu taikant kvadratinę regresijos, ekonometrinę ir imitacinę MAED modelius, pateikiami 24 lentelėje. Kaip pastebima iš pateiktų duomenų, kvadratinis regresijos modelis pasižymi didžiausiu – 4,64 proc., vidutiniu metiniu namų ūkių elektros energijos paklausos augimo tempu. Verta paminėti, jog šis modelis prognozę sudaro atsižvelgdamas tik į istorinius ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo veiksnių pokyčius. Kita vertus, imitacinio MAED modelio, kuris išsamiai vertina įvairius ekonominius, technologinius ir socialinius veiksniai, vidutinis metinis namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempas yra mažesnis nei kvadratinio regresijos modelio ir siekia 3,62 proc. Analizuojant ekonometrinio modelio 1 atvejį, kada atliekama namų ūkių elektros energijos paklausos prognozė vertinant tik ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo veiksniai, A ir B scenarijų atveju vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimo tempas atitinkamai yra 1,95 proc. ir 1,97 proc. Prielaidų dalyje numatyta, jog ekonometriniam modelyje

šiuo atveju analizuotas vidutinis metinis ekonomikos augimas įvertinus gyventojų skaičiaus pokytį vidutiniškai siekia 2 proc. Ekonometrinio modelio 2 atveju, kada namų ūkių elektros energijos poreikių prognozė atliekama vertinant ekonomikos augimą, gyventojų skaičių ir elektros energijos kainą, vidutiniai metiniai elektros energijos poreikių augimo tempai yra didesni: A scenarijaus atveju siekia 3,06 proc., B scenarijaus atveju – 2,99 proc., C scenarijaus atveju – 3,01 proc. ir D scenarijaus atveju – 3,04 proc. Galima teigti, jog elektros energijos kaina, kuri prognozavimo prielaidų dalyje buvo identifikuota kaip vidutiniškai kasmet sumažėjanti apie 1,7 proc., lemia didesnę namų ūkių elektros energijos vartojimą. Kita vertus, energijos vartojimo efektyvumo skatinimas, kurį numatoma iki 2030 m. kasmet didinti 1,2 proc., o iki 2050 m. – 1,9 proc., mažina namų ūkių elektros energijos poreikius. Tą parodo ir ekonometrinio modelio 3 atvejo, kada namų ūkių elektros energijos poreikių prognozė atliekama vertinant ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus, elektros energijos kainos ir energijos vartojimo efektyvumo skatinimo veiksniais, rezultatai: A scenarijaus atveju vidutinis metinis elektros energijos paklausos augimas siekia 1,82 proc., B scenarijaus atveju – 1,76 proc., C scenarijaus atveju – 1,78 proc. ir D scenarijaus atveju – 1,80 proc.

24 lentelė. Vidutinių metinių Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempų palyginimas, 2023–2050 m., proc. [sudaryta autoriaus]

Kvadratinio regresijos modelio rezultatai, proc.									
4,64									
Ekonometrinio modelio rezultatai, proc.									
1 atvejis		2 atvejis				3 atvejis			
Scenarijai		Scenarijai				Scenarijai			
A	B	A	B	C	D	A	B	C	D
1,97	1,95	3,06	2,99	3,01	3,04	1,82	1,76	1,78	1,80
Imitacinio MAED modelio rezultatai, proc.									
3,62									

Taigi, apibendrinant galima pasakyti, jog kvadratinis regresijos modelis prognozuoja didžiausią Lietuvos namų ūkių elektros energijos vartojimo vidutinį metinį augimo tempą lyginant su kitais modeliais. Mažiausius vidutinis metinius elektros energijos poreikių augimo tempus prognozuoja 3 atvejo ekonometrinis modelis. Tuo tarpu imitacinio MAED modelio prognozuojamas vidutinis metinis namų ūkių elektros energijos paklausos augimo tempas yra didesnis nei ekonometrinio modelio, tačiau mažesnis nei kvadratinio regresijos modelio.

5. Namų ūkių elektros energijos poreikių prognozavimo tikslumo įvertinimas

Atlikus Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę taikant skirtingus modelius reikalinga įvertinti šių modelių tikslumą. Modelių tikslumo įvertinimas yra svarbus žingsnis siekiant nustatyti pačių prognozių patikimumą ir rezultatų reikšmingumą priimant sprendimus suinteresuotoms šalims. Paprastai modelių tikslumo įvertinimas apima sukurtų prognozių palyginimą su faktiniais rezultatais, naudojant statistines priemones, jog būtų galima kiekybiškai įvertinti neatitikimo laipsnį. Toks modelių tikslumo vertinimas leidžia ne tik įvertinti modelių stipriąsias ir silpnąsias puses, bet ir palyginti juos tarpusavyje.

Vieni iš pagrindinių statistinių rodiklių, kurie geba įvertinti prognozavimo tikslumą, yra vidutinė absoliutinė paklaida (angl. *mean absolute error (MAE)*), MAPE ir RMSE. MAE rodiklis paprastai apibrėžiamas kaip vidutinė dispersija tarp faktinių duomenų rinkinio verčių ir prognozuojamų verčių tame pačiame duomenų rinkinyje [129]. Šis rodiklis matuoja vidutinį klaidų dydį prognozių rinkinyje, neatsižvelgdamas į jų kryptį. Mažesnė MAE reikšmė rodo, jog modelio prognozuojamos vertės vidutiniškai artimesnės faktinėms reikšmėms. MAPE rodiklis yra laikomas procentine MAE rodiklio išraiška. Šis dydis nusako santykinį prognozavimo tikslumą, todėl yra ypač tinkamas siekiant atlikti palyginimą tarp skirtingų prognozavimo modelių [130]. Mažesnis nei 10 proc. MAPE rodiklis rodo, jog prognozavimas yra labai tikslus [130]. Jei MAPE didesnis nei 10 proc., bet mažesnis nei 20 proc., tokiu atveju prognozavimas yra laikomas tikslu [130]. Tačiau didesnė nei 20 proc. šio rodiklio reikšmė indikuoja apie netiksliai atliktą prognozę. RMSE rodiklis skaičiuoja kvadratinę šaknį iš faktinių ir prognozuotų verčių skirtumų kvadrato vidurkio. Skirtingai nei MAE rodiklis, RMSE dėl kvadrato taikymo suteikia didesnę svorį didelėms paklaidoms, todėl šis rodiklis yra labiau jautrus nuokrypiams (angl. *outliers*), t. y. duomenims, kurie itin skiriasi nuo kitų stebimų verčių [131]. Kaip ir MAE rodiklio atveju, mažesnė RMSE rodiklio vertė parodo, jog modelio prognozuojamos vertės yra vidutiniškai artimesnės faktinėms reikšmėms. Naudojantis MATLAB programine įranga minėtų rodiklių reikšmės yra paskaičiuojamos kvadratiniam regresijos, ekonometriniam ir MAED modeliams. Šių prognozavimo modelių MAE, MAPE ir RMSE reikšmės pateikiamos 25 lentelėje.

25 lentelė. Prognozavimo modelių MAE, MAPE ir RMSE rodiklių vertės [sudaryta autoriaus pagal MATLAB rezultatus]

Modelis	MAE	MAPE	RMSE
Kvadratinis regresijos modelis	64,10	2,10%	80,91
Ekonometrinis modelis	210,33	7,16%	255,39
MAED modelis	271,43	8,80%	310,39

Analizuojant 25 lentelėje pateiktus rezultatus, galima pastebėti, jog visų modelių MAPE rodiklis yra mažesnis nei 10 proc., kas atitinkamai parodo, jog visų sudarytų modelių prognozės gali būti laikomos tikslomis. Vis dėlto, iš visų prognozavimo modelių labiausiai išsiskiria kvadratinis regresijos modelis, kuris prognozę atlieka remiantis istoriniais ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo duomenimis. Šio modelio MAE ir RMSE rodikliai yra žemesni lyginant su ekonometrinio ir MAED modeliais, kas leidžia teigti, jog prognozuojamos vertės vidutiniškai artimesnės faktinėms reikšmėms. MAE rodiklis parodo, jog kvadratinio regresijos modelio prognozuojamos vertės nuo faktinių verčių vidutiniškai skiriasi 64 GWh, o RMSE rodiklis atskleidžia, jog įvertinus skirtumus kvadratu, modelio prognozuojamos vertės nuo faktinių verčių vidutiniškai skiriasi 80 GWh. Kita vertus, sekančios paskaičiuotos mažiausios MAE ir RMSE rodiklio reikšmės yra ekonometrinio

modelio, kuris Lietuvos namų ūkių elektros energijos suvartojimą prognozuoja vertindamas vartojimo kainų ir energijos vartojimo pajamų elastingumo koeficientus bei ekonomikos augimo, elektros energijos kainos kitimo, gyventojų skaičiaus pokyčio ir energijos vartojimo efektyvumo skatinimo skirtingus scenarijus. Ekonometrinio modelio MAE rodiklis parodo, jog prognozuojamos reikšmės nuo faktinių reikšmių nukrypta vidutiniškai 210 GWh, o RMSE parodo, jog įvertinus skirtumus kvadratu, prognozės nuo faktinių verčių vidutiniškai skiriasi maždaug 255 GWh. MAED modelio, kuris prognozuodamas namų ūkių elektros energijos paklausą vertina išsamius ekonominius, technologinius ir socialinius veiksnius, MSE ir RMSE rodikliai nors ir ne daug, tačiau yra didesni nei ekonometrinio modelio. MSE rodiklis leidžia identifikuoti, jog modelio prognozuojamos reikšmės nuo faktinių reikšmių nukrypta vidutiniškai 270 GWh, o RMSE atskleidžia, jog įvertinus skirtumus kvadratu, modelio prognozuojamos vertės nuo faktinių verčių vidutiniškai skiriasi 310 GWh.

Remiantis tik statistiniais prognozių tikslumo įvertinimo rodikliais būtų galima teigti, jog kvadratinis regresijos modelis yra tinkamiausias atliekant ilgalaikę Lietuvos namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę, tačiau svarbu atkreipti dėmesį į šio modelio sudarymo specifiką. Paprastai regresijos modeliai yra veiksmingi prognozuojant rezultatus remiantis istoriniais duomenimis ir nustatant ryšius tarp kintamųjų. Taigi, galima teigti, jog kvadratinis regresijos modelis, kuris šiuo atveju vertina šalies ekonomikos augimo ir populiacijos kitimo istorinius duomenis, gali būti laikomas tinkamu prognozuoti Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausą, jei šalies ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos 2023–2050 m. laikotarpiu išliks panašios kaip ir 2015–2022 m. Tačiau, siekiant įvertinti skirtingus Lietuvos ekonomikos augimo, populiacijos ir elektros energijos kainos kitimo, elektros energijos vartojimo efektyvumo skatinimo scenarijus atliekant Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausos prognozę rekomenduojama taikyti ekonometrinį modelį, kuris vertina šiuos makroaplinkos veiksnius, arba MAED modelį, kuris papildomai suteikia galimybę analizuoti ir daugelį kitų ekonominių, technologinių ir socialinių veiksnių.

Išvados

1. Atlikta makroaplinkos ir mikroaplinkos veiksnių analizė parodė, jog elektros energijos poreikių augimą sąlygoja augantis populiacijos skaičius, ilgėjanti gyvenimo trukmė, šalies ekonomikos augimas, didėjantis užimtumo lygis, mažėjanti elektros energijos kaina, augantis kambarių skaičius ir būsto plotas tenkantis vienam gyventojui, didėjantis asmenų skaičius namų ūkyje, augančios namų ūkio pajamos bei išsilavinimo lygis. Kita vertus, identifikuota, jog šių veiksnių įtaka elektros energijos poreikiams gali skirtis priklausomai nuo šalies ir jos išsivystymo lygio.
2. Elektros energijos poreikių prognozei atlikti taikomi metodai dažnai skirstomi į tradicinius ir dirbtiniu intelektu paremtus metodus. Iš pastarųjų metodų dažniausiai taikomas DNT modelis, o iš tradicinių metodų – regresijos, laiko eilučių analizės (ARIMA), ekonometrinis bei imitacinis MAED modeliai. Atlikta elektros energijos poreikių prognozavimo metodų, analizė leido identifikuoti, jog ilgalaikių prognozių atlikimui, remiantis metiniais duomenimis ir siekiant įvertinti ekonominių, socialinių ir technologinių veiksnių įtaką, tikslingiausia taikyti regresijos, ekonometrinį ir imitacinį MAED modelius.
3. Pasirinkta metodika įgalina namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę grįsti ekonomikos augimo, elektros energijos kainos kitimo, gyventojų skaičiaus pokyčių ir energijos vartojimo efektyvumo skatinimo prielaidomis iki 2050 m. Analizuojant šalies ekonomikos augimą identifikuota, jog Lietuvos BVP tenkančio vienam gyventojui rodiklis energetikos transformacijos scenarijaus atveju augs lėčiau nei bazinio scenarijaus atveju. Elektros energijos kaina pasižymi mažėjimo tendencija, tačiau aukštos kuro kainos scenarijaus atveju fiksuojamas spartesnis vidutinis metinis mažėjimo tempas. Analizuojant šalies populiacijos lygį nustatyta, jog Lietuvos gyventojų skaičius mažės. Kita vertus, nustatytas metinis energijos vartojimo efektyvumas iki 2030 m. siekia 1,2 proc., o nuo 2030 iki 2050 m. – 1,9 proc.
4. Lietuvos namų ūkių elektros energijos paklausos prognozės rezultatai parodė, jog 2023–2050 m. laikotarpiu namų ūkių elektros energijos poreikiai didės. Sudaryto kvadratinio regresijos modelio, kuris vertino istorinius šalies ekonomikos augimo ir populiacijos kitimo veiksnus, prognozuojamas vidutinis metinis namų ūkių elektros energijos poreikių augimo tempas siekia 4,6 proc. Kita vertus, ekonometrinio modelio, kuris analizavo ekonomikos augimo, gyventojų skaičiaus, elektros energijos kainos ir vartojimo efektyvumo skatinimo veiksnus, prognozuojamas vidutinis metinis augimo tempas siekia apie 1,8 proc. Imitacinio MAED modelio, kuris namų ūkių energijos poreikį vertina remiantis išsamiais ekonominiais, socialiniais bei technologiniais veiksniais, prognozuojamas vidutinis metinis augimo tempas siekia 3,62 proc.
5. Siekiant įvertinti prognozių tikslumą ir atlikti skirtingų prognozės modelių palyginimą paskaičiuoti statistiniai MAE, MAPE ir RMSE rodikliai. Nustatyta, jog visų modelių MAPE rodiklis yra mažesnis nei 10 proc., todėl prognozės gali būti laikomos tiksliomis. Identifikuota, jog kvadratinis regresijos modelis, kurio MAE ir RMSE rodikliai mažiausi, yra tinkamiausias atliekant namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę, jei šalies ekonomikos augimo ir gyventojų skaičiaus kitimo tendencijos ateityje išliks panašios į praeities. Kita vertus, ekonometrinį ir MAED modelius rekomenduojama taikyti, jei namų ūkių elektros energijos poreikių prognozę siekiama atlikti įvertinant didesnę kiekį elektros energijos poreikius sąlygojančių veiksnių bei jų skirtingus kitimo scenarijus.

Literatūros sąrašas

1. *Lithuania produces three times less electricity than it consumes – why?* Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.lrt.lt/en/news-in-english/19/1764171/lithuania-produces-three-times-less-electricity-than-it-consumes-why>. [žiūrėta 2023-06-15].
2. *Country Commercial Guides: Lithuania - Energy*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/lithuania-energy>. [žiūrėta 2023-06-15].
3. *Elektros suvartojimas Lietuvoje viršijo ekonomikos augimą*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.nlea.lt/naujienos/elektros-suvartojimas-lietuvoje-virsijo-ekonomikos-augima/74>. [žiūrėta 2023-06-15].
4. *Marketing dictionary: Macro-environment*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.monash.edu/business/marketing/marketing-dictionary/m/macro-environment>. [žiūrėta 2023-05-27].
5. MUZAYANAH, I. F. U. ir kt. Population Density and Energy Consumption: A Study in Indonesian Provinces. *Heliyon*. PDF: Interaktyvus. 8 (2022), 9, e10634. ISSN 2405-8440. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10634>. [žiūrėta 2023-05-27].
6. SARKODIE, S. A. ir ADOM, P. K. Determinants of Energy Consumption in Kenya: A NIPALS Approach. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 159 (2018), 696-705. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.195>. [žiūrėta 2023-05-27].
7. OTSUKA, A. Population Agglomeration and Residential Energy Consumption: Evidence from Japan. *Sustainability*. PDF: Interaktyvus. 10 (2018), 2, 1-12. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su10020469>. [žiūrėta 2023-05-27].
8. EUROSTAT. *Final energy consumption in households by type of fuel*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00125/default/table?lang=en>. [žiūrėta 2023-05-27].
9. EUROSTAT. *Population density*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00003/default/table?lang=en>. [žiūrėta 2023-05-27].
10. MERLIN, M. L. ir CHEN, Y. Analysis of the Factors Affecting Electricity Consumption in DR Congo using Fully Modified Ordinary Least Square (FMOLS), Dynamic Ordinary Least Square (DOLS) and Canonical Cointegrating Regression (CCR) Estimation Approach. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 232 (2021), 121025. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121025>. [žiūrėta 2023-05-27].
11. ZAMAN, K., KHAN, M. M., AHMAD, M. ir RUSTAM, R. Determinants of Electricity Consumption Function in Pakistan: Old Wine in a New Bottle. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 50 (2012), 623-634. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.003>. [žiūrėta 2023-05-27].
12. EKPO, U., CHUKU, C. ir EFFIONG, E. The Dynamics of Electricity Demand and Consumption in Nigeria: Application of the Bounds Testing Approach. *Current Research Journal of Economic Theory*. PDF: Interaktyvus. 3 (2011), 2, 43-52. ISSN: 2042-4841. Prieiga per: <https://maxwellsci.com/print/crjet/v3-43-52.pdf>. [žiūrėta 2023-05-27].
13. YORK, R. Demographic Trends and Energy Consumption in European Union Nations, 1960–2025. *Social Science Research*. PDF: Interaktyvus. 36 (2007), 3, 855-872. ISSN 0049-089X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2006.06.007>. [žiūrėta 2023-05-27].

14. EUROSTAT. *Population on 1 January by age and sex*. Interaktyvus. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_PJAN_custom_6361567/default/table?lang=en. [žiūrėta 2023-05-27].
15. HUANG, W. The Determinants of Household Electricity Consumption in Taiwan: Evidence from Quantile Regression. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 87 (2015), 120-133. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.101>. [žiūrėta 2023-05-27].
16. EUROSTAT. *Life expectancy continued to decrease in 2021 in the EU*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220506-2>. [žiūrėta 2023-05-27].
17. EUROSTAT. *Life expectancy by age and sex*. Interaktyvus. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_MLEXPEC_custom_6361944/default/table?lang=en. [žiūrėta 2023-05-27].
18. BLANCHARD, O. *Macroeconomics*. 4-oji laida. New Jersey: Prentice Hall, 2005. ISBN 9780131860261.
19. CHEN, S., KUO, H. ir CHEN, C. The Relationship between GDP and Electricity Consumption in 10 Asian Countries. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 35 (2007), 4, 2611-2621. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.001>. [žiūrėta 2023-05-28].
20. LU, W. Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from 17 Taiwanese Industries. *Sustainability*. PDF: Interaktyvus. 9 (2017), 1, 1-15. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su9010050>. [žiūrėta 2023-05-28].
21. DEY, S. R. ir TAREQUE, M. Electricity Consumption and GDP Nexus in Bangladesh: A Time Series Investigation. *Journal of Asian Business and Economic Studies*. PDF: Interaktyvus. 27 (2020), 1, 35-48. ISSN 2515-964X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1108/JABES-04-2019-0029>. [žiūrėta 2023-05-28].
22. QAZI, U., ALAM, A., AHMAD, S. ir AMBREEN, R. Impact of FDI and Electricity on the Economic Growth of Pakistan: A Long Run Cointegration and Causality Analysis. *Research in World Economy*. PDF: Interaktyvus. 12 (2021), 2, 273-288. ISSN 1923-399X. Prieiga per: <https://doi.org/10.5430/rwe.v12n2p273>. [žiūrėta 2023-05-28].
23. McKinsey & Company. *The decoupling of GDP and energy growth: A CEO guide*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-decoupling-of-gdp-and-energy-growth-a-ceo-guide>. [žiūrėta 2023-05-28].
24. SCHWARZ, P. M. Chapter 11: Energy efficiency. In: *Energy Economics*. London: Routledge, 2017, pp. 234-259. ISBN 9780415676786. [žiūrėta 2023-05-28].
25. WU, Y., ZHU, Q. ir ZHU, B. Comparisons of Decoupling Trends of Global Economic Growth and Energy Consumption between Developed and Developing Countries. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 116 (2018), 30-38. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.047>. [žiūrėta 2023-05-28].
26. EUROSTAT. *GDP per capita in PPS*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/TEC00114?lang=en>. [žiūrėta 2023-05-28].
27. VZ.LT žodynas. *Kas yra Užimtumo Lygis?* Interneto puslapis. Prieiga per: <https://zodynas.vz.lt/uzimtumo-lygis>. [žiūrėta 2023-05-28].
28. CHEN, Y. The Factors Affecting Electricity Consumption and the Consumption Characteristics in the Residential Sector—A Case Example of Taiwan. *Sustainability*. PDF: Interaktyvus. 9

- (2017), 8. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su9081484>. [žiūrėta 2023-05-28].
29. GURGUL, H. ir LACH, Ł. The Electricity Consumption Versus Economic Growth of the Polish Economy. *Energy Economics*. PDF: Interaktyvus. 34 (2012), 2, 500-510. ISSN 0140-9883. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.10.017>. [žiūrėta 2023-05-28].
30. UBANI, O. Determinants of the Dynamics of Electricity Consumption in Nigeria. *OPEC Energy Review*. PDF: Interaktyvus. 37 (2013), 2, 149-161. ISSN 1753-0229. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/opec.12004>. [žiūrėta 2023-05-28].
31. EUROSTAT. *Employment and activity by sex and age - annual data*. Interaktyvus. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/LFSI_EMP_A_custom_6376085?lang=en. [žiūrėta 2023-05-28].
32. TANG, C. F. ir TAN, E. C. Exploring the Nexus of Electricity Consumption, Economic Growth, Energy Prices and Technology Innovation in Malaysia. *Applied Energy*. PDF: Interaktyvus. 104 (2013), 297-305. ISSN 0306-2619. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.061>. [žiūrėta 2023-05-28].
33. AL-BAJJALI, S. K. ir SHAMAYLEH, A. Y. Estimating the Determinants of Electricity Consumption in Jordan. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 147 (2018), 1311-1320. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.010>. [žiūrėta 2023-05-28].
34. CHIPMAN, R. ir DZIOUBINSKI, O. Trends in Consumption and Production : Household Energy Consumption. *United Nations*. PDF: Interaktyvus. 1999. Prieiga per: <https://digitallibrary.un.org/record/496913?ln=en>. [žiūrėta 2023-05-28].
35. HAAS, R., AUER, H. ir BIERMAYR, P. The Impact of Consumer Behavior on Residential Energy Demand for Space Heating. *Energy and Buildings*. PDF: Interaktyvus. 27 (1998), 2, 195-205. ISSN 0378-7788. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00034-0). [žiūrėta 2023-05-28].
36. U.S. Energy Information Administration. *Electricity explained: Factors affecting electricity prices*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/prices-and-factors-affecting-prices.php>. [žiūrėta 2023-05-28].
37. European Central Bank. *Energy price developments in and out of the COVID-19 pandemic – from commodity prices to consumer prices*. Interneto puslapis. Prieiga per: https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/articles/2022/html/ecb.ebart202204_01~7b32d31b29.en.html. [žiūrėta 2023-05-28].
38. BALLESTER, C. ir FURIÓ, D. Effects of Renewables on the Stylized Facts of Electricity Prices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. PDF: Interaktyvus. 52 (2015), 1596-1609. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.168>. [žiūrėta 2023-05-28].
39. EUROSTAT. *Electricity prices by type of user*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/TEN00117?lang=en>. [žiūrėta 2023-05-28].
40. PRANULIS, V. ir kt. *Marketingas*. Vilnius: Garnelis, 2011, pp. 603. ISBN 9789955883210.
41. TEWATHIA, N. Determinants of the Household Electricity Consumption: A Case Study of Delhi. *International Journal of Energy Economics and Policy*. PDF: Interaktyvus. 4 (2014), 3, 337–348. Prieiga per: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/796>. [žiūrėta 2023-05-29].

42. MORRISON, B. M. ir GLADHART, P. M. Energy and Families: The Crisis and the Response. *Journal of home economics*. PDF: Interaktyvus. 68 (1976), 1, 15. Prieiga per: <https://www.osti.gov/biblio/6200992>. [žiūrėta 2023-05-29].
43. BEDIR, M., HASSELAAR, E. ir ITARD, L. Determinants of Electricity Consumption in Dutch Dwellings. *Energy and Buildings*. PDF: Interaktyvus. (2013, 194-207. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.016>. [žiūrėta 2023-05-29].
44. TIWARI, P. Architectural, Demographic, and Economic Causes of Electricity Consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*. PDF: Interaktyvus. 22 (2000), 1, 81-98. ISSN 0161-8938. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0161-8938\(98\)00003-9](https://doi.org/10.1016/S0161-8938(98)00003-9). [žiūrėta 2023-05-29].
45. LEAHY, E. ir LYONS, S. Energy use and Appliance Ownership in Ireland. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 38 (2010), 8, 4265-4279. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.056>. [žiūrėta 2023-05-29].
46. WIESMANN, D., LIMA AZEVEDO, I., FERRÃO, P. ir FERNÁNDEZ, J. E. Residential Electricity Consumption in Portugal: Findings from Top-Down and Bottom-Up Models. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 39 (2011), 5, 2772-2779. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.047>. [žiūrėta 2023-05-29].
47. JIANG, L. ir kt. What Factors Affect Household Energy Consumption in Mega-Cities? A Case Study of Guangzhou, China. *Journal of Cleaner Production*. PDF: Interaktyvus. 363 (2022). ISSN 0959-6526. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132388>. [žiūrėta 2023-05-29].
48. BARTIAUX, F. ir GRAM-HANSEN, K. Socio-Political Factors Influencing Household Electricity Consumption: A Comparison between Denmark and Belgium. *ECEEE Summer Study Proceedings*. PDF: Interaktyvus. 3 (2005). Prieiga per: https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2005c/Panel_6/6131bartiaux/. [žiūrėta 2023-05-29].
49. BAKER, K. J. ir RYLATT, R. M. Improving the Prediction of UK Domestic Energy-Demand using Annual Consumption-Data. *Applied Energy*. PDF: Interaktyvus. 85 (2008), 6, 475-482. ISSN 0306-2619. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.09.004>. [žiūrėta 2023-05-29].
50. ZHOU, S. ir TENG, F. Estimation of Urban Residential Electricity Demand in China using Household Survey Data. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 61 (2013), 394-402. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.092>. [žiūrėta 2023-05-29].
51. FILIPPINI, M. ir PACHAURI, S. Elasticities of Electricity Demand in Urban Indian Households. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 32 (2004), 3, 429-436. ISSN 0301-4215. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00314-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00314-2). [žiūrėta 2023-05-29].
52. DASH, M. An Analysis of Factors Affecting Energy Consumption in Urban Odisha. *International Journal of Research & Review*. PDF: Interaktyvus. 3 (2016), 12, 24-32. Prieiga per: https://www.ijrrjournal.com/IJRR_Vol.3_Issue.12_Dec2016/IJRR005.pdf. [žiūrėta 2023-05-29].
53. GENJO, K. ir kt. Relationship between Possession of Electric Appliances and Electricity for Lighting and Others in Japanese Households. *Energy and Buildings*. PDF: Interaktyvus. 37 (2005), 3, 259-272. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.025>. [žiūrėta 2023-05-29].
54. BROUNEN, D., KOK, N. ir QUIGLEY, J. M. Residential Energy use and Conservation: Economics and Demographics. *European Economic Review*. PDF: Interaktyvus. 56 (2012), 5,

- 931-945. ISSN 0014-2921. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2012.02.007>. [žiūrėta 2023-05-29].
55. LENZEN, M., DEY, C., ir FORAN, B. Energy Requirements of Sydney Households. *Ecological Economics*. PDF: Interaktyvus. 49 (2004), 3, 375-399. Prieiga per: <https://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v49y2004i3p375-399.html>. [žiūrėta 2023-05-29].
 56. DRUCKMAN, A. ir JACKSON, T. Household Energy Consumption in the UK: A Highly Geographically and Socio-Economically Disaggregated Model. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 36 (2008), 8, 3177-3192. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.02>. [žiūrėta 2023-05-29].
 57. KAVOUSIAN, A., RAJAGOPAL, R. ir FISCHER, M. Determinants of Residential Electricity Consumption: Using Smart Meter Data to Examine the Effect of Climate, Building Characteristics, Appliance Stock, and Occupants' Behavior. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 55 (2013), 184-194. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>. [žiūrėta 2023-05-30].
 58. EUROSTAT. *Average household size - EU-SILC survey*. Interaktyvus. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/view/ILC_LVPH01_custom_6401502?lang=en. [žiūrėta 2023-05-30].
 59. YOHANIS, Y. G., MONDOL, J. D., WRIGHT, A. ir NORTON, B. Real-Life Energy use in the UK: How Occupancy and Dwelling Characteristics Affect Domestic Electricity Use. *Energy and Buildings*. PDF: Interaktyvus. 40 (2008), 6, 1053-1059. ISSN 0378-7788. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.09.001>. [žiūrėta 2023-05-30].
 60. WYATT, P. A. Dwelling-Level Investigation into the Physical and Socio-Economic Drivers of Domestic Energy Consumption in England. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 60 (2013), 540-549. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.037>. [žiūrėta 2023-05-30].
 61. ALI, S. S. ir kt. Critical Determinants of Household Electricity Consumption in a Rapidly Growing City. *Sustainability*. PDF: Interaktyvus. 13 (2021), 8, 4441. ISSN 2071-1050. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su13084441>. [žiūrėta 2023-05-30].
 62. Swedbank. *Disponuojamos pajamos*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://blog.swedbank.lt/zodynemis/disponuojamos-pajamos>. [žiūrėta 2023-05-30].
 63. *Lietuvos oficialiosios statistikos portalas*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/>. [žiūrėta 2023-05-30].
 64. YANG, T. ir LIU, W. Inequality of Household Carbon Emissions and its Influencing Factors: Case Study of Urban China. *Habitat International*. PDF: Interaktyvus. 70 (2017), 61-71. ISSN 0197-3975. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.10.004>. [žiūrėta 2023-05-31].
 65. BHUSHAN, N., STEG, L. ir ALBERS, C. Studying the Effects of Intervention Programmes on Household Energy Saving Behaviours using Graphical Causal Models. *Energy Research & Social Science*. PDF: Interaktyvus. 45 (2018), 75-80. ISSN 2214-6296. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.027>. [žiūrėta 2023-05-31].
 66. ISLAM, M. A., CHE, H. S., HASANUZZAMAN, M. and RAHIM, N. A. Chapter 5 - Energy Demand Forecasting. In: *Energy for Sustainable Development*. PDF: Interaktyvus. : Academic Press, 2019, pp. 105-123. ISBN 9780128146453. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814645-3.00005-5>. [žiūrėta 2023-06-01].

67. HUANG, J., TANG, Y., CHEN, S. Energy Demand Forecasting: Combining Cointegration Analysis and Artificial Intelligence Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*. PDF: Interaktyvus. 2018 (2018), 1-13. Prieiga per: <https://doi.org/10.1155/2018/5194810>. [žiūrėta 2023-06-01].
68. GHALEHKHONDABI, I., ARDJMAND, E., WECKMAN, G. R. ir YOUNG, W. A. An Overview of Energy Demand Forecasting Methods Published in 2005–2015. *Energy Systems*. PDF: Interaktyvus. (2017), 2, 411-447. ISSN 1868-3975. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12667-016-0203-y>. [žiūrėta 2023-06-01].
69. ABDEL-AAL, R. E. Univariate Modeling and Forecasting of Monthly Energy Demand Time Series using Abductive and Neural Networks. *Computers & Industrial Engineering*. PDF: Interaktyvus. 54 (2008), 4, 903-917. ISSN 0360-8352. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.10.020>. [žiūrėta 2023-06-01].
70. AGRAWAL, A. Short Term Load Forecasting. *Indian Institute of Technology Kanpur (IITK) and Indian Energy Exchange (IEX)*. PDF: Interaktyvus. 2014. Prieiga per: <https://www.iitk.ac.in/imeold/anoops/IEX%20Training-2014/>. [žiūrėta 2023-06-01].
71. SCHELLONG, W. Energy Demand Analysis and Forecast. *InTech*. PDF: Interaktyvus. 2011. Prieiga per: <https://doi.org/10.5772/21022>. [žiūrėta 2023-06-01].
72. DAN REID, R. ir SANDERS, N. R. *Operations Management: An Integrated Approach*. 7-oji laida. New Jersey: Wiley, 2020. ISBN: 9781119570844.
73. AccountingTools. *Causal relationship definition*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.accountingtools.com/articles/causal-relationship>. [žiūrėta 2023-06-01].
74. ZHAO-ZHENG, S., YANJUN, J. ir QINGZHE, J. The Combined Model of Gray Theory and Neural Network which is based Matlab Software for Forecasting of Oil Product Demand. *2nd China Energy Scientist Forum*. PDF: Interaktyvus. 2010, 155-160. Prieiga per: <https://file.scirp.org/pdf/19-1.32.pdf>. [žiūrėta 2023-06-01].
75. SUGANTHI, L. ir SAMUEL, A. A. Energy Models for Demand forecasting—A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. PDF: Interaktyvus. 16 (2012), 2, 1223-1240. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.014>. [žiūrėta 2023-06-01].
76. GHODS, L. ir KALANTAR, M. Different Methods of Long-Term Electric Load Demand Forecasting a Comprehensive Review. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*. PDF: Interaktyvus. 7 (2011), 4, 249-259. Prieiga per: <http://ijeee.iust.ac.ir/article-1-301-en.pdf>. [žiūrėta 2023-06-02].
77. BIANCO, V., MARCHITTO, A., SCARPA, F. ir TAGLIAFICO, L. A. Forecasting Energy Consumption in the EU Residential Sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. PDF: Interaktyvus. 17 (2020), 7, 2259. ISSN 1660-4601. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ijerph17072259>. [žiūrėta 2023-06-02].
78. JAKOBSSON, K., SÖDERBERGH, B., SNOWDEN, S. ir ALEKLETT, K. Bottom-Up Modeling of Oil Production: A Review of Approaches. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 64 (2014), 113-123. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.043>. [žiūrėta 2023-06-02].
79. KOOPMANS, C. C. ir TE VELDE, D. W. Bridging the Energy Efficiency Gap: Using Bottom-Up Information in a Top-Down Energy Demand Model. *Energy Economics*. PDF: Interaktyvus. 23 (2001), 1, 57-75. ISSN 0140-9883. Prieiga per: [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00054-2). [žiūrėta 2023-06-02].

80. TURTON, H. ECLIPSE: An Integrated Energy-Economy Model for Climate Policy and Scenario Analysis. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 33 (2008), 12, 1754-1769. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.008>. [žiūrėta 2023-06-02].
81. FILIPPOV, S. P., MALAKHOV, V. A. and VESELOV, F. V. Long-Term Energy Demand Forecasting Based on a Systems Analysis. *Thermal Engineering*. PDF: Interaktyvus. 68 (2021), 12., 881-894. ISSN 1555-6301. Prieiga per: <https://doi.org/10.1134/S0040601521120041>. [žiūrėta 2023-06-02].
82. WOOLDRIDGE, J. M. *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. 5-oji laida. Boston: Cengage Learning, 2012. ISBN 9781111531041.
83. FUMO, N. ir RAJE BISWAS, M. A. Regression Analysis for Prediction of Residential Energy Consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. PDF: Interaktyvus. 47 (2015), 332-343. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.035>. [žiūrėta 2023-06-03].
84. KANDANANOND, K. Forecasting Electricity Demand in Thailand with an Artificial Neural Network Approach. *Energies*. PDF: Interaktyvus. 4 (2011), 8, 1246-1257. ISSN 1996-1073. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en4081246> [žiūrėta 2023-06-03].
85. NGOC, L. D. T. ir kt. A Multiple Variable Regression-based Approaches to Long-term Electricity Demand Forecasting. *International journal of advanced smart convergence*. PDF: Interaktyvus. 10 (2021), 4, 59–65. ISSN 2288-2855. Prieiga per: <https://doi.org/10.7236/IJASC.2021.10.4.59>. [žiūrėta 2023-06-03].
86. DEB, C. ir kt. A Review on Time Series Forecasting Techniques for Building Energy Consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. PDF: Interaktyvus. 74 (2017), 902-924. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.085>. [žiūrėta 2023-06-04].
87. PEIXEIRO, M. *Time Series Forecasting in Python*. New York: Manning. 2022. ISBN 9781617299889.
88. VERBILIS, V. *Kelių transporto priemonių srautų prognozavimo metodų tyrimas*. Baigiamasis magistro darbas. PDF: Interaktyvus. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, 2020. Prieiga per: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:62407042/>. [žiūrėta 2023-06-04].
89. SHARMA, S. ir MISHRA, K. S. Electricity Demand Estimation Using ARIMA Forecasting Model. *Recent Developments in Electronics and Communication Systems*. PDF: Interaktyvus. 32 (2022), 677-682. Prieiga per: <https://doi.org/10.3233/ATDE221331>. [žiūrėta 2023-06-04].
90. MAHIA, F., DEY, A. R., MASUD, M. A. ir MAHMUD, M. S. Forecasting Electricity Consumption using ARIMA Model. *International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, Dhaka, Bangladesh. PDF: Interaktyvus. 2019, 1-9. Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/STI47673.2019.9068076>. [žiūrėta 2023-06-04].
91. ERDOGDU, E. Electricity Demand Analysis Using Cointegration and ARIMA Modelling: A case study of Turkey. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 35 (2007), 2, 1129-1146. Prieiga per: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/19099/>. [žiūrėta 2023-06-04].
92. PING, Y. Y. ir KAMARUDIN, A. N. Forecasting the Electricity Demand in Malaysia using ARIMA Model. *Proceedings of Science and Mathematics*. PDF: Interaktyvus. 2 (2022), 278-288. Prieiga per: science.utm.my/procsimath/wp-content/uploads/sites/605/2022/10/29.-YEOH-YEN-PING-A18SC0350.pdf. [žiūrėta 2023-06-04].

93. FATTAH, J. ir kt. Forecasting of Demand using ARIMA Model. *International Journal of Engineering Business Management*. PDF: Interaktyvus. 10 (2018), 1-9. ISSN 1847-9790. Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/1847979018808673>. [žiūrėta 2023-06-04].
94. GUJARATI, D. N ir PORTER, D. C. *Basic Econometrics*. 5-oji laida. New York: McGraw-Hill Education, 2008. ISBN 9780073375779.
95. MTEMBO, V., TAYLOR G. A. ir EKWUE A. A Novel Econometric Model for Peak Demand Forecasting. *2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Cluj-Napoca, Romania. PDF: Interaktyvus. 2014, 1-6. Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/UPEC.2014.6934706>. [žiūrėta 2023-06-04].
96. GUL, M., QAZI, S. A. ir QURESHI, W. A. Incorporating economic and demographic variables for forecasting electricity consumption in Pakistan. *2011 2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)*, Sharjah, United Arab Emirates. PDF: Interaktyvus. 2011, 1-5, Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/EPECS.2011.6126852>. [žiūrėta 2023-06-04].
97. MOHAMED, Z. ir BODGER, P. Forecasting Electricity Consumption in New Zealand using Economic and Demographic Variables. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 30 (2005), 10, 1833-1843. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>. [žiūrėta 2023-06-04].
98. LIU, X. Q., ANG, B. W. ir GOH, T. N. Forecasting of electricity consumption: a comparison between an econometric model and a neural network model. *[Proceedings] 1991 IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Singapore. PDF: Interaktyvus. 2 (1991), 1254-1259. Prieiga per: <https://doi.org/10.1109/IJCNN.1991.170569>. [žiūrėta 2023-06-04].
99. SÁNCHEZ-DURÁN, R., LUQUE, J. ir BARBANCHO, J. Long-Term Demand Forecasting in a Scenario of Energy Transition. *Energies*. PDF: Interaktyvus. 12 (2019), 16. ISSN 1996-1073. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en12163095>. [žiūrėta 2023-06-04].
100. PEÑA-GUZMÁN, C. ir REY, J. Forecasting Residential Electric Power Consumption for Bogotá Colombia using Regression Models. *Energy Reports*. PDF: Interaktyvus. 6 (2020), 561-566. ISSN 2352-4847. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.026>. [žiūrėta 2023-06-04].
101. International Atomic Energy Agency. Model for Analysis of Energy Demand (MAED-2). *Computer Manual Series 18*. PDF: Interaktyvus. 2016. Prieiga per: <https://www.iaea.org/publications/7430/model-for-analysis-of-energy-demand-maed-2>. [žiūrėta 2024-01-15].
102. SIEED, J., KOMIYAMA, R. ir FUJII, Y. Energy Demand Modelling for Developing Economies using MAED-2 with Sectoral Decomposition: Bangladesh Case Study. *Journal of Japan Society of Energy and Resources*. Interaktyvus. 41 (2020), 5, 149-154. Prieiga per: https://doi.org/10.24778/jjser.41.5_149. [žiūrėta 2024-01-16].
103. HAINOUN, A., SEIF-ELDIN, M.K. ir ALMOUSTAFA, S. Analysis of the Syrian Long-Term Energy and Electricity Demand Projection using the End-use Methodology. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 34 (2006), 14, 1958-1970. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.12.024>. [žiūrėta 2024-01-16].
104. MPHOLO, M. ir kt. Lesotho Electricity Demand Profile from 2010 to 2030. *Journal of Energy in Southern Africa*. PDF: Interaktyvus. 32 (2021), 1. ISSN 2413-3051. Prieiga per: <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2021/v32i1a7792>. [žiūrėta 2024-01-17].

105. OĞCU, G., DEMIREL, O. F. ir ZAIM, S. Forecasting Electricity Consumption with Neural Networks and Support Vector Regression. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. PDF: Interaktyvus. 58 (2012), 1576-1585. ISSN 1877-0428. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.1144>. [žiūrėta 2023-06-04].
106. MÉNDEZ REAL, M. ir SALVADOR, R. Physical Side-Channel Attacks on Embedded Neural Networks: A Survey. *Applied Sciences*. PDF: Interaktyvus. 11 (2021), 15. ISSN 2076-3417. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/app11156790>. [žiūrėta 2023-06-04].
107. GONZÁLEZ-ROMERA, E., JARAMILLO-MORÁN, M. A. ir CARMONA-FERNÁNDEZ, D. Monthly Electric Energy Demand Forecasting with Neural Networks and Fourier Series. *Energy Conversion and Management*. PDF: Interaktyvus. 49 (2008), 11, 3135-3142. ISSN 0196-8904. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.06.004>. [žiūrėta 2023-06-06].
108. EKONOMOU, L. Greek Long-Term Energy Consumption Prediction using Artificial Neural Networks. *Energy*. PDF: Interaktyvus. 35 (2010), 2, 512-517. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.018>. [žiūrėta 2023-06-06].
109. ÇUNKAŞ, M. ir ALTUN, A. A. Long Term Electricity Demand Forecasting in Turkey using Artificial Neural Networks. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. PDF: Interaktyvus. 5 (2010), 3, 279-289. ISSN 1556-7249. Prieiga per: <https://doi.org/10.1080/15567240802533542>. [žiūrėta 2023-06-06].
110. GUILLEMETTE, Y. ir CHÂTEAU, J. Long-term scenarios: incorporating the energy transition. *Economic Policy Papers*. PDF: Interaktyvus. 33 (2023). ISSN 2226583X. Prieiga per: <https://doi.org/10.1787/153ab87c-en>. [žiūrėta 2024-03-23].
111. MIER, M. European Electricity Prices in Times of Multiple Crises. *ifo Working Papers*. PDF: Interaktyvus. 394 (2023). Prieiga per: <https://www.ifo.de/en/publications/2023/working-paper/european-electricity-prices-times-multiple-crises>. [žiūrėta 2024-03-24].
112. OECD. *Population projections*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=POPPROJ&fbclid=IwAR0OYKU3JK-TsIslyQnYZaeWpLJHWLEqBBhQ-aG7dvqFoaH3QqEP0wO5A3c>. [žiūrėta 2024-04-06].
113. LIETUVOS RESPUBLIKOS ENERGETIKOS MINISTERIJA. *Nacionalinė darbotvarkė „Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija“*. PDF: Interaktyvus. Prieiga per: <https://enmin.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/3/17mjmlMXyjE.pdf>. [žiūrėta 2024-03-31].
114. EUROPOS PARLAMENTAS IR EUROPOS SĄJUNGOS TARYBA. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2023/1791 2023 m. rugsėjo 13 d. dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamas Reglamentas (ES) 2023/955 (nauja redakcija). Interaktyvus. OJ L 231, 20.9.2023, p. 1–111. Prieiga per: <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>. [žiūrėta 2024-03-31].
115. BARTOSEVIČIENĖ, Vladislava. *Ekonominė statistika*. Kaunas: Technologija, 2001. ISBN 998613918X.
116. KONSTANTINAVIČIŪTĖ, I.; MIŠKINIS, V.; VAIŠNORIENĖ, A.; DEVEIKIS, T. ir VAIŠNYS, J. Energijos poreikių prognozavimo metodai. Interaktyvus. Kaunas: Technologija, 2019. ISBN 978-609-02-1657-6. Prieiga per: <https://ebooks.ktu.edu/product/energijos-poreiki-prognozavimo-metodai>. [žiūrėta 2024-04-07].
117. CSEREKLYEI, Z. Price and Income Elasticities of Residential and Industrial Electricity Demand in the European Union. *Energy Policy*. PDF: Interaktyvus. 137 (2020), 111079. ISSN 0301-4215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111079>. [žiūrėta 2024-04-07].

118. EUROSTAT. *Cooling and heating degree days by country - annual data*. Interaktyvus. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_chdd_a\\$defaultview/default/table](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_chdd_a$defaultview/default/table). [žiūrėta 2024-04-21].
119. UAB VILNIUS ECONOMICS. *Išsamaus nacionalinio šilumos ir vėsumos potencialo įvertinimo studija*. PDF: Interaktyvus. Prieiga per: https://lsta.lt/wp-content/uploads/2022/11/221128_EM_HeatMap_1128-002.pdf. [žiūrėta 2024-04-22].
120. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Lietuvos ilgalaikė renovacijos strategija*. PDF: Interaktyvus. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/STPD/Lietuvos%20ilgalaik%C4%97%20renovacijos%20strategija.pdf>. [žiūrėta 2024-04-22].
121. Delfi. *Daugiabučio renovacija: A energinio naudingumo klasė gali padėti sutaupyti net 8 kartus*. Interaktyvus [2023-03-13]. Prieiga per: <https://www.delfi.lt/a/92780119>. [žiūrėta 2024-04-22].
122. LRT. *Renovacijos banga taip ir nekilo? Vyriausybė planavo po 1 000 namų per metus, realybėje – triskart mažiau*. Interaktyvus [2024-03-21]. Prieiga per: <https://www.lrt.lt/naujienos/lietuvoje/2/2219879/renovacijos-banga-taip-ir-nekilo-vyriausybe-planavo-po-1-000-namu-per-metus-realybeje-triskart-maziau>. [žiūrėta 2024-04-22].
123. 15min. *Parama įsigyjant šilumos siurblių oras-vanduo: šansas sutaupyti modernizuojant namų šildymo sistemą*. Interaktyvus [2023-10-12]. Prieiga per: <https://www.15min.lt/verslas/naujiena/energetika/parama-isigyjant-silumos-siurbli-oras-vanduo-sansas-sutaupyti-modernizuojant-namu-sildymo-sistema-664-2126962>. [žiūrėta 2024-04-21].
124. Ecohome. *Heat Pump Efficiency Explained - The Definitive Guide To SEER vs HSPF vs (S) COP Heat Pump Ratings*. Interaktyvus [2023-04-09]. Prieiga per: <https://www.ecohome.net/guides/1495/heat-pump-efficiency-explained-the-definitive-guide-to-seer-vs-hspf-vs-s-cop-heat-pump-ratings/>. [žiūrėta 2024-04-21].
125. Energy Futures Lab. *What will European Electricity look like in 2050? Changes in 2050 Electricity Use*. Interaktyvus [2015-08-07]. Prieiga per: <https://energyfutureslab.blog/2015/08/07/what-will-european-electricity-look-like-in-2050-changes-in-2050-electricity-use/>. [žiūrėta 2024-04-21].
126. International Energy Agency. *Space heating*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/space-heating>. [žiūrėta 2024-04-21].
127. Enerdata. *Total final energy consumption*. Interaktyvus. Prieiga per: <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-final-energy-consumption.html>. [žiūrėta 2024-04-21].
128. Europos Komisija, Energetikos generalinis direktoratas, Klimato politikos generalinis direktoratas, Mobilumo ir transporto generalinis direktoratas, DE VITA, A., APOSTOLAKI, E., KOUVARITAKIS, N. ir kt. *EU energy, transport and GHG emissions, trends to 2050 – Reference scenario 2013*. Publications Office. PDF: Interaktyvus, 2014. Prieiga per: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/17897>. [žiūrėta 2024-04-21].
129. SCHNEIDER, P. ir XHAFA, F. *Anomaly Detection and Complex Event Processing over IoT Data Streams: Chapter 3 - Anomaly Detection: Concepts and Methods*. Academic Press. PDF: Interaktyvus. 2022, 49-66. ISBN 9780128238189. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823818-9.00013-4>. [žiūrėta 2024-04-25].

130. STABINGIENĖ, Lijana. Elektroninė mokomoji knyga: EKONOMETRIKA. In: 8. *Laiko eilučių analizė – 8.5. Prognozavimo uždavinio samprata*. Interaktyvus. Prieiga per: http://www.ilab.lt/stabingiene/sk8_5.html. [žiūrėta 2024-04-25].
131. Medium. *Comparing Robustness of MAE, MSE and RMSE*. Interaktyvus [2022-01-11]. Prieiga per: <https://towardsdatascience.com/comparing-robustness-of-mae-mse-and-rmse-6d69da870828>. [žiūrėta 2024-04-25].