



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

**Vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą
Lietuvoje vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

Donatas Kuprys

Projekto autorius

Prof. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą Lietuvoje vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Donatas Kuprys

Projekto autorius

Prof. Daiva Dumčiuvienė

Vadovė

Lekt. Eimantas Neniškis

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Donatas Kuprys

Vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą Lietuvoje vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Donato Kuprio, baigiamasis projektas tema „Vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą Lietuvoje vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kuprys, Donatas. Vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą Lietuvoje vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė Prof. dr. Daiva Dumčiuvienė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: elektra, sistema, paklausa, valdymas, lankstumas.

Vilnius, 2020. 63 p.

Santrauka

Lankstus elektros sistemos valdymas yra viena svarbiausių modernios sistemos savybių, ypač sistemose su atsinaujinančiais energijos ištekliais. Vienas naujausių ir mažiausiai integruotų lankstumo šaltinių yra vartotojų paklausos valdymas ir jos reakcija. Darbe apžvelgiamas vartotojų telkimas, apkrovų planavimas, skirtingų energijos rūšių apjungimas, planinis paklausos valdymas bei skatinimo sistemos. Sudaromos 2014–2018 m. pramonės, paslaugų ir namų ūkių sektorių pagrindinių lanksčių apkrovų charakteristikos. Nustatoma, kad paklausos lankstumas yra teikiamas su prietaisais, kurių valdymas automatinis arba pusiau automatinis. Kiekvienam sektoriui sudaroma metodika apkrovų teoriniam potencialui rasti. Šiam tikslui aprašoma, kiek energijos per metus sunaudoja įvairūs prietaisai, sudaromos maksimalios instaliuotos galios apkrovimo kreivės ir įvertinamos nuo temperatūros priklausančios apkrovos. Apskaičiuojamos kiekvieno sektoriaus valandinės paklausos atkėlimo į ankstesnę valandą ir nukėlimo į vėlesnį laiką reikšmės. Skaičiavimai atliekami įvairiais pjūviais (paros, savaitės ir metų). Nustatyta, kad jeigu paklausa nukeliama į ankstesnį laiką, tada paslaugų sektoriaus potencialas 35 proc. didesnis nei namų ūkių. Jeigu paklausa perkeliama į vėlesnį laiką, tada namų ūkių sektoriaus potencialas padidėja net apie 8 kartus palyginti su paslaugų sektoriumi. Darbe apskaičiuota, kad bendra apkrova atkelta į ankstesnį laiką gali būti 174 MW, o perkelta į vėlesnį laiką 852 MW.

Kuprys, Donatas. Evaluation of Consumer Involvement in Flexible Electricity System Management in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor Prof. Dr. Daiva Dumčiuvienė; the Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: electricity, system, demand, management, flexibility.

Vilnius, 2020. 63 pages.

Summary

Flexible management of the electrical system is one of the most important features of a modern system, especially in systems with renewable energy sources. One of the most recent and least integrated sources of flexibility is consumer demand management and its response. The paper reviews consumer aggregation, load planning, interconnection of different types of energy, planned demand management and incentive systems. Characteristics of the main flexible loads in the industrial, service and household sectors for 2014–2018 are mapped. Demand flexibility is found to be provided with devices involving automatic or semi-automatic control. A methodology for finding the theoretical potential of flexible loads is developed for each sector. For this purpose, the annual energy consumption of the devices is described, the load curves are drawn from the maximum installed capacity, and the temperature-dependent loads are also evaluated. Values of hourly demand timing advancement and delay for each sector are calculated. Calculations are performed in various profiles (daily, weekly and yearly). It was found that if load is advanced, then 35 percent of the service sector can provide more potential than households. If demand is delayed, then the potential of the household sector is approximately 8 times greater than that of the service sector. In the paper it is calculated that the total advanced load may be 174 MW and the delayed load may be 852 MW.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Elektros vartotojų galimybės lanksčiai vartoti teorinė analizė.....	12
1.1. Lanksčios elektros sistemos valdymas	12
1.2. Paklausos valdymo integracija į ES skirstomąjį tinklą.....	14
1.2.1. Vartotojų paklausos telkimas	15
1.2.2. Vartotojų apkrovų planavimas	17
1.2.3. Skirtingų energijos rūšių apjungimas	18
1.2.4. Paklausos valdymas pagal skirtingus mokesčius	20
1.2.5. Paklausos reakcijos integravimas į sistemas	22
1.2.6. Žaidimų teorijos modelis.....	23
1.2.7. Bendrasis algoritmas, skirtas maksimizuoti vartotojo naudą	25
1.2.8. Elektromobilių panaudojimas paklausos valdymui.....	25
1.2.9. Vartotojų požiūrio keitimas	25
1.3. Vartotojų lanksčios paklausos reakcijos charakteristikos	26
1.4. Teorinis paklausos lankstumo įsitraukimas Lietuvoje	28
2. Elektros vartotojų, galinčių lanksčiai vartoti, masto ir įtakos nustatymo metodika	30
2.1. Vartotojų lanksčios paklausos potencialo nustatymo eiga	30
2.2. Paklausos reakcijos vartotojų apkrovimų nustatymas.....	31
2.2.1. Pramonės sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas	32
2.2.2. Paslaugų sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas.....	33
2.2.3. Gyvenamųjų ūkių sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas	34
2.2.4. Nuo temperatūros priklausantis apkrovimas	35
3. Elektros vartotojų įtraukimo į lankstų elektros tinklo valdymą galimybių tyrimo rezultatai.....	40
3.1. Identifikuojamos lanksčios apkrovos	40
3.1.1. Nustatyti apkrovų profiliai	42
3.1.2. Lanksčios vartotojų galios potencialas	42
Išvados	50
Literatūros sąrašas	52
Priedai.....	56
1 priedas. Vasaros sezono darbo dienos valandiniai koeficientai	57
2 priedas. Vasaros sezono šeštadienio valandiniai koeficientai	58
3 priedas. Vasaros sezono sekmadienio paros valandiniai koeficientai	59
4 priedas. Žiemos sezono darbo dienos paros valandiniai koeficientai.....	60
5 priedas. Žiemos sezono šeštadienio paros valandiniai koeficientai	61
6 priedas. Žiemos sezono sekmadienio paros valandiniai koeficientai	62
7 priedas. Nuo temperatūros priklausančių įrenginių valandiniai koeficientai	63

Lentelių sąrašas

1 lentelė. AEI gamyba, balansavimas ir centralizuota prekyba (7).....	13
2 lentelė. Elektros energijos bendroji gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių, GWh (8).....	13
3 lentelė. Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje (9).....	14
4 lentelė. NVM privalumai ir trūkumai (14).....	18
5 lentelė. Būstų apšildymas (8)	19
6 lentelė. Buitinių vartotojų įrenginių skirstymas pagal lanksčios apkrovos teikimo galimybę (35).....	26
7 lentelė. Namų ūkiuose naudojami įrenginiai galimai PR (A – aukštas, V – vidutinis, Ž – žemas) (38)	27
8 lentelė. Paklausos reakcijos potencialas pagal sektorių (39).	28
9 lentelė. 10 daugiausia PR pajėgumų turinčios valstybės 2050 ir 2015 metais (40).....	28
10 lentelė. Pagrindinių procesų sugrupavimas (35)	30
11 lentelė. Elektros vartotojų procesai, tinkami paklausos valdymui (33; 44).....	32
12 lentelė. Pramonės sektoriaus gamybos pajėgumai per metus (sudaryta autoriaus pagal (8))	33
13 lentelė. Kiti pramonės sektoriaus rodikliai (44).....	33
14 lentelė. Pramonės sektoriaus parametrai skaičiavimams (Parengta autoriaus pagal (41; 8))	34
15 lentelė. Energijos suvartojimo namų ūkiuose kryptys (8).....	34
16 lentelė. Būstų skaičius metų pabaigoje Lietuvoje	35
17 lentelė. Gyvenamųjų ūkių prietaisų rinkos įsiskverbimas procentais (8) (45).....	35
18 lentelė. Gyvenamųjų ūkių prietaisų rinkos įsiskverbimas procentais (45; 46; 8; 47)	35
19 lentelė. Šildymas laipsniais per parą (41)	37
20 lentelė. Vėsinimas laipsniais per parą (41)	37
21 lentelė. Karšto vandens boilerių ir patalpų šildymo pilnos apkrovos valandų skaičius (41)	37
22 lentelė. Oro kondicionierių dalis paslaugų sektoriaus elektros suvartojime pagal CCD (41)	38
23 lentelė. Suvartojamas elektros energijos kiekis per metus pramonės sektoriuje pagal procesą (sudaryta autoriaus)	40
24 lentelė. Pramonės sektoriaus maksimali galia (sudaryta autoriaus).....	40
25 lentelė. Įrenginių suvartojamas elektros energijos kiekis per metus paslaugų sektoriuje (sudaryta autoriaus)	40
26 lentelė. Paslaugų sektoriaus metinė įrenginių maksimali galia (sudaryta autoriaus).....	41
27 lentelė. Įrenginių suvartojamas elektros energijos kiekis per metus gyvenamųjų ūkių sektoriuje (sudaryta autoriaus)	41
28 lentelė. Gyvenamųjų ūkių sektoriaus metinė įrenginių maksimali galia (sudaryta autoriaus)	41

Paveikslų sąrašas

1 pav. AEI struktūra pagal įrengtąją galią 2016–2018 (MW) (6).....	13
2 pav. Elektros vartotojų paklausos kreivė (kairėje) ir ateities elektros tinklo paklausos grafikas pritaikius lanksčią paklausą (dešinėje) (13).....	19
3 pav. Energetikos centro pavyzdys, kuris susideda iš transformatoriaus, mikroturbinos, šilumokaičio, katilo, absorbcinio aušintuvo, baterijos ir karšto vandens saugyklos (20)	20
4 pav. Galimas mokesčių lengvatų parinkimo modelis (21).....	21
5 pav. Apkrovos grafikas pagal skirtingą kainodarą (22)	22
6 pav. Operatyvus galutinių vartotojų ir mažmeninės rinkos elgesys (24).....	23
7 pav. Sandorių tarp rinkos ir galutinių vartotojų schema (24)	23
8 pav. Vartotojų paklausos reakcijos apkrovos grafikas su galimais veiksmais (41)	31
9 pav. Vidutinė oro kondicionieriaus paros apkrovos kreivė (50).....	37
10 pav. Šildymo ir kondicionieriaus paklausa nuo 2014 iki 2018 metų (sudaryta autoriaus)	42
11 pav. Vidutinė lanksti apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus).....	43
12 pav. Vidutinė paankstinama apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus).....	43
13 pav. Vidutinė valandos vėlinama apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus).....	44
14 pav. Maksimalios paankstinamos metinis apkrovos kitimas pagal metus (sudaryta autoriaus) ..	44
15 pav. Maksimalios perkeliama į vėlesnį laiką metinis apkrovos kitimas pagal metus (sudaryta autoriaus)	45
16 pav. Maksimalus apkrovos ankstinimo grafikas žiemos sezono savaitė 2018-02-19 iki 2018-02-24 pagal septynis prietaisus (sudaryta autoriaus)	46
17 pav. Maksimalus apkrovos ankstinimo grafikas vasaros sezono savaitė 2018-07-30 iki 2018-08-05 pagal septynis prietaisus (sudaryta autoriaus)	46
18 pav. Maksimalus apkrovos vėlinimo grafikas žiemos sezono savaitė 2018-02-19 iki 2018-02-24 pagal šešis prietaisus (sudaryta autoriaus).....	47
19 pav. Maksimalus apkrovos vėlinimo grafikas vasaros sezono savaitė 2018-07-30 iki 2018-08-05 pagal šešis prietaisus (sudaryta autoriaus).....	48
20 pav. Vidutinė valandinė lanksti apkrova pagal metus palyginimas (sudaryta autoriaus)	48

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

ES – Europos Sąjunga;

ESO – Energijos skirstymo operatorius;

STO – skirstomojo tinklo operatorius;

PTO – perdavimo tinklo operatorius;

HDD – šildymas laipsniais per parą;

CDD – vėsinimas laipsniais per parą;

TPITS – transporto priemonių ir tinklų sąsaja;

PR – paklausos reakcija.

Terminai:

Elektros energijos paklausos valdymo paslaugos teikėjas – asmuo, atsakingas už elektros energijos vartotojų grupės faktinės maksimalios leistinos naudoti galios atitiktį tų vartotojų ir perdavimo sistemos ar skirstomųjų tinklų operatoriaus nustatyta leistinų naudoti galių sumai.

Įvadas

Energetika yra svarbi valstybės ekonomikos veiklos sritis. Tinkamai prižiūrimas ir plečiamas energetikos sektorius didina šalies ekonomikos galimybes. Viena svarbiausių energetikos šakų yra elektros energetika. Elektros energetikos sistema apibrėžiama kaip „elektros įrenginių, skirtų elektrai gaminti, perduoti ir skirstyti visuma“ (1 p. 6). Šiuolaikinė elektros energetikos sistema yra labai sudėtinga ir vykstantys procesai yra labai greiti ir gali trukti sekundės dalis. Nors nuolat diegiamos pažangios technologijos, jų plėtra lėta, nes nuo proceso nuo plano pradžios iki jo įvykdymo gali trukti net dešimt ir daugiau metų. Elektros energijos sistema evoliucionuoja ir pereina nuo didelių, koncentruotų elektrinių prie smulkesnių ir sutelktų elektrinių. Lietuvoje kiekvienais metais didėja instaliuota atsinaujinančių energijos išteklių (toliau – AEI) galia ir ši tendencija, kaip ir Europos Sąjungoje, išliks dėl 2030 m. klimato ir energetikos politikos strategijos. Pagal Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją 2030 m. AEI dalis galutiniame elektros suvartojimo balanse turi siekti 45 proc. (2). Skatinant nepastovios generacijos atsinaujinančius energijos išteklius išauga ir balansavimo išlaidos. 2019 metais galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje siekė 11,145 TWh, o Lietuvos viduje elektros energijos gamyba – 3,64 TWh, iš kurių beveik du trečdaliai pagaminami iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Pagrindiniai nepastovios paskirstytos generacijos šaltiniai yra saulės ir vėjo elektrinės, todėl tinklo valdymas tampa sudėtingesnis. Skirstomasis tinklas nėra pritaikytas šiems pokyčiams, todėl atsiranda iššūkių tinklo operatoriui. Lietuvoje elektros rinka tampa vis liberalesnė ir vartotojams atsiranda galimybė dalyvauti elektros energijos rinkoje. Tai skatina naujų idėjų bei galimybių atsiradimą dar labiau skatinti vartotojų dalyvavimą rinkoje. Pastaraisiais metais Europoje vis daugiau dėmesio skiriama elektros paklausos valdymui, nes tai vienas iš paprastesnių būdų efektyviau išnaudoti esamus elektros tinklus, kadangi taip užtikrinamas paklausos lankstumas. Lanksčiai elektros energetikos sistemos naudinga turėti kuo daugiau lankstumo šaltinių, nes ji gauna naudos iš jų visumos (3). Tuomet būtų valdoma ne tik elektros energijos pasiūla, bet ir paklausa. Nors pirmieji pilotiniai bandymai vyko Majamyje tarp 1979 m. ir 1983 m. (4), tik pastarąjį dešimtmetį ši idėja pradėjo plisti į vis daugiau valstybių. Aišku tai, kad kuo rinka didesnė, tuo lankstumo yra daugiau ir sistema yra stabilesnė bei atsparesnė didesniems trikdžiams. Tačiau nėra vieningo sprendimo, kokį vaidmenį turėtų atlikti vartotojai lanksčioje sistemoje, ir kiekvienos valstybės atvejis gali būti unikalus, todėl susiduriama su įvairiomis politinėmis bei techninėmis kliūtims. Norint paaiškinti elektros vartotojų įtraukimą prie lanksčios elektros energijos sistemos, reikia nustatyti, kokios yra galimybės ir kokia įtaka šalies lankstumui.

Problema – vartotojų galimas įsitraukimas ir priemonės, padedančios lanksčiai valdyti elektros tinklą Lietuvoje. Pasaulyje šia tema yra atlikta nemažai tyrimų, ypač Danijoje, Vokietijoje ir Nyderlanduose, tačiau Lietuvos atvejis nėra pakankamai tiriamas.

Tyrimo tikslas – nustatyti vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą galimybes ir iširti lanksčios paklausos potencialą.

Tyrimo uždaviniai:

1. išanalizuoti lanksčios elektros sistemos valdymo sampratą;
2. atlikti teorinę analizę, kuri atskleistų elektros vartotojų galimybę lanksčiai vartoti;
3. parengti potencialių elektros vartotojų, galinčių lanksčiai vartoti, masto ir įtakos nustatymo metodiką;

4. atlikti statistinių duomenų analizę ir nustatyti vartotojų įtraukimo į lankstų elektros tinklo valdymą galimybes;
5. ištirti Lietuvos vartotojų, galinčių lanksčiai vartoti, paklausos potencialą.

1. Elektros vartotojų galimybės lanksčiai vartoti teorinė analizė

1.1. Lanksčios elektros sistemos valdymas

Tradicinis elektros tinklas yra standi sistema. Jai trūksta lanksčios gamybos ir perdavimo, dėl to sunku realiu laiku sukurti konfigūruojamą sistemą. Tradiciniame tinkle mažos savaiminio atsistatymo ir atsikūrimo galimybės (5). Jame trūksta ryšio tarp vartotojų ir paslaugos tiekėjų. Informacijos perdavimas vyksta tik viena kryptimi: iš vartotojo pas paslaugos tiekėją. Suprantama, kad tinklo modernizacija ir išmaniųjų sprendimų diegimas gali trukti ir dešimtmečius. Tačiau dabartinis elektros tinklas yra pereinamojoje stadijoje iš tradicinės į išmaniają elektros energijos sistemą. Elektros energijos sistema pasižymi tuo, kad visada turi būti balansas tarp paklausos ir pasiūlos, todėl sistemos lankstumas yra neatsiejamas nuo sklandaus elektros energijos tiekimo.

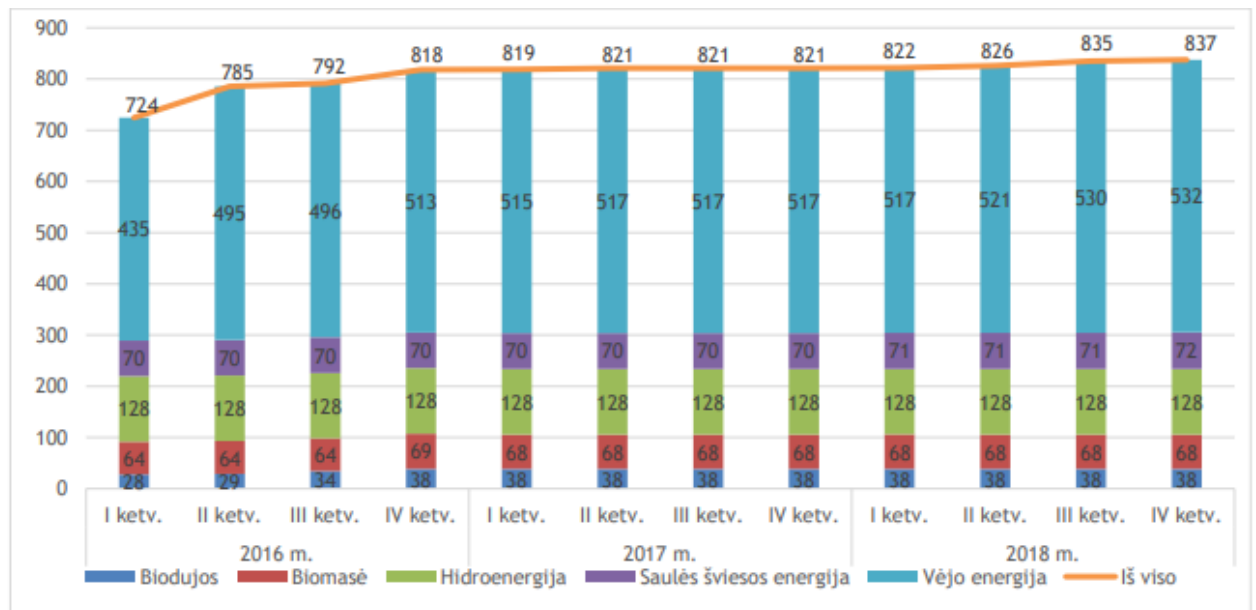
Elektros energijos sistemos lankstumas – tai galimybė, su ekonominiais apribojimais, greitai reaguoti į didelius paklausos ir pasiūlos svyravimus nepriklausomai nuo to, ar jie yra suplanuoti, ar atsiradę dėl nenumatytų įvairių įvykių (3). Sistemoje, turinčioje kintamos generacijos šaltinius, ypač svarbi lankstumo galimybė. Elektros energijos sistemos lankstumas gali svyruoti priklausomai nuo laiko ir tuo metu esančios paklausos. Kuo didesnė paklausa sistemoje, tuo mažiau yra lankstumo. Iki šiol paprasčiausiai identifikuojamas lankstumo užtikrinimo šaltinis elektros energijos sistemoje yra elektrinės, kurios reguliuoja pajėgumus priklausomai nuo paklausos tam tikru metu. Kuo AEI elektros gamybos prognozė tikslesnė, tuo geriau išnaudojamos pigesnės ir lėtesnės elektrinės lankstumui užtikrinti. Tačiau yra ir kitų lankstumo šaltinių. Jie gali būti skirstomi pagal kriterijus į:

- kokybiškos ir greitos reakcijos generaciją;
- kaupimo galimybę (talpa ir trukmė, pavyzdžiui, Kruonio hidroakumuliacinė elektrinė);
- tarp sisteminių tinklų panaudojimą (elektros energijos importas ir eksportas);
- paklausos valdymą ir reakciją (vartotojų, kurie gali reguliuoti savo elektros suvartojimą priklausomai nuo sistemoje esančios elektros energijos pertekliaus ar trūkumo, potencialas).

Jeigu pasiekiamas toks taškas, kai AEI elektros generacija viršija tinklo lankstumo resursus, tada reikia imtis papildomų priemonių. Lietuvoje paklausos valdymas ir reakcija dar nėra išnaudota sritis.

Todėl prie energijos efektyvumo bei tinklo stabilumo gerinimo būtų galima panaudoti elektros paklausos valdymą ir jos reakciją. Ši sąvoka pastaruoju metu vis dažniau minima literatūroje ir ją galima apibūdinti kaip įvairių metodų pritaikymą vartotojų paklausai modifikuoti. Įprastai siekiama paskatinti vartotojus vartoti mažiau elektros energijos piko valandomis ir daugiau ne piko valandomis, pavyzdžiui, naudoti skalbimo mašinas naktimis ar savaitgaliais. Paklausos reakcija (toliau PR) yra vertingas įrankis suteikti lankstumą elektros sistemai, kad būtų galima pagreitinti atsinaujinančių energijos išteklių integraciją ir efektyviau valdyti tinklą.

Skirtingai nei tradiciniame elektros tinkle, išmaniajame tinkle būtų galimas didesnis nepastovios generacijos šaltinių prijungimas prie tinklo. Lietuvoje kiekvienais metais instaliuojama vis daugiau paskirstytos generacijos šaltinių. 2019 m. valstybinės energetikos reguliavimo tarybos pateiktoje ataskaitoje matomas saulės bei vėjo elektrinių instaliuotos galios didėjimas (žr. 1 pav.), jeigu lyginama AEI struktūra pagal įrengtąją galią 2016–2018 metų ketvirčiais. Tai reiškia didėjančias balansavimo išlaidas.



1 pav. AEI struktūra pagal įrengtąją galią 2016–2018 (MW) (6)

Šiuo metu nustatyta, kad AEI dalis galutiniame elektros energijos suvartojimo balanse 2030 metais turi pasiekti 45 proc. ir 2050 metais 100 proc. 2019 metais Lietuvoje išlaidos už AEI elektros balansavimą nuo 2015 metų išaugo apie 71 proc. Tai rodo, kad ateityje vykdant nacionalinės energetikos nepriklausomybės strategijos tikslus reikės kaip įmanoma įvairesnių būdų išlaikyti elektros energijos sistemą stabilia. 1 lentelėje pateikta AEI gamyba, balansavimas ir centralizuota prekyba nuo 2012 m. iki 2019 m.

1 lentelė. AEI gamyba, balansavimas ir centralizuota prekyba (7)

Pavadinimas	2012 m.	2013 m.	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.	2019 m.
AEI gamyba, balansavimas ir centralizuota prekyba, mln. Eur	36,98	53,351	62,498	63,278	93,243	111,372	114,217	108,359

Verta aptarti ir tai, kad esant palankioms meteorologinėms sąlygoms pagamintos elektros energijos iš AEI taip pat didėja. Sparčiausias augimas matomas saulės elektrinėse, kurios yra vienos iš daugiausiai paplitusių paskirstytos elektros energijos generacijos šaltinių. 2018 metais lyginant su 2017 metais elektros gamyba saulės elektrinėse išaugo net 18,3 GWh. 2 lentelėje pateikiama elektros energijos bendroji gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių. Daugiausiai elektros generuoja vėjo jėgainės.

2 lentelė. Elektros energijos bendroji gamyba iš atsinaujinančios energijos išteklių, GWh (8)

	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
Visi elektros energijos gamybos įrenginiai	1 510,1	1 679,8	2 095,6	2 537,8	2 204,6
Hidroelektrinės < 1 MW galios	51,3	50,4	60,4	73,9	49
Hidroelektrinės 1-10 MW galios	20,2	19,1	25,3	33,3	18,3
Hidroelektrinės > 10 MW galios	326,7	280,1	368,2	495,2	363,7

Saulės (fotovoltų) elektrinės	73	73,3	66,5	68	86,6
Vėjo jėgainės	639,1	810,3	1 135,9	1 363,8	1 144
Biokuro elektrinės	292,6	318,2	262,2	292,3	322,4
Biodujų jėgainės	78,4	86,3	122,7	127,2	139,9
Termofikacinė pramoninių ir komunalinių atliekų jėgainė	28,8	42,1	54,4	84,1	80,7

Nors 2019 m. galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje sumažėjo apie 0,3 proc. palyginti su 2018 m., kurį lėmė šiltesnė žiema, tačiau nuo 2015 m. suvartojimas išaugo apie 11,3 proc. Todėl Lietuvos elektros energetikoje ieškomos inovacijos, kurios padėtų suvaldyti besikeičiantį elektros tinklą. Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje pateikiamas 3 lentelėje.

3 lentelė. Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje (9)

Metai	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.	2019 m.
Galutinis elektros energijos suvartojimas Lietuvoje, TWh	9,844	10,015	10,468	10,76	11,176	11,145

Lietuvos elektros tinklai nuolatos modernizuojami ir vykdomi išmanios elektros sistemos diegimo darbai. Lietuva diegia vieningą duomenų talpinimo ir apsikeitimo platformą. Ši platforma kuriama remiantis Šiaurės valstybių ir Estijos patirtimi (10). Operatoriai, tiekėjai ir klientai galės lengvai keistis duomenimis šioje platformoje.

1.2. Paklausos valdymo integracija į ES skirstomąjį tinklą

Iš pradžių galima įvertinti kai kurių energetikos įstatymų principus, kurie apunkina elektros sistemų ryšį su ES atsinaujinančios ir tvarios energetikos politika. Tiksliau sutelkiamas dėmesys į energetikos trilemą – tai priešprieša tarp prieinamumo, patikimumo ir tvarumo elektros skirstymo sistemose ir kaip energetikos įstatymas gali būti panaudotas reguliuoti priimtina balansą joje. ES ilgalaikės klimato strategijos tikslas 2050 metais sukurti šiltnamio dujų neišmetančią ekonomiką. Autorių D. Kuiken'o, H. F. Mās viena iš pagrindinių minčių, kad skirstomojo tinklo operatoriui pasitelkus paklausos valdymą yra galimybė prijungti pakankamą balansą tarp energetikos trilemos (5). Tai pasiekama optimizuojant reguliuojamų užduočių atlikimą užtikrinant saugumą, patikimumą ir energijos sistemos efektyvumą. Tačiau iškyla iššūkis, kad nors skirstomojo tinklo operatoriaus (toliau – STO) naudojimas paklausos valdymui neatrodo prieštaraujantis atskyrimo reikalavimams ir, atrodo, yra tinkama priemonė, skirta optimizuoti STO reglamentuojamų užduočių atlikimą, dabartinė reguliuojama trečiųjų šalių prieiga aiškiai riboja jo naudojimą. Esant tokiems ribojimams siūlomi du variantai:

- su esama tvarka ieškoti teisinių būdų;
- keisti alternatyvų reguliuojamos trečiųjų šalių prieigos sąvokos aiškinimą.

Bet kuriuo atveju, sprendimai turi būti priimti atidžiai, kaip STO gali integruoti paklausos valdymą į savo sistemą. Kad būtų priimti sprendimai reikia nustatyti, kokią funkciją STO galėtų atlikti kaip neutralus tarpininkas. Scenarijuje, kuriame naudojamas paklausos valdymas, rinkos koordinatoriaus funkcija galėtų būti aiškinama, kad „rinka“ nebūtinai reikštų gamybos ir tiekimo rinką, bet galėtų būti „lankstumo rinką“.

Tačiau reikia atsižvelgti ir į elektros sistemos vartotojus, kokios STO funkcijos jie norėtų. Šis visuomeninis klausimas gali būti sprendžiamas tiek nacionaliniu, tik vietiniu mastu. Sunku rasti

sprendimą, ypač atsižvelgiant į skirstymo sistemų ir prie jų prijungtų vartotojų galimybes. Dalis vartotojų teigiamai priims paklausos valdymą ir savanoriškai prisidės, kita dalis nebus suinteresuota prisidėti. Bet kurioje paklausos valdymo programoje yra neišvengiamas sistemos kaštų perskirstymas. Vartotojai, kurie teiks paklausos valdymo priemones, mokės mažiau (tačiau turės kompensuoti lanksčios įrangos investiciją), tie, kurie neteiks paklausos valdymo priemonių, turės kompensuoti kainų sumažėjimą šių priemonių teikėjams (5). Perskirstymas potencialiai darytų didelę įtaką vartotojų prieinamumui prie elektros sistemos. Vertinant iš teisinės sistemos pusės yra svarbu, kokia elektros tarifų metodika bus pritaikyta ir kokia parinkta reguliuojamų trečiųjų šalių prieiga.

Iškilus klausimui, kokį modelį pritaikyti Lietuvos atvejui, reikia išanalizuoti bandomus ir šiuo metu kuriamus paklausos valdymo modelius. Šiuos modelius galima suskirstyti į kelias kategorijas:

- paklausos telkimas;
- vartotojų apkrovų planavimas;
- skirtingų energijos rūšių apjungimas;
- planinis paklausos valdymas;
- skatinimo sistema.

Visos kategorijos apžvelgtos šiame skyriuje.

1.2.1. Vartotojų paklausos telkimas

Pastaraisiais metais Europoje plinta vartotojų telkimo idėja, kurią skatina nuolatinis lankstumo siekimas elektros sistemose dėl augančios atsinaujinančių energijos išteklių integracijos bei elektros rinkos liberalizavimo (11; 12). Siūlomas bendrasis metodas, kaip nustatyti galimybes, kliūtis ir galimus sprendimus kuriant lankstumo mechanizmus per vartotojus sutelkiančias įmones, sutelkiant dėmesį į rinkos integracijos aspektus, taip siekiant paremti naujų lankstumo paslaugų kūrimo procesą ir atitinkamas reguliavimo sistemas. Kliūtys suskirstytos į rinkos, reguliavimo, technines ir socialinius klausimus. Visa tai reikia spręsti dar prieš atsirandant vartotojų susivienijimo galimybei. Nors metodas pritaikytas Nyderlanduose, jis pritaikomas ir aktualus didesnėje Europos dalyje.

Siekama, kad tyrimų rezultatai apie susivienijimo idėją leistų naujų verslo modelių ir paslaugų atsiradimą. Norint tai pritaikyti Danijai, PSO sistemingai ruošiasi vartotojų resursų integracijai, lankstumo paslaugoms per apkrovų sutelkimą. Danijos rinkos reguliatorius turi priimti reglamentus, kad leistų susivienijimams konkuruoti su esamais rinkos dalyviais ir įgalintų lankstumo paslaugas įvairiuose lygmenyse: nuo regionų iki tarptautinio lygmens. Pagrindinis užduotis rinkos koordinatoriui yra būtinų duomenų, pagal kuriuos rinkos dalyviai užtikrintai ir teisingai galėtų užbaigti komercinius sandorius, pateikimas. Todėl glaudžiai bendradarbiaujama su rinkos dalyviais, kad būtų išspręsti klausimai ir būtų užtikrinta susivienijimų idėjos integracija vienodomis sąlygomis visiems rinkos dalyviams. Kita svarbi kliūtis: poreikis keisti įstatymus, kad išmaniųjų skaitiklių duomenys būtų lengvai prieinami naujiems vartotojų susivienijimo idėjos verslo modeliams. Šiuo metu Lietuvoje šios kliūtys yra sprendžiamos. Elektros tinklai palaipsniui daromi išmanesni. Išmanieji skaitikliai bus diegiami dviem etapais. AB „Energijos skirstymo operatoriaus“ duomenimis nuo 2021 m. iki 2023 m. pirmuoju etapu bus diegiami išmanūs skaitikliai suvartojantiems daugiau kaip 1 000 kWh per metus, o antruoju etapu (nuo 2024 m.) suvartojantiems mažiau, pasibaigus skaitiklių metrologinės patikros terminui.

Danijoje reguliatorius gali nustatyti elektros tinklo tarifus. Jam patvirtinus skatinimą ir diferencijuotų tarifų taikymą galimas vartotojų lankstumo mechanizmų rėmimas. Tai paskatintų vartotojų požiūrį į kainas ir sustiprintų jų sutelkimo idėją. Palaikant tinkamus įstatymus ir skatinant naujas organizacines ir kooperacines struktūras, kurių tikslas įgalinti energijos paklausos valdymą, būtų įmanomas naujų produktų ir paslaugų kūrimas tiek didmeninės elektros prekybos rinkoje, tiek papildomų paslaugų tiekimui. Nauji vartotojų sutelkimo idėjos verslo modeliai padeda pereiti prie tvarios energetikos sistemos efektyviai integruojant paklausą į elektros rinkas. Tai galėtų pakeisti iškastinio kuro rezervines elektrines.

Dideliu mastu lanksčią paklausą galima sutelkti į vartotojų grupes su panašiu naudojimo laiku, investicijomis ir operatyvinėmis sąnaudomis (12). Tyrime modeliuotos dviejų tipų lanksčios apkrovos su linijiniais kintamaisiais: perkeliama tūrio apkrovos ir sumažinamos apkrovos. Iš esmės paklausos reakcijos modelis yra kaip saugykla be fizinės infrastruktūros.

Optimalu, kai vartotojai gali perkelti lanksčią apkrovą į laiką, kada gamyba iš atsinaujinančių šaltinių didžiausia. Europos energijos investicijų modelis su atsinaujinančia energija yra stochastinio pajėgumo didinimo modelis, skirtas įvertinti optimalias investicijas į gamybą ir perdavimą per ilgalaikį planavimą.

Lanksčiam paklausos valdymui taip pat gali prisidėti ir vartotojų reakcija panaudojant paskirstytos generacijos šaltinius. Jos gali būti apjungiamos į virtualias elektrines, kurioms suteikiamas lankstumas (13). Vokietijoje jau dabar paskirstyta generacija gali pateikti reikiamą kiekį elektros energijos piko metu. Paklausos valdymas ir paskirstytos generacijos sutelkimas vienas iš būdų padidinti sistemos efektyvumą ir lankstumą.

Pastaruoju metu matomas Lietuvos Respublikos energetikos ministerijos dėmesys naujoms elektros vartojimo efektyvumo ir balansavimo priemonėms. 2016 metais Elektros energetikos įstatymas buvo papildytas „elektros energijos paklausos valdymo paslaugos teikėjo“ sąvoka (14), tačiau dar nėra aiški politika kada ir kaip prasidės įgyvendinimas, kokios taikomos priemonės ir ar bus taikomos skatinimo priemonės.

Šiuo metu pagal galiojančius teisinius reglamentus nėra numatytos paskatos ir sąlygos vartotojams vykdyti elektros paklausos valdymą bei priemonės, kaip sutaupyta vartotojų elektros energija galėtų patekti į elektros energijos, balansavimo ir rezervinės galios rinkas. Priemonių sutaupymų apimties ir galimos įtakos elektros energetikos sistemai įvertinti taip pat nėra.

2020 metais pateiktas Lietuvos energetikos ministerijos elektros energetikos įstatymo pakeitimo projektas, kurio pagrindinis tikslas nauja paslauga elektros rinkoje – elektros energijos paklausos ir gamybos telkimas (15). Priėmus įstatymo pakeitimus būtų sudarytos sąlygos naujai naujų nepriklausomų paklausos telkėjų veiklai atsirasti. Paklausos telkėjų atsiradimas įgalintų sutelktus vartotojus teikti lanksčią apkrovą. Galima daryti prielaidą, kad tai turėtų padidinti konkurenciją elektros energijos, balansavimo ir rezervinės galios rinkose, todėl atsirastų galimybė mažėti ir šių paslaugų kainoms.

Energetikos ministerija siekia, kad siūlomais pakeitimais būtų skatinami elektros vartotojai reaguoti į kainų signalus, kurie leistų efektyviau vartoti elektros energiją ir efektyviau išnaudoti elektros tinklų ir generavimo pajėgumus.

Svarbu paminėti, kad nepriklausomi paklausos telkėjai, kurie dalyvaus elektros energijos balansavimo, rezervinės galios paslaugų telkime, galės telkti tik tuos vartotojus ir gamintojus, kurie savanoriškai norės parduoti savo sutaupyta ir nesuvertotą elektros energijos kiekį tiems, kas tuo metu norės pirkti.

Kadangi Lietuvoje atsirado teisinės galimybės telkti vartotojus, tai svarbu atsižvelgti, kad autoriai M. Waseem'as, I. A. Sajjad'as, L. Martirano'as, M. Manganelli's tyrė gyvenamųjų būstų, sutelktų į įvairias grupes (nuo 20 iki 150 vartotojų grupėje), lanksčios apkrovos rodiklius (16). Pastebėta, kad kuo didesnis telkimo laipsnis, tuo sutelkto apkrovimo grafikas tampa panašesnis į visos sistemos apkrovimo grafiką, tačiau atsiranda atsitiktinių apkrovų naudojimų. Rytiniu piku nuo 6 valandos iki 9 valandos apkrovimas labai išauga, tačiau visa sutelkta apkrova tuo metu yra nelanksti. Nuo 9 valandos iki 12 valandos lanksti apkrova jau yra, tačiau ji tampa tariama (teorinė) dėl sumažėjusio vartotojų skaičiaus. Panašiai kaip ir rytinio piko metu tarp 18 ir 19 valandos paklausa yra nelanksti. Gauti rezultatai yra svarbūs tuo, kad panaudojant šį indikatorių galima projektuoti ir inicijuoti paklausos valdymo programas.

1.2.2. Vartotojų apkrovų planavimas

Vartotojų paklausos planavimas turėtų didelę reikšmę sistemos balansavimui. Vien 30–50 proc. balansavimo paslaugų Jungtinėje Karalystėje galėtų padengti paklausos planavimas (11). Paklausos lankstumas turi savybę kisti laike, todėl vienas iš variantų yra skirtingų laikotarpių planavimas. Tai yra pramonės sektoriaus vartotojams skirtas planavimas, kai sudaromos elektros energijos kiekio suvartojimo prognozės savaitei į priekį, o vėliau jos koreguojamos dienos tikslumu. Tokiu būdu pasiekiamas optimalus bendras paklausos planavimas. Planuojant elektros paklausą prieš savaitę ir pritaikant dinaminio generavimo scenarijaus metodą, galima tiksliai imituoti klientų elektros energijos poreikį laike. Tai gali būti ne tik ribinis galimų vartotojų apkrovų pasiskirstymas, bet ir bendras pasiskirstymas tarp kelių apkrovų skirtingu metu.

Kitas planavimo variantas yra sutelkimas. Jį galima išskaidyti pagal išmanųjį matavimą. Išskiriamos dvi apkrovos kategorijos: kontroliuojama ir nekontroliuojama (11). Išmanus skaitiklis matuoja kiekvieno prijungto galutinio vartotojo elektros įrenginio naudojimą ir dirbtiniu neuroniniu tinklu apdoroja informaciją, kuri suskirstoma į grupes ir pagal kurią sudaromi grupių vartojimo grafikai. Atlikti bandymai su skirtingais individualių įrenginių matavimo kiekiais. Nustatyta, kad iš 1 000 namų ūkių instaliavus tik 5 proc. skaitiklių, apkrovos prognozė išlieka aukšta. Todėl Lietuvoje įrengus išmaniuosius skaitiklius tikėtina, kad teoriškai 2023–2024 m. būtų įmanomas sutelktų vartotojų tikslus apkrovimo planavimas.

Vienas iš išmanaus energijos valdymo pastatuose įrankių, kurį bus galima naudoti ateityje, yra nuspėjamas valdymas (17). Nuspėjamojo valdymo modelis (NVM) išmaniems pastatams, kad būtų galima pateikti paklausos valdymo lankstumą su tikslu, didina atsinaujinančių išteklių integraciją energetikos sistemose. Šis modelis tai valdymo algoritmas, kuris optimizuoja kontroliuojamų kintamųjų seką planuojamame laikotarpyje. Tai daroma optimizuojant procesų funkcionavimo prognozes. Šio modelio nuspėjamojo valdymo kūrimo stadija, privalumai ir trūkumai, įgyvendinimo galimybės ir praktinės kliūtys parodytos 4 lentelėje.

4 lentelė. NVM privalumai ir trūkumai (14)

Privalumai:	Trūkumai:
Gali atsižvelgti į atsitiktinius trikdžių veiksnius (orų prognozę) ir tinkamai parinkti valdymo veiksmus	Kelia iššūkius netechniniams vartotojams, nes reikia žinių apie specifinius metodus
Gali prisitaikyti prie energijos kainų svyravimo, kuris gali lengvai būti įtraukiamas į optimizacijos problemos formulavimą	Duomenų analizei ir modeliavimui reikia daug laiko
Gali realizuoti apkrovos perkėlimą per tam tikrą laiką ir išsiuntimą	NVM strategijoms reikia didelių investicijų, kurios gali neatsipirkti trumpuoju laikotarpiu papildomai sutaupant
Gali būti suformuluotas paskirstytu būdu, todėl skaičiavimo apkrova gali būti padalyta keliems priėmėjams	-

Y. Zong'o komandos atliktoje analizėje pasiūlytas dviejų sluoksnių hierarchinis valdiklis Kopenhagoje naujai pastatytame daugiabutyje. Simuliacijos rezultatai parodo, kad pastatai, kaip lanksti apkrova daugiafunkcinei energijos sistemai, kurių šiluminė masė yra šilumos buferis su dideliu saugojimo potencialu, gali prisidėti prie tinklo papildomų paslaugų, kurios pagrįstos energijos/lankstumo rinkos ekonominėmis paskatomis galutiniais vartotojams (18). Galima sakyti, kad yra tikrai daug potencialo šiame sektoriuje. Šiuos variantus būtų galima vertinti, pavyzdžiui, įtraukiant į pastatų renovacijos programą.

1.2.3. Skirtingų energijos rūšių apjungimas

Pasak N. Strobel'io ir A. Eberhard'o, šildymo ir vėdinimo sistemų pritaikymas valdyti paklausa daugiausia gali būti taikomas pramonės sektoriuje (19). Tačiau yra sąlyga, kad šių sistemų veikimas negali būti pastovus. Kadangi svarbu koks įrenginys yra įjungtas, iškelta problema, kad reikalinga optimizuota valdymo kontrolės strategija. Ji turėtų suderinti tuo pačiu metu veikiančių sistemų darbą.

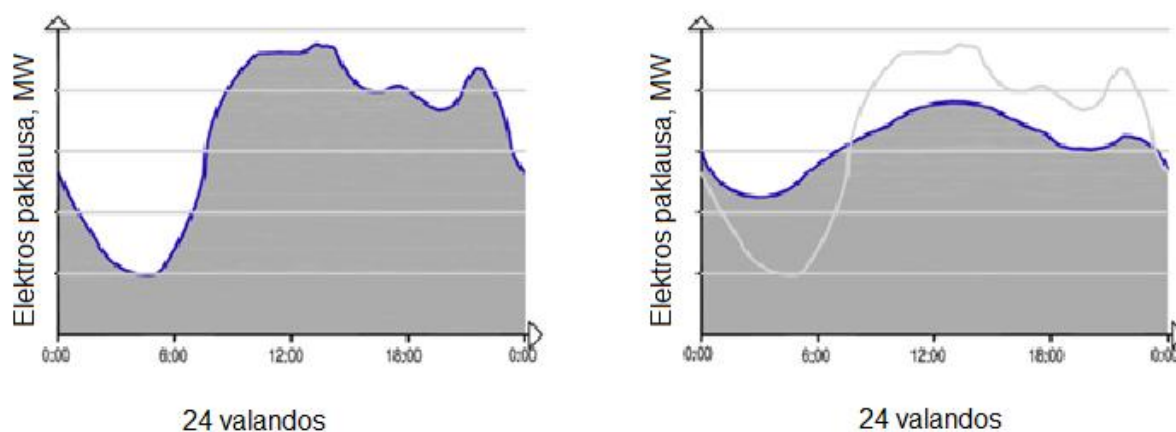
Valdymo algoritmas nepertraukiamai derina šildymo ir aušinimo sistemų darbą taip, kad elektros poreikis būtų suderintas prie svyruojančios elektros gamybos. Tačiau yra sąlyga, kad sukauptas pakankamas naudojamos terminės energijos kiekis. Strategija gali būti pritaikoma visoms terminės kaupimo sistemoms, kurios turi histerezės valdymą. Norint pritaikyti šildymo ir šaldymo sistemas lanksčios paklausos valdymui, reikia pakeisti jų kontrolę, kad valdymo blokas gautų bent vieną išorinį signalą (pavyzdžiui, elektros kaina).

Galimi du apkrovų su termostatinio valdymu reguliavimo variantai:

- histerezės limitų pritaikymas pagal išorinį signalą;
- tiesioginis šilumos ar šaldymo generatorių valdymas iš centrinio valdymo bloko.

Penkių variantų su skirtingais terminės atsargos kiekiais modeliavimo rezultatai patvirtino, kad decentralizuotos valdymo strategijos panaudojant neapibrėžtumo (*fuzzy*) logiką yra tinkamos termostatu valdomiems įrenginiams elektros paklausai valdyti. Su simuliacijos modeliu galima prijungti įvairius pramoninius energijos vartotojus ir toliau plėtoti optimizuoto valdymo strategijas. Nustatyta, kad kuo tikslesnė prognozė, tuo rezultatai bus tikslesni, todėl paklausos valdymo nauda didėja.

Su šildymo sistemomis tyrimus atliko ir autoriai J. Lizana'as, D. Friedrich'as, R. Renaldi's, R. Chacartegui'is, tačiau jie vertino pastatų kaip visumos galimybes (17). Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad pagrindinis iššūkis siekiant sumažinti ilgalaikį šiltnamio dujų efektą, yra didelis šildymo ir aušinimo sistemų mastas, sezoninė kaita bei pasiskirstymo nevienodumas. Lanksčią pastatų paklausą galima valdyti su išmaniosiomis sistemomis. Išmaniają šildymo sistemą sudaro efektyvūs šilumos siurbliai, didelio tankio latentinis šilumos kaupiklis ir išmanus paklausos valdymas. Sistema su paklausos valdymu optimaliai aprūpina šildymu ir karštu vandeniu iš šilumos siurblių arba kaupiklio priklausomai nuo elektros kainos, todėl elektros apkrovos grafikas tampa vientisesnis, nes pikinis elektros vartojimas perkeliamas į nepikinių periodą. Tokiai sistemai nereikia papildomų tinklo išlaidų arba jos būna labai mažos. Elektros vartotojų dabartinės ir ateities elektros tinklo paklausos grafikas pritaikius lanksčią paklausą pateiktas 2 paveiksle.



2 pav. Elektros vartotojų paklausos kreivė (kairėje) ir ateities elektros tinklo paklausos grafikas pritaikius lanksčią paklausą (dešinėje) (13)

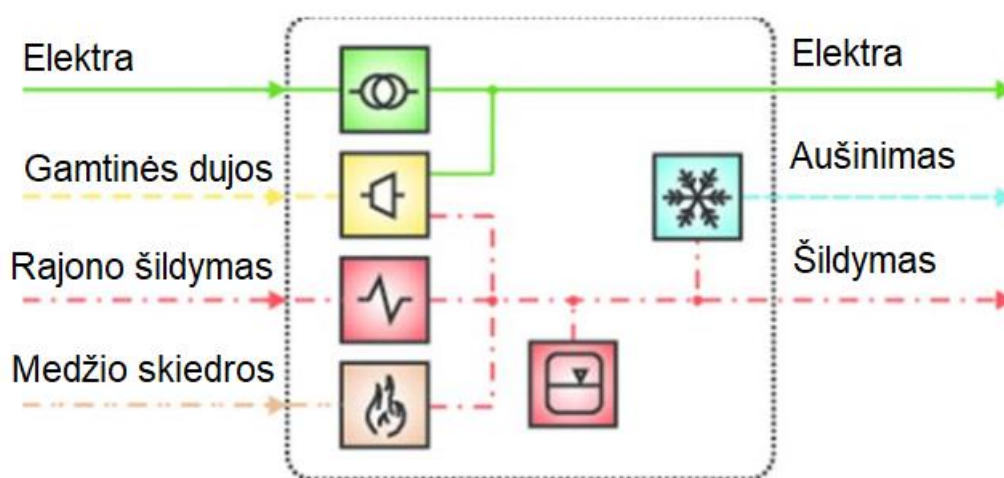
Galimos dvi paklausos valdymo strategijos pagal kainodarą: „Ekonominis 7“ – dviejų tarifų (piko valandomis brangiau, ne piko – pigiau) arba „valandinis tarifas“ – keičiasi kas pusę valandos priklausomai nuo pasiūlos ir paklausos. Pirmu atveju sutaupoma 4 proc., antru 20 proc. Todėl patalpų šildymo sistemos su išmaniu paklausos valdymu gali prisidėti prie lankstaus sistemos valdymo.

Tačiau Lietuvoje tokia sistema nėra plačiai taikoma, nes 79,2 proc. miesto gyventojų šildymą gauna iš centralizuotų šilumos tinklų. Per 11 metų būstų apšildymas iš tokių tinklų padidėjo 4 procentais. Tikėtina, kad šis procentas dar didės. Tačiau bendrai virš 40 proc. namų ūkių apšildomi individualiai, todėl čia dar galimas įsitraukimo plėtojimas. Būstų apšildymo variantai Lietuvoje pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Būstų apšildymas (8)

Metai		2009 m.	2018 m.
Centralizuotas iš miesto (raiono) šilumos tinklų	Miestas ir kaimas	53,5	55,6
	Miestas	75,5	79,5
	Kaimas	3,6	5,4
Centralizuotas iš vietinės katilinės	Miestas ir kaimas	1,6	1,7
	Miestas	0,9	0,8
	Kaimas	3,2	3,6
Individualus	Miestas ir kaimas	44,9	42,7
	Miestas	23,6	19,7
	Kaimas	93,2	91

Danija yra viena iš valstybių, kuri aktyviai ieško naujų vartotojų paklausos valdymo variantų. Remiantis šios šalies pavyzdžiu, dar vienas siūlymas būtų sinergija tarp energijos tinklų (terminis saugojimas, suteikiantis vartotojų atsaką). Šiai integracijai reikia daug lankstumo visose energetikos sistemose. 30 proc. energijos ir daugiau nei pusė elektros energijos pasauliniu mastu suvartojama pastatuose. Pastatų šiluminis pajėgumas gali būti panaudotas vartotojų energijos lankstumo paslaugomis per lankstumo / elektros rinka perdavimo tinklo operatoriui (toliau – PTO), STO, šilumos operatoriui ir balansavimui. Ši sinergija tarp skirtingų energijos tinklų yra energetikos centrai (20). Elektra ne tik tiekama iš elektros tinklų, bet gali būti panaudota vietinė gamtinių dujų turbina elektros gamybai bei tos pačios dujos kartu su centriniu šildymu patalpų šildymui. Ši sistema nėra apribota dydžio ir gali būti modifikuojama. Energetikos centre susiduria kelių energijų infrastruktūros ir galima sinergija tarp kogeneracinės ar net trigeneracinės jėgainės. Centras gali būti pritaikytas tiekti energiją tiek rajonui, tiek visam miestui. Tokio tipo energetikos centro pavyzdys pateiktas 3 paveiksle.



3 pav. Energetikos centro pavyzdys, kuris susideda iš transformatoriaus, mikroturbinos, šilumokaičio, katilo, absorbcinio aušintuvo, baterijos ir karšto vandens saugyklos (20)

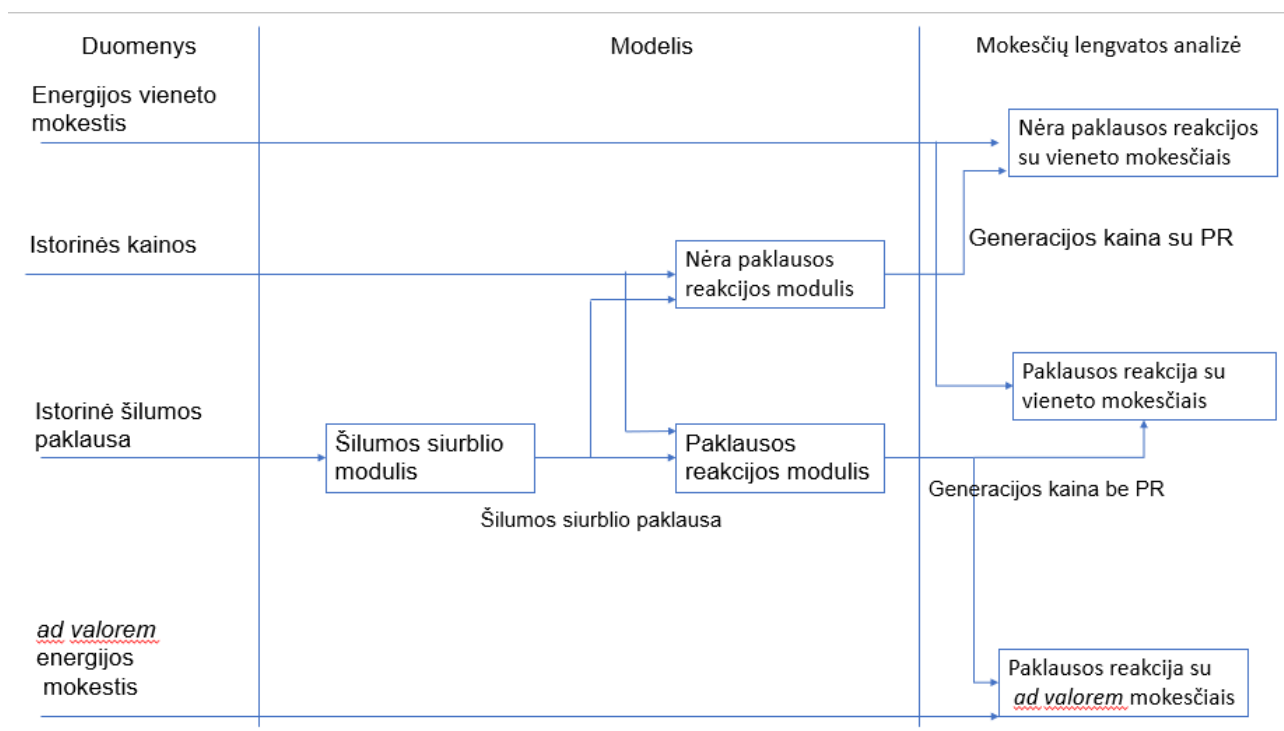
Aurių išvadose teigiama, kad pritaikius tokius energetikos centrus gaunamas didelis vartotojų lankstumas, nes efektyviai pagal tuometinę situaciją sistemose lankščiai keičiamas energijos šaltinis ir panaudojamos kaupimo technologijos. Tokiu būdu aktyvūs vartotojai nepatiria diskomforto, nes nereikia perkelti apkrovos ar ją sumažinti, tačiau jie taip reaguoja į paklausą. Lankstus šios sistemos pritaikymas gali sumažinti energijos išlaidas bei sistemos emisijas, taip pat padidėja energetinis saugumas ir bendras energijos efektyvumas.

1.2.4. Paklausos valdymas pagal skirtingus mokesčius

Vienas pagrindinių būdų, kaip valdyti paklausą, yra ryšys tarp elektros kainos ir apkrovos. Europoje ir visame pasaulyje šia tema atliekamos įvairios analizės. Dauguma šių idėjų yra analizuojamos pritaikant matematinius modelius, atliekami modeliavimai ar atvejo analizės. Toliau bus apžvelgtos kelios paklausos valdymo idėjos, kurios yra paremtos mokestinės sistemos pokyčiais.

Pagrindiniai tyrimai atliekami atvejo analizės principu. Viena tokių yra orientuota į mažus ir vidutinius gyvenamuosius ūkius bei paslaugų sektoriaus vartotojus. Išaugus atsinaujinančių energijos

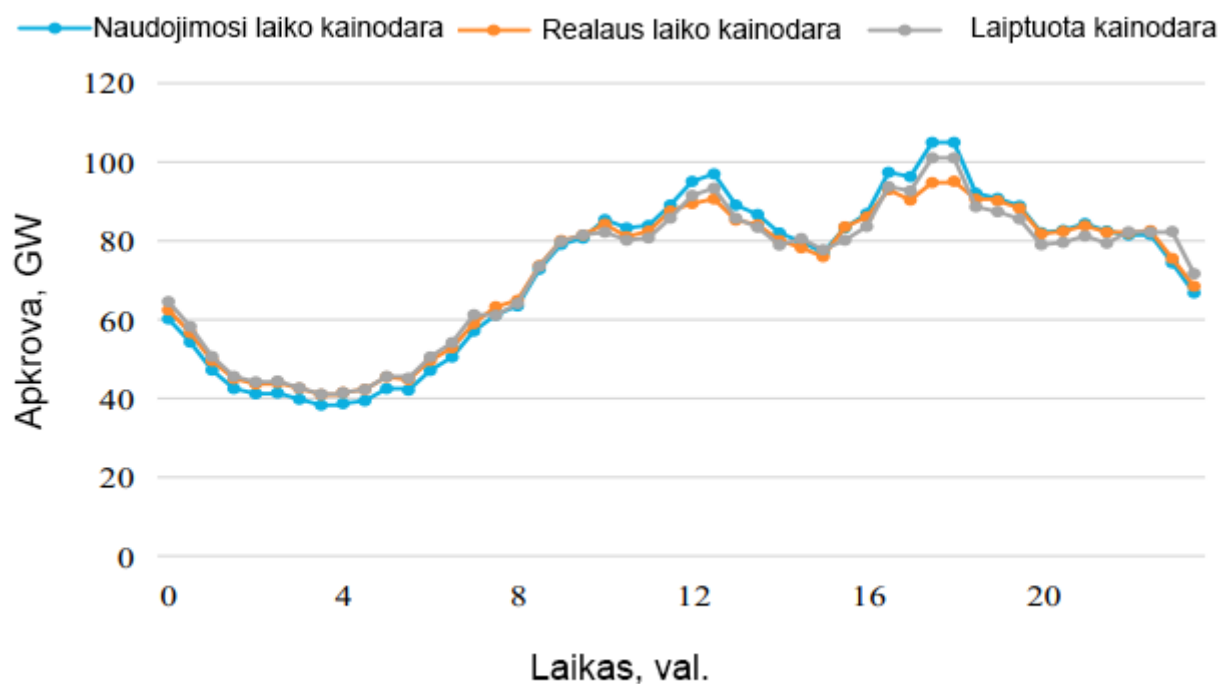
išteklių išsiskverbimui į sistemą prireiktų visų tipų vartotojų paklausos lankstumo. 4 paveiksle pateiktas mokesčių modeliavimo modelis.



4 pav. Galimas mokesčių lengvatų parinkimo modelis (21)

Šilumos siurblių elektros paklausa patalpoms šildyti panaudota kaip lanksčios apkrovos pavyzdys. PR įgalina saugią, patikimą ir efektyvią elektros sistemą, turinčią daug atsinaujinančių išteklių. Autoriai (21) parodo, kad ES mokesčių direktyva ir ES valstybėse narėse plačiai taikomas energijos mokestis už vienetą nesuteikia vartotojams finansinių paskatų dalyvauti reaguojant į paklausą. Pagal analizę finansinė paskata reaguoti į paklausą yra 3,5 karto didesnė mokesčio *ad valorem* nei mokestis už vienetą. Galima išskirti du galimus variantus. Pirmiausia, Europos ir šalių narių politikai turėtų svarstyti energijos mokesčius kaip įrankius skatinti energijos taupymą bei paklausos lankstumą. Kitas aspektas, kad energijos mokesčiai, skatinantys paklausos reakciją, turėtų būti matomi kaip naujas rinkos požiūris į šiuolaikinę energetikos sistemą.

ES paklausos reakcijai įgalinti ir paskatinti reikalingas mokesčių sistemos koregavimas. Kainų pokytis skatintų vartotojus pakeisti elektros vartojimo įpročius ir pasikeistų visas apkrovų grafikas. Kitame šaltinyje nustatomas realaus laiko kainodaros modelis ir siūloma elektros energijos pardavimo strategija, skirta koordinuoti energijos vartotojų ir elektros energijos pardavėjų interesus, atsižvelgiant į kainomis paremtą paklausos reakciją (22). Pradžioje sudarytas matematinis modelis nustatyti paklausos elastingumui ir tada realaus laiko kainodaros modelis. Autorių analizuotas paklausos elastingumas elektros kainoms, realaus laiko kainodarai ir laiptinei kainodarai (suskirstyta į intervalus pagal suvartojimą). Apkrovos grafike matomas pokytis nuo to, ar yra pritaikyta paklausos valdymo kainodara. Visos kainodaros turėjo įtakos pikinės apkrovos kitimui, tačiau naudingiausia yra realaus laiko. Pritaikius paklausos reakciją vartotojai reguliuos apkrovas atitinkamai pagal kainų kitimą. Apkrovos grafikas pagal skirtingą kainodarą pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Apkrovos grafikas pagal skirtingą kainodarą (22)

Verta paminėti ir M. G. Lijesen'o 2006 metais Olandijoje atliktą tyrimą, kurio metu buvo tirtas realios kainodaros elastingumo koeficientas. Buvo nustatyta, kad elektros paklausa yra neelastinga ir elastingumo koeficientas lygus 0,0043 (23).

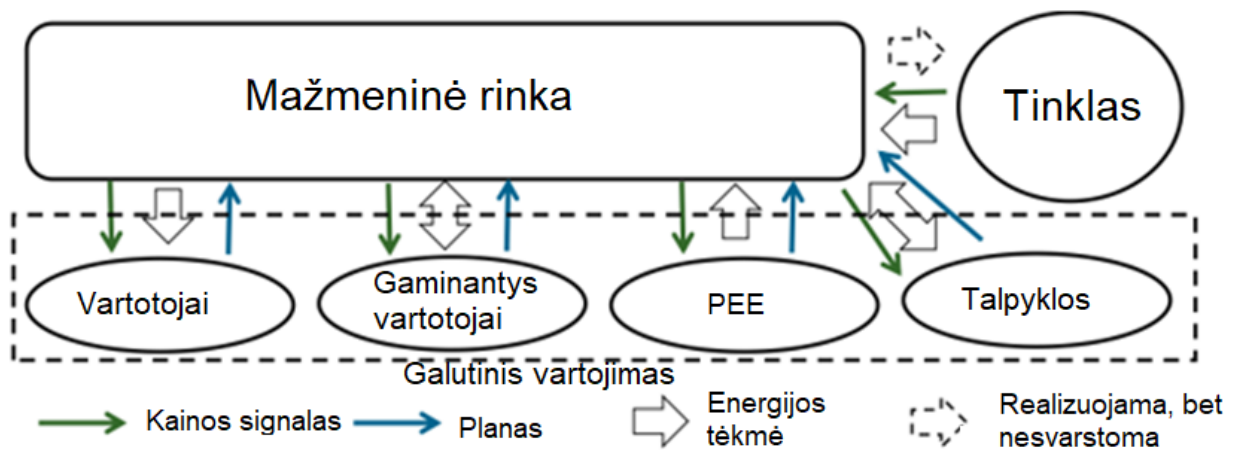
1.2.5. Paklausos reakcijos integravimas į sistemas

Vartotojai nesidomės ir neįsitrauks į lanksčios paklausos valdymą, kol nebus suformuota skatinimo sistema. Viena iš tokių galėtų būti transaktyvios energetikos sistema (toliau – TES).

Tai yra ekonominių ir kontrolės mechanizmų sistema, kurią naudojant galima integruoti paskirstytus energijos išteklius. Idėja panaudoti elektros paklausos reagavimo strategiją, kuri integruoja paskirstytus energijos išteklius į mažmeninę rinką naudojant transaktyvią energetikos sistemą. Mažmenininkui pasiūlomas mažmeninės rinkos modelis maksimizuoti jo pelną įvertinant apkrovos svyravimą ir tinklo kainų kitimą (24).

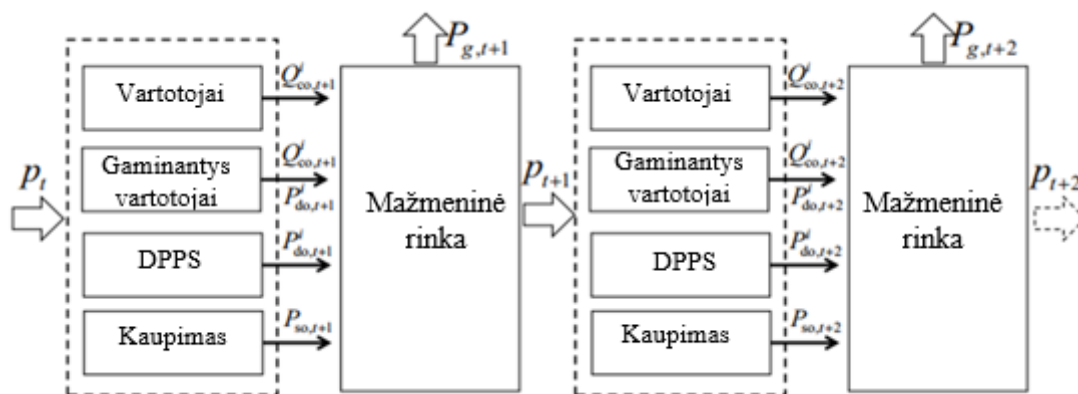
Galutiniams vartotojams sukurtas veiklos modelis, pagal kurį galima reguliuoti savo valdomą apkrovą arba sukauptą energiją, pritaikant prie mažmeninės rinkos kainų (25). Atvejų analizė rodo, kad mažmeninės rinkos ir galutinių paslaugų gavėjų transaktyvumas prisideda prie piko ir mažiausios tinklo apkrovos skirtumo mažinimo, integruojant paskirstytus energijos šaltinius (PEŠ), dėl ko abi šalys gauna naudos.

6 paveiksle pateikta schema, kurioje pavaizduojami vartotojų ir mažmeninės rinkos sandorių veiksmi.



6 pav. Operatyvus galutinių vartotojų ir mažmeninės rinkos elgesys (24)

Pagal šią schemą sukurtas simuliacijos modelis (žr. 7 pav.). Simuliacijos rezultatai tokie, kad 172 vartotojai 180 gavo naudos svyruojant tinklo mažmenos kainoms ir tik 8 tai neapsimokėjo, o tiekėjas gavo pelno. Tai įrodo, kad tiek vartotojai, tiek tiekėjai gauna naudos.



7 pav. Sandorių tarp rinkos ir galutinių vartotojų schema (24)

Siūloma į rinką orientuota paklausos reagavimo strategija, skirta integruoti paskirstytus energijos šaltinius į transaktyvią energetikos sistemą. Tiekėjas nustato realaus laiko sandorio kainą atsižvelgdamas ne tik į apkrovimo pokyčius, bet ir į tinklo kainų pokyčius. Vartotojai, dalyvaujantys rinkoje, reguliuoja savo apkrovas arba energijos kaupiklius prisitaikydami prie kainų svyravimo. Simuliacija patvirtino, kad tai yra efektyvi paskirstytų energijos šaltinių integravimo ir piko mažinimo priemonė. Be to, padidėjus vartotojų skaičiui modelio kintamųjų skaičius nekinta, nes kiekvienas iš jų optimizuojamas nepriklausomai nuo kiekvieno vartotojo ar tiekėjo. Galiausiai vartotojai gali keisti asmeninius parametrus.

1.2.6. Žaidimų teorijos modelis

Elektros energijos tiekimo ir vartojimo valdymas tampa vis didesniu iššūkiu regionuose, kuriuose vartojimas sparčiai auga ir į tinklo infrastruktūrą instaliuoti nepastovios gamybos atsinaujinantys šaltiniai. Vartojimo valdymas gali būti panaudotas pagerinti elektros energijos tiekimo patikimumą ir praplėsti esamo tinklo infrastruktūros pajėgumus. Galimas siūlymas vartojimo valdymui pritaikyti

žaidimų teorijos modelį įtraukiant energijos kaupimo elementus. Šis modelis ne tik sumažina didžiausio ir vidutinio tinklo apkrovimo santykį, bet ir sušvelnina apkrovos kritimą.

Dažniausiai kuriant apkrovų valdymo modelius priimama, kad prieinamas reikiamas elektros energijos kiekis aprūpinti visus vartotojus bet kokia kaina tinkle. Tai nepritaikoma besivystančioms valstybėms dėl elektros energijos tiekimo trūkumo ir nepastovios paskirstytų atsinaujinančių išteklių gamybos.

Autoriai (26) teigia, kad elektros paklausos valdymo metodai yra ypač aktualūs besivystančiose valstybėse, kur elektros tinklo infrastruktūra nėra tinkamai paruošta. Pritaikant apkrovų valdymo metodus apkrovą galima taip sureguliuoti, kad ji atitiktų pasiūlą ir esama infrastruktūra būtų išnaudojama efektyviau. Energetikos sistema yra nevienalytė, susidedanti iš daug vartotojų ir pasižyminti individualiu energijos suvartojimu, todėl sistema tampa įvairi ir suteikia didesnę sistemos lankstumą planuojant apkrovas. Šiai problemai aprašyti puikiai tinka žaidimų teorijos modeliavimas, nes įvertinamos įvairios energijos planavimo strategijos ir kiekvieno dalyvio išmokos bei pasitelkiamas visapusiškas požiūris į problemos analizę. Taip pat dėl informacijos ir komunikacijos technologijų bei išmanaus matavimo technologijų galima įgalinti automatizuotas apkrovų valdymo programas, kurios lengvai suprantamos vartotojui ir lengviau valdomos. Be to, galima rinkti duomenis, kurie būtų panaudojami efektyvaus planavimui ir energetikos sistemos vystymui.

Teorinis žaidimų modelis apkrovų valdymui tiktų ten, kur yra gamybos apribojimų ir sudėtingi individualių vartotojų elementai. Modelio tikslas sumažinti maksimalaus ir vidutinio suvartojimo santykį, tuo pat metu mažinant elektros tiekimo nepakankamumo poveikį vartotojams, ir sumažinti išlaidas už elektros vartojimą. Sumažinus elektros pikus, sumažėja elektros tinklų apkrovimas ir taip lieka daugiau papildomos energijos tiekti vartotojams per apkrovų valdymą pagal vartotojų pageidavimą. Tai vartotojams suteikia daugiau laisvės planuoti savo vartojimą ir mažinti diskomfortą. Taip pat kaupiklių prijungimas prie mažų paskirstytos generacijos šaltinių įgalintų labiau paskirstytą ir efektyvesnę energijos sistemą.

Žaidimų teorijos modelyje apibrėžiami visi įtraukiami dalyviai, jų pasirinktos strategijos ir atitinkami išmokėjimai.

Kiekvieną rytą tinklo operatorius surenka vartojimo grafikus iš visų vartotojų. Pagal šią informaciją sudaroma kiekvienos valandos apkrova vartotojams. Žinant informaciją iš anksto kiekvienam vartotojui paleidžiamas žaidimų teorijos algoritmas optimizuoti jų energijos planavimo profilius. Padarius paklausos grafiko pakeitimus, jie pateikiami operatoriui, kuris nuolat atnaujiną bendrąją apkrovą visiems vartotojams tol, kol nebebus pateikti pakeitimai ir visi pasieks optimalų sprendimą.

Autoriai (26) pateikia, kad besivystančio pasaulio kontekste išmanus energijos ir paklausos valdymas gali būti gyvybiškai svarbūs siekiant suvienodinti nuolat didėjančių pasiūlos ir paklausos skirtumą. Teorinis žaidimų požiūris apima kiekvieno asmens poreikius ir padeda išnaudoti vartotojų apkrovų profilių įvairovę. Kaupimo elementų panaudojimas apkrovų atsijungimo valandomis padėtų vartotojams sumažinti galios nutraukimo įtaką. Autorių atlikto tyrimo rezultatai atskleidžia apkrovimo duobių bei maksimalaus apkrovimo ir vidutinio santykio mažėjimą, taip gaunant sklandų apkrovų grafiką. Sujungus kaupimo elementus su atsinaujinančių išteklių generacija dar labiau sumažėtų tinklo apkrovimas. Įrodyta, kad vartojimo valdymas naudinga priemonė, kai paklausa auga, o nauji generavimo pajėgumai dar didinami.

1.2.7. Bendrasis algoritmas, skirtas maksimizuoti vartotojo naudą

Algoritmas reikalingas tam, kad būtų parinkti tinkami vartotojų įrenginiai paklausos valdymui. Literatūroje siūloma, kad pirma funkcija remiasi paklausos planavimu, kuriame piko apkrova perkeliama į palankesnę laiką, ir tada įvertinamas optimalus vartotojų pasiskirstymas tarp kelių šaltinių (27). Tuo pačiu metu išsprendžiamos dvi optimizavimo stadijos. Šis metodas geras tuo, kad kiekvienas vartotojas įvertinamas atskirai pagal sukurta energijos vartojimo planą taip surandant optimalų įrenginių pasiskirstymą. Tokiu būdu pagerinamas sistemos darbas bent 10 proc.

1.2.8. Elektromobilių panaudojimas paklausos valdymui

Planuojama, kad iki 2040 metų 35 proc. parduodamų naujų automobilių bus elektromobiliai. Tai itin padidintų pikinę elektros apkrovą (28). Transporto priemonių ir tinklų sąsajos (TPITS) tyrimas, kuriame nurodoma, jog su išmaniais valdymo algoritmais, kurių tikslas maksimizuoti elektrinių automobilių baterijų ilgaamžiškumą, baterijos degraduoja taip, lyg jos nebūtų prijungtos prie TPITS. Pasiiekti baterijas bus galima, jei nebus nustatyto efekto lyg baterijos nebūtų prijungtos prie tinklo. Tam reikalinga TPITS plėtra, investicijos į tinklo infrastruktūros atnaujinimas, dvipusių valdiklių ir išmaniųjų skaitiklių diegimas. Taip pat reikalingas tinkamas kompensacijų modelis vartotojams TPITS plėtrai.

Lankstus elektromobilių panaudojimas paklausos valdymui galimas su išmaniais krovikliais. Galima sujungti jau minėtą paklausos valdymą panaudojant elektromobilius su realaus laiko kainodaros modeliu. Panaudotas globalus modelis, pagal kurį išmanieji automobiliai įkrovimo metu geba priimti sprendimus ir reaguoti į realiu laiku dinamiškai besikeičiančias elektros kainas (29). Modeliai paremti dviem principais:

- optimalus veiksmų rinkinys, sudarytas pritaikant istorinius duomenis ir
- šie optimalūs veiksmai kartu su informacinėmis sistemomis gali būti panaudojami nustatyti kintamuosius ir sąlygas panaudojant mašinių mokymosi algoritmus.

Šių sprendimų pritaikymas įgalina mašininį mokymąsi mokytis panaudojant įvairius kintamuosius ir pritaikant priskirtas sąlygas, kada krovimo sprendimas turi būti priimtas. Nustatyta, kad kuo technika sudėtingesnė, tuo geresni priimti optimizavimo sprendimai. Geriausi rezultatai pasiekti naudojant gilų neuroninį tinklą. Mašininis mokymasis automatiškai išmoksta priimti sprendimus įvertinęs silpnąsias ir stipriąsias prognozavimo savybes. Tai leidžia priimti personalizuotus elektromobilio naudotojo sprendimus ir suteikti lankstumo sistemai atsižvelgiant į vartotojo poreikius ir tikslus.

1.2.9. Vartotojų požiūrio keitimas

Vartotojui aktualu, kad norint sumažinti vartotojo išlaidas už elektros sąskaitą, tai būtų daroma nesumažinant įprasto komforto lygio ir tiekiamų energijos paslaugų kokybės. Tai galima pasiekti panaudojant tam tikras lanksčias vartotojo apkrovas. Akivaizdu, kad lankstumas priklausys nuo vartotojo įpročių ir ar vartotojas sutiks, kad automatinės sistemos reguliuotų jo suvartojimą. Paklausos lankstumo potencialas visoje Europoje yra labai didelis, tačiau jo įgalinimui reikia reguliuoti vartotojų apkrovas pagal gamybą ir tinklo pajėgumą beveik realiu laiku. Šiuo metu galiojanti teisinė sistema skatina AEI naudojimą, dėl ko papildomai apkraunamas tinklas ir reikalinga lankstumo technologija paklausos atžvilgiu. Kol kas vartotojai aktyvioje rinkoje yra pasyvūs (30). Vartotojai galėtų pradėti vykdyti tiesioginius sandorius, jei informacija apie realaus laiko kainas būtų

prieinama ir skaidri. Todėl pateikiama blokų grandinės idėja, kuri būtų pritaikoma elektros sektoriuje ir pakeistų vartotojus į aktyvius rinkos dalyvius. Nors viena vertus tai dar labiau paskatintų vartotojus, kita vertus tai neišvengiamai panaikintų jų dabartinį vaidmenį, nustatytą ES elektros energijos įstatyme. Išskiriami trys politiniai aspektai, kurie turėtų didelių pasekmių dabartiniams ES elektros energijos įstatymams. Visgi dėl blokų grandinių įvairovės neįmanoma nustatyti vieno sprendimo, kuris tiktų visoms situacijoms ES elektros energetikos sektoriuje. ES politika siekia suteikti daugiau galios vartotojams, tačiau reikalinga energetikos įstatymo evoliucija.

Pastaruoju metu pastebimas vartotojų vaidmens pasikeitimas iš pasyvaus vartotojo į vartotoją, pradedantį įsijungti į elektros generavimą. Lietuvoje daugėja saulės elektrinių ant nuosavų namų stogų ir populiarėja naujovė, kurią pristatė „Ignitis“ platforma „Ignitis saulės parkai“. Platformoje bet kuris gyventojas gali nusipirkti ar išsinuomoti nutolusią saulės elektrinę (31). Liberalizavus elektros rinką būtų galima teikti paklausos lankstumo ir balansavimo paslaugas, pavyzdžiui, Turkijoje 2017 metais buvo atlikta gyventojų apklausa ir net 78 proc. apklaustųjų sutiktų naudoti įrenginius kitu laiku, kad gautų mažesnes elektros sąskaitas (32).

1.3. Vartotojų lanksčios paklausos reakcijos charakteristikos

Vertinant elektros vartotojų lanksčios paklausos panaudojimą elektros energijos sistemoje dažniausiai išskiriami trys sektoriai: pramonės, paslaugų ir gyvenamųjų ūkių sektoriai. Intensyviausias yra pramonės sektorius, kuriame vyrauja pastovi apkrova, todėl įprastai lankstumo dalis yra sąlyginai maža (33). Paslaugų sektoriuje lanksčios apkrovos dalis yra tarp pramonės ir gyvenamųjų ūkių sektorių.

Gyvenamųjų ūkių sektorius išsiskiria tuo, kad jame yra didžiausia įrenginių įvairovė ir įrenginiai įjungiami atsitiktinai, o jų naudojimosi trukmė yra nepastovi. Vertinant visos elektros sistemos mastu bendroje buitinių vartotojų apkrovimo kreivėje galima išvelgti paros, savaitės ir sezoninį dėsningumą. Atsiranda galimybė apskaičiuoti prietaisų tikimybę ir nustatyti įrenginių naudojimo dėsningumą. 2018 metų spalio mėnesį Romoje F. Mancini's, G. L. Basso'as ir L. de Santoli's (34) atliko gyvenamųjų pastatų lanksčių apkrovų charakteristikų identifikavimo apklausą. Jos metu apklausta 412 namų ūkių. Detali elektros įrenginių apkrovimo analizė parodė, kad apie pusė namų ūkių (50,7 proc.) per metus gali pateikti mažiau nei 600 kW perkeliama apkrovos.

Tiesiogiai Lietuvai rezultatų pritaikyti negalime tiek dėl geografinių, tiek dėl demografinių skirtumų. Tačiau matome, kad išskiriami pagrindiniai buitinių vartotojų įrenginiai (34), kurie sutampa tarp skirtingų autorių publikacijų: G. G. Dranka'as, P. Ferreira (35). Pagrindiniai įrenginiai pagal lanksčios apkrovos galimybę gali būti skirstomi į neperkeliamą apkrovą, perkeliama bei energijos kaupimo (žr. 6 lentelę).

6 lentelė. Buitinių vartotojų įrenginių skirstymas pagal lanksčios apkrovos teikimo galimybę (35)

Neperkeliamą apkrovą	Perkeliamą apkrovą	Energijos kaupimas
Šaldiklis	Skalbimo mašinos	Elektrinis automobilis
Šaldytuvas	Džiovyklė	Elektrinis boileris
Signalizacija	Dulkių siurblys	Oro kondicionierius
Apšvietimas	Elektrinė viryklė	Šilumos siurblys
Kompiuteris	Elektrinė orkaitė	Baterijos
Televizorius	Indaplovė	

Tačiau galimas ir truputį platesnis kategorijų išskyrimas. Buitinių vartotojų prietaisų, kurie gali būti pritaikyti teikti lanksčią apkrovą, gali būti klasifikuojami į keturias kategorijas pagal valdymo tipą (36):

- nekontroliuojamos apkrovos yra tos, kurių valdymas gali sukelti vartotojo diskomfortą arba pasipiktinimą. Šiai kategorijai būtų galima priskirti apšvietimą, darbo ir pramogų įrangą, maisto ruošimo įrangą;
- keičiamų parametrų apkrovos yra tos, kurios valdomos termostatu ir kurių parametrus galima reguliuoti nesukeliant diskomforto vartotojui;
- pertraukiamos apkrovos, tai apkrovos, kurias galima pertraukti trumpam laikotarpiui nesukeliant diskomforto;
- perkeliama apkrovos, tai tos, kurių veikimas gali būti atidėtas ar paankstintas priklausomai nuo vartotojo poreikių, bet nesukeliant diskomforto.

Buitiniai prietaisai su automatinio valdymo funkcija dažniausiai turi natūralų terminį kaupimą ir veikia su pertraukimais. Jiems nereikalingas vartotojų įsitraukimas į kiekvieno įrenginio veikimą, todėl tokie elektros prietaisai gali būti pritaikomi lanksčiai paklausai teikti. Patalpų šildymas dabar greičiausiai prieinamas variantas vykdyti paklausos reakciją, nes pasižymi didele galia ir gali būti valdomas radijo ryšiu arba elektroninėmis pulsacijomis (37). STO galėtų perduoti vartojimo intervalus vandens boileriams ir patalpų šildymui. Tinklo operatorius gali apjungti skirtingų vartotojų galias, kad pasiektų reikiamą apkrovos lygį tinkle ir vartotojai nepatirtų diskomforto.

Prietaisai su pusiau automatiniu valdymu gali įsijungti automatiškai, tačiau reikia vartotojo įsitraukimo, nes, pavyzdžiui, skalbimo mašina turi būti pakrauta rūbais (skalbimo mašinos, skalbinių džiovyklės, indaplovės). Lanksčiai apkrovai pasiekti, vartotojas prietaise turi įjungti parengties režimą ir nustatyti vėliausią jam priimtina veikimo pabaigos laiką. Prietaisas pradės veikti vartotojo nustatytu laiku.

Nekontroliuojamiems prietaisams galima priskirti daugumą namuose esančių įrenginių. Juose integravus PR, vartotojai pajautų diskomfortą. Prie šių prietaisų grupės galima priskirti virykles, dulkių siurblius. Apšvietimas, televizija ar kompiuteriai galėtų suteikti lankstumo sumažinus jų naudojimą.

Apibendrinant lanksčiai PR tinkamų namų ūkiuose naudojamų įrenginių kategorijas, pagrindiniai įrenginiai su techninėmis savybėmis pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Namų ūkiuose naudojami įrenginiai galimai PR (A – aukštas, V – vidutinis, Ž – žemas) (38)

Paprastos paklausos reakcijos galimybės	Prietaisas	Apkrova	Naudojimosi dažnumas	Perkėlimo trukmė	Vartotojų patogumas	Apkrovos valdymas
Naudojimo laiko pakeitimas	Šaldytuvas	Ž	A	Ž	A	Automatinis
	Šaldiklis	Ž	A	Ž	A	Automatinis
	Vandens boileris	A	V	A	A	Automatinis
	Patalpų šildymas	A	V	A	A	Automatinis
	Oro kondicionierius	A	V	A	A	Automatinis
	Indaplovė	V	Ž	V	V	Pusiau automatinis

Naudojimo laiko ir paslaugos pakeitimas	Skalbimo mašina	V	Ž	V	V	Pusiau automatinis
	Skalbinių džiovyklė	V	Ž	V	V	Pusiau automatinis
	Elektrinė viryklė ir orkaitė	A	V	Ž	Ž	Nėra
	Dulkių siurblys	V	Ž	Ž	Ž	Nėra
Mažinimas	Apšvietimas	Ž	V	Ž	Ž	Nėra
	Televizorius	Ž	V	Ž	Ž	Nėra

Paklausos reakcijoje nevertinami įrenginiai su žemu vartotojų patogumu, nes tai neprisidėtų prie vartotojų įsitraukimo lanksčiai vartoti.

1.4. Teorinis paklausos lankstumo įsitraukimas Lietuvoje

Lietuvoje vartotojų lankstumas nebuvo pakankamai tirtas, todėl dauguma prietaisų, metodikų ir parametru reikia lyginti pagal kitų Europos šalių patirtis. Teorinė lanksčios paklausos apžvalga šiaurės Europoje buvo atlikta 2018 metais (39). Su tam tikromis prielaidomis pateiktas maksimalus piko apkrovos sumažėjimas įmanomas 77–100 MW arba 6 proc. Tačiau duomenys yra surinkti 2010 metais. Matome, kad pramonės sektorius nėra pagrindinis lanksčios paklausos teikėjas. Lietuvoje potencialus gyvenamųjų namų sektoriui turėtų beveik pusę paklausos reakcijos potencialo 143–1 034 MW, tačiau nebuvo įvertintas realistinių techninių sistemų trūkumas. Kol kas didžiausią paklausos reakcijos potencialą po gyvenamųjų namų turi paslaugų sektorius 30–40 proc. Teorinės šio sektoriaus ribos 72–82 MW. Paklausos reakcijos potencialas pagal sektorių Lietuvoje pateiktas 8 lentelėje.

8 lentelė. Paklausos reakcijos potencialas pagal sektorių (39).

Sektorius	Paklausos reakcijos potencialas (MW)	Piko apkrovos dalis (%)
Pramonė	8–18	1
Gyvenamieji būstai	0	0
Paslaugų sektorius	72–82	5
Iš viso	77–100	6

Lyginant Lietuvą su kitomis Europos valstybėmis, matomas atotrūkis. Pavyzdžiui, vertinant ilgalaikę elektros paklausos lankstumo teikimo perspektyvą. Dešimties daugiausiai PR turinčių galimybių šalių duomenys su galingumais pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. 10 daugiausiai PR pajėgumų turinčios valstybės 2050 ir 2015 metais (40)

Šalis	Paklausos reakcija 2050 m. (GW)	Paklausos reakcija 2015 m. (GW)	Paklausos santykis su piku (%)
Italija	21,7	0	31
Ispanija	15,6	1,1	29,6
Prancūzija	8,5	1,3	6,8
Vokietija	7,6	0,4	6,5
Graikija	4,6	0	38,6
Didžioji Britanija	4,5	0,7	5,4
Rumunija	3	0	25,2
Vengrija	3	0	40,8
Portugalija	2,6	0	27,1

Švedija	2,2	0,1	6,6
Europa	91	4,2	14,5

Taigi apžvelgus teorinę dalį galima teigti, kad Lietuvoje vartotojų įtraukimo į lankstų elektros sistemos valdymą tyrimų nėra atlikta pakankamai. Kiekvienos šalies situacija yra kitokia. Literatūroje priemonių, kaip vartotojai galėtų teikti paklausos valdymą, įvardijama daug. Atliekami skaičiavimai gali būti gana sunkūs ir gana paprasti. Šiam tikslui pritaikomi Europoje nagrinėjami metodai, kaip įtraukti vartotojus prisidėti prie lankstaus elektros sistemos valdymo. Svarbu suprasti, kokie vartotojų įrenginiai yra tinkami lanksčiam sistemos valdymui ir kokios jų galimybės.

2. Elektros vartotojų, galinčių lanksčiai reaguoti, masto ir įtakos nustatymo metodika

Lietuvai artimiausi ir geriausiai pritaikomi elektros paklausos valdymo modeliai gali būti parenkami pagal jau tirtus ar pritaikytus modelius Europoje. Modeliai gali būti ir panašūs, ir tuo pat metu skirtingi. Tačiau Lietuvos namų ūkiuose stambių elektros prietaisų tokių, kaip šilumos siurbliai, dar nėra labai daug. Būtų logiška elektros energijos vartotojus apjungti į panašių elektros įrenginių grupes, taip sudarant paprastesnes prognozes ir lengviau diegiant paklausos valdymo priemones. Be to, galime pastebėti, kad daugiausia dėmesio skiriama naujiems kainodaros modeliams, kad vartotojus įtraukti į elektros energijos lankstų valdymą būtų lengviau. Tyrime vartotojų lanksčios apkrovos nustatymui naudojami statistiniai duomenys yra paimti iš 2014–2018 metų. Pradžiai nuo 2014 metų pasirinkta todėl, kad prasidėjo spartesnis AEI diegimas. Skaičiavimai ir rezultatai atliekami keliais pjūviais: metų, mėnesio ir dienos. Sudarant profilius ir atliekant jų skaičiavimus taip bus analizuojami valandiniai profiliai iš surinktos literatūros. Skaičiavimams apdoroti ir rezultatams pateikti buvo panaudotos „Excel“ ir „MATLAB“ programos. Daroma prielaida, kad pagrindinė paklausos lankstumo Lietuvoje galimybė yra perkelti piko apkrovos dalį į laiką, kai apkrova būna mažesnė.

2.1. Vartotojų lanksčios paklausos potencialo nustatymo eiga

Teorinėje dalyje buvo pateikti kitų valstybių pavyzdžiai, tačiau reikia patikrinti, kiek teorinio potencialo yra Lietuvoje, todėl reikia aprašyti potencialo apskaičiavimo eiliškumą:

- rasti visą instaliuotą vartotojų pajėgumą;
- rasti teorinį potencialą, kuris yra paklausos reakcijos didžiausias pajėgumas.

Teorinio paklausos valdymo potencialui nustatyti reikalingi šie žingsniai: galimų procesų ir įrenginių, kurie būtų tinkami PR atskiram sektoriui, identifikavimas; metinės elektros paklausos bei maksimalių pajėgumų apskaičiavimas; paros apkrovos grafiko nustatymas kiekvienam procesui; valandinės elektros paklausos apskaičiavimas; procentinės lanksčios paklausos nustatymas kiekvienam procesui ar įrenginiui; galiausiai bendro teorinio vartojimo reakcijos potencialo kiekvienam sektoriui sudarymas.

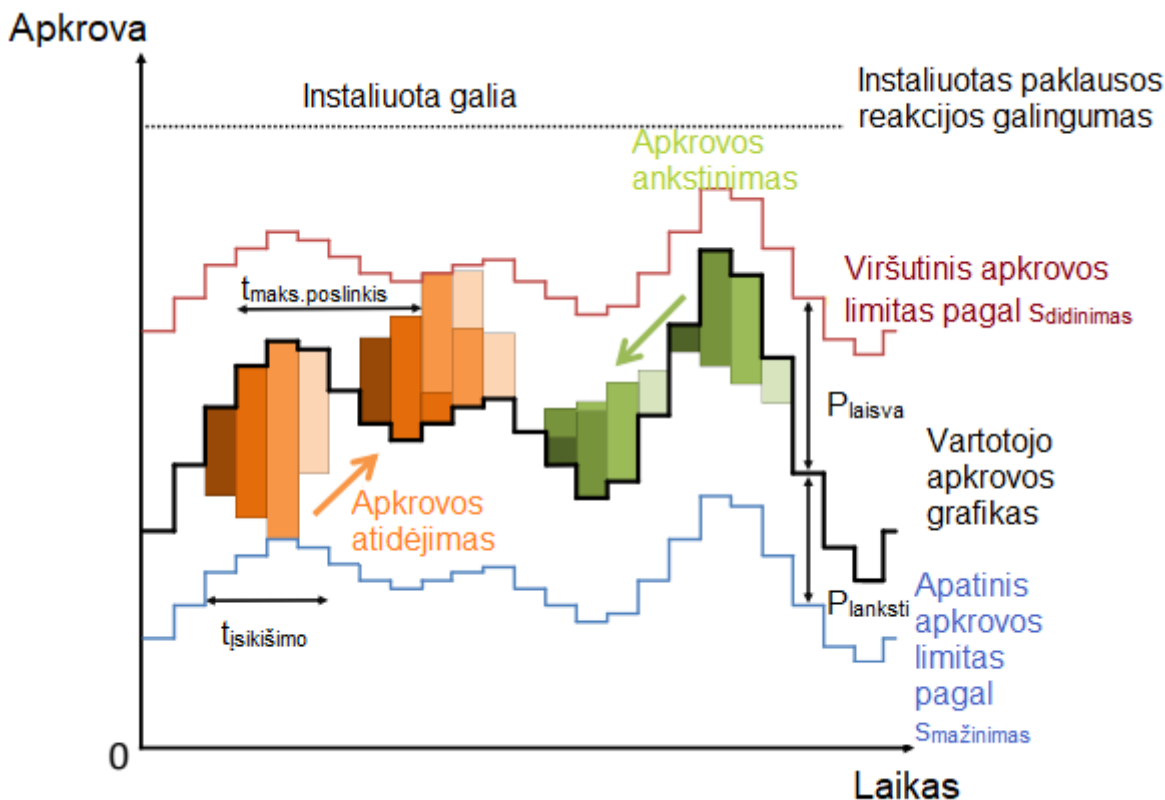
Teorinį potencialą pagal autorius G. G. Dranka'ą ir P. Ferreira'ą (35) reikia apskaičiuoti kiekvienam sektoriui atskirai apskaičiuojant metinį suvartojimą ir maksimalius instaliuotus pajėgumus. Pagrindiniai procesai, kurie gali būti panaudoti paklausos valdymui, sugrupuojami į gyvenamųjų būstų, pramonės ir prekybos sektorius įvertinant Lietuvos atvejį (žr. 10 lentelę).

10 lentelė. Pagrindinių procesų sugrupavimas (35)

Gyvenamieji būstai	Pramonė	Paslaugos
Oro kondicionavimas	Popieriaus mašinos	Oro kondicionavimas
Skalbimo mašinos	Nemetalų mineralai	Ventiliacija
Džiovyklės	Chemija	Šaldymo įranga
Indaplovės	Geležis ir plienas	Vandens talpyklų šildytuvai
Vandens šildytuvai	Medžio produktai	Talpyklų šildytuvai
Šaldytuvai ir šaldikliai	Makulatūros apdorojimas	Vandens tiekimo siurbliai
Šildymo sistemos su elektriniais boileriais	Cemento gamyba	Šaldomieji sandėliai

Lietuvos atvejui pritaikoma autorių (35) paklausos reakcijos teikimo potencialo skaičiavimo metodika, nes reikalingi duomenys yra gana paprastai išskaičiuojami arba randami „Oficialios

statistikos portale“ ir kitoje literatūroje. Skaičiavimai atliekami priimanč, kad proceso / įrenginio k kiekviename sektoriuje elektros apkrovos gali būti arba paankstintos, arba atidėtos, arba ir paankstintos ir atidėtos. Energijos paklausos lankstumas gali būti prilyginamas funkcionaliai energijos saugykiai, kuri turi ribotą veikimo laiką (žr. 8 paveikslą). Čia maksimali paklausos reakcijos trukmė $t_{įsikišimo}$ su maksimaliu perkėlimo laiku $t_{maks.poslinkis}$ perkėlimo trukmė apibrėžia laiką, per kurį paankstinta ar pavėlinta apkrova vėl turi būti subalansuota (41).



8 pav. Vartotojų paklausos reakcijos apkrovos grafikas su galimais veiksmais (41)

2.2. Paklausos reakcijos vartotojų apkrovimų nustatymas

Įvertinant, kad metinis paklausos reakcijos ištraukimo skaičius ribotas (n_{met}) ir dažniausiai priklauso nuo procesų ciklų, fizinio bei terminio kaupimo ištraukimo, perkėlimo laikai ($t_{perkėlim.}$) ir paklausos reakcijos dažnumas apibendrinti ir pateikti 11 lentelėje (41). Pagrindiniai procesai priklauso nuo laiko ($d(t)$), bet oro kondicionieriai ir šildymo sistemos priklauso dar ir nuo lauko temperatūros. Visiems vartotojams, galintiems teikti paklausos reakciją nustatomos valandinės dalys metiniame elektros suvartojime. Pramonės sektoriuje vyksta daug energijos suvartojantys gamybos procesai, todėl normaliomis darbo sąlygomis jų išnaudojimo procentas yra didelis (42). Parenkama pastovi apkrova visoms valandoms metuose. Išimtis yra cemento gamyboje, nes išnaudojimas svyruoja tarp 40 proc. ir 100 proc. Paslaugų sektoriaus suvartojimo duomenims pritaikysime ekstrapoliaciją pagal apklausą. ES atliktoje apklausoje 2012 metais komercinio sektoriaus elektros suvartojimas paskirstomas į 19,7 proc. patalpų šildymui ir karštam vandeniui, 12,47 proc. ventiliacijai, 5,6 proc. siurbliams, 8,7 proc. aušinimui (43). Todėl daroma prielaida, kad šis pasiskirstymas galioja ir Lietuvoje. Paklausos valdymas galimas perkeliant apkrovas į kitą laiką. Skalavimo mašinų, džioviklių ir indaplovių naudojimas labiausiai priklauso nuo vartotojų rutinos, todėl $t_{įsikišimo}$ yra neapibrėžtas. Vartojimo apkrovimo profiliai sudaromi skirtingoms savaitės dienoms ir sezonams. Apibendrinti

vartotojų valandiniai apkrovimai pagal sezoną ir dieną lyginant su pikine apkrova pateikti 1–6 prieduose.

11 lentelė. Elektros vartotojų procesai, tinkami paklausos valdymui (33; 44).

Procesas / Įrenginys	Paklausos reakcijos veiksmas	$t_{\text{perkėlim.}}$ h	$t_{\text{įsikišim.}}$ h	$n_{\text{met.}}$	d(t)
Pramonės sektorius					
Popieriaus mašinos	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Nemetalų mineralai	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Chemija	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Geležis ir plienas	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Medžio produktai	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Cemento gamyba	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Sezoninis/valandinis
Makulatūros apdorojimas	Ankstinimas/Vėlinimas	24	3	365	Ne
Paslaugų sektorius					
Oro kondicionavimas	Vėlinimas	2	1	1 095	Valandinis
Ventiliacija	Vėlinimas	2	1	1 095	Dienos/Valandinis
Šaldymo įranga	Vėlinimas	2	1	1 095	Dienos/Valandinis
Vandens talpyklų šildytuvai	Ankstinimas	12	12	1 095	Valandinis
Talpyklų šildytuvai	Ankstinimas	12	12	1 095	Valandinis
Nuotekų valymas	Ankstinimas/Vėlinimas	2	2	1 095	Ne
Vandens tiekimo siurbiai	Ankstinimas/Vėlinimas	2	2	1 095	Valandinis
Gyvenamųjų būstų sektorius					
Oro kondicionavimas	Vėlinimas	2	1	1 095	Valandinis
Skalbimo mašinos, džiovyklės, indaplovės	Ankstinimas/Vėlinimas	6	∞	∞	Sezoninis/dieninis/valandinis
Vandens šildytuvai	Ankstinimas	12	12	1 095	Valandinis
Šaldytuvai ir šaldikliai	Vėlinimas	2	1	1 095	Valandinis
Šildymo sistemos	Ankstinimas	12	12	1 095	Sezoninis/valandinis

2.2.1. Pramonės sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas

Pramonės sektoriaus metinis elektros energijos suvartojimas apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$E_{\text{metų}_\text{pram}}^k = A_{\text{metų}}^k \cdot E_{\text{spec}}^k \cdot S_{\text{išnaud.}}^k; \quad (1)$$

čia $E_{\text{metų}_\text{pram}}^k$ – pramonės sektoriaus metinis elektros suvartojimas; $A_{\text{metų}}^k$ – gamybos pajėgumai; E_{spec}^k – konkretus energijos suvartojimas; $S_{\text{išnaud.}}^k$ – pajėgumų išnaudojimo lygis.

Pramonės sektoriaus maksimali instaliuota galia apskaičiuojama pagal (2) formulę:

$$P_{\text{maks.}_\text{pram.}}^k = \frac{E_{\text{metų}_\text{pram}}^k}{N_{h_\text{metų}} \cdot (1 - f_{\text{išnaud.}}^k) \cdot S_{\text{išnaud.}}^k}; \quad (2)$$

čia $P_{maks_pram}^k$ – pramonės sektoriaus maksimalus galingumas; $N_{h_metų}$ – valandų skaičius metuose; $f_{išnaud.}^k$ – revizijų nutraukimai; $s_{išnaud.}^k$ – pajėgumų išnaudojimo lygis.

Pramonės sektoriaus metiniams pajėgumams apskaičiuoti naudosime apibendrintus oficialios statistikos departamento duomenis. Jie pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Pramonės sektoriaus gamybos pajėgumai per metus (sudaryta autoriaus pagal (8))

Metai	2014	2015	2016	2017	2018
Procesas	$A_{metų, Mt}$	$A_{metų, Mt}$	$A_{metų, Mt}$	$A_{metų, Mt}$	$A_{metų, Mt}$
Popieriaus mašinos	0,125209	0,127599	0,109376	0,159544	0,148895
Nemetalų mineralai	2,7375	2,449464	2,904822	2,978584	3,100929
Chemija	2,112573	2,175897	2,120456	2,679697	2,530688
Geležis ir plienas	0,111492	0,107609	0,107693	0,106594	0,092359
Medžio produktai	12,83746	13,15412	13,77397	13,49328	13,30409
Cemento gamyba	0,902733	0,979565	1,009936	1,023437	1,150635
Makulatūros apdorojimas	0,04	0,04	0,0782	0,0893	0,0925

Kiti reikalingi parametrai skaičiavimams atlikti pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Kiti pramonės sektoriaus rodikliai (44)

Procesas	$E_{spec, kWh}$	$f_{išnaud, proc.}$	$s_{išnaud, proc.}$	$S_{mažin, proc.}$	$S_{didinim, proc.}$
Popieriaus mašinos	425	2	90	70	100
Nemetalų mineralai	2 100	5	95	50	0
Chemija	3 100	5	80	0	100
Geležis ir plienas	525	5	100	0	0
Medžio produktai	1 500	5	80	0	100
Cemento gamyba	110	5	80	50	100
Makulatūros apdorojimas	250	5	80	0	100

2.2.2. Paslaugų sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas

Paslaugų sektorius unikalus tuo, kad duomenų yra labai mažai, daug procesų tarpusavyje susiję, todėl dažnai naudojamas visas sektoriaus elektros energijos suvartojimas.

Paslaugų sektoriaus metinis elektros energijos suvartojimas randamas pagal (3) formulę:

$$E_{metų_paslaug.}^k = E_{paslaug.}^k \cdot s_{paslaug.}^k; \quad (3)$$

čia $E_{metų_paslaug.}^k$ – paslaugų sektoriaus metinis elektros suvartojimas; $E_{paslaug.}^k$ – paslaugų sektoriaus suvartojimas; $s_{paslaug.}^k$ – vidutinė paklausos dalis.

Paslaugų sektoriaus maksimali instaliuota galia randama pagal (4) formulę:

$$P_{maks_paslaug.}^k = \frac{E_{metų_paslaug.}^k}{n_{išnaud.}^k}; \quad (4)$$

čia $E_{metų_pram}^k$ – pramonės sektoriaus metinis elektros suvartojimas; $n_{išnaud.}^k$ – pilnos apkrovos valandų skaičius.

Skaičiavimams reikiamos vertės sudaromos pagal (41; 8) ir pateikiamos 14 lentelėje.

14 lentelė. Pramonės sektoriaus parametrai skaičiavimams (Parengta autoriaus pagal (41; 8))

Procesas	Spaslaug, proc.	n PAV	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.	Smaž, proc.	Sdidin, proc.
Oro kondicionavimas	0,02	204	0,088827	0,090422	0,095613	0,097353	0,102631	100	100
Ventiliacija	0,126	4 380	0,376749	0,383514	0,405531	0,412911	0,435297	50	0
Šaldymo įranga	0,065	5 840	0,266481	0,271266	0,286839	0,292059	0,307893	50	90
Vandens tiekimo siurbliai	0,03	4 380	0,171528	0,174608	0,184632	0,187992	0,198184	100	100
Vandens talpyklų šildytuvai	0,015	4 271	0,603411	0,614246	0,649509	0,661329	0,697183	0	100

2.2.3. Gyvenamųjų ūkių sektoriaus teorinis paklausos reakcijos skaičiavimas

Gyvenamųjų ūkių sektoriaus skaičiavimams didelę įtaką turi naudojamų įrenginių įvairovė. 12 lentelėje išrinktų galimų paklausos valdymo įrenginių charakteristikos gali būti labai skirtingos, todėl kai kurioms charakteristikoms teks daryti prielaidas (pavyzdžiui, įrenginio galia, efektyvumas). Šioms charakteristikoms sudaryti imamos vidutinės reikšmės. Tačiau pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis (žr. 15 lentelę) galime matyti, kad karšto vandens ruošimui ir patalpų šildymui elektros energijos suvartojimas yra išskirtas. Matome, kad nors ir gyventojų skaičius Lietuvoje mažėja, tačiau buitiniai vartotojų elektros sąnaudos kiekvienais metais auga, pavyzdžiui, nuo 2014 iki 2018 metų elektros energijos suvartojimas būstui šildyti išaugo beveik 14,5 proc. Lentelės duomenys bus naudojami skaičiavimo rezultatų tikrinimui. Skaičiavimuose priimame, kad visi gyvenamieji būstai, turintys lentelėje pateiktus elektros prietaisus, gali teikti lanksčią paklausą.

15 lentelė. Energijos suvartojimo namų ūkiuose kryptys (8)

Kryptys		2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
Elektros energija, GWh	Visos panaudojimo kryptys	2 656,2	2 660	2 775	2 837,6	2 984,5
	Būstui šildyti	140,8	141	141,5	150,4	161,2
	Karštam vandeniui ruošti	154,1	151,6	152,7	147,6	149,2
	Maistui gaminti	180,6	175,6	185,9	170,2	176,1
	Apšvietimo ir elektros prietaisams	2 180,7	2 192	2 294,9	2 369,4	2 498

Gyvenamųjų būstų skaičiavimas nuo kitų sektorių skiriasi tuo, kad įvertinamas gyvenamųjų būstų skaičius. Šio sektoriaus metinis elektros energijos suvartojimas randamas pagal (5) formulę:

$$E_{metų_{namų}}^k = n_{namai} \cdot f_{išiskverb.}^k \cdot E_{įreng.}^k; \quad (5)$$

čia $E_{metų_{namų}}^k$ – gyvenamųjų būstų sektoriaus metinis elektros suvartojimas; n_{namai} – namų ūkių skaičius; $f_{išiskverb.}^k$ – kiekvieno prietaiso rinkos išiskverbimas procentais; $E_{įreng.}^k$ – atskiro prietaiso elektros suvartojimas.

Būstų skaičius n_{namai} imamas iš Lietuvos statistikos departamento ir matome, kad kiekvienais metais būstų skaičius auga (žr. 16 lentelę). Dėl riboto duomenų skaičiaus priimame, kad nuo 2014 iki 2018 metų individualiai apšildomų būstų procentas nekito.

16 lentelė. Būstų skaičius metų pabaigoje Lietuvoje

Metai	2014	2015	2016	2017	2018
Būstų skaičius, vnt.	1 403 787	1 413 994	1 428 007	1 445 099	1 451 460

$E_{\text{įreng.}}^k$ šildymui, karšto vandens gamybai ir oro kondicionieriams elektros suvartojimas randamas padauginus įrenginio galią iš pilnos apkrovos valandų skaičiaus n_{PAV} (žr. (6) formulę):

$$E_{\text{įreng.}}^k = n_{PAV} \cdot P_{\text{įreng.}}^k \quad (6)$$

$E_{\text{įreng.}}^k$ plovimo įrangai tokiai, kaip skalbimo mašinos, džiovyklės ir indaplovės elektros suvartojimas įvertinus naudojimo ciklus. Skaičiavimuose įvertinama vidutinė apkrova per ciklą, ciklų dažnis bei vidutinė įrenginio naudojimo trukmė.

$$E_{\text{įreng.}}^k = t_{\text{ciklo}}^k \cdot P_{\text{ciklo}}^k \cdot n_{\text{ciklų}}^k \quad (7)$$

čia t_{ciklo}^k – veikimo ciklo trukmė; P_{ciklo}^k – įrenginio veikimo ciklo galia; $n_{\text{ciklų}}^k$ – ciklų skaičius per metus.

Gyvenamojo būsto sektoriaus maksimali instaliuota galia randama pagal 8 formulę:

$$P_{\text{maks. namų}}^k = n_{\text{namai}} \cdot f_{\text{išnaud.}}^k \cdot P_{\text{išnaud.}}^k \quad (8)$$

čia $P_{\text{maks. namų}}^k$ – gyvenamųjų būstų instaliuotas maksimalus pajėgumas; n_{namai} – namų ūkių skaičius; $P_{\text{išiskverb.}}^k$ – atskiro prietaiso elektros pajėgumas.

Kiekvieno vertinamo namų ūkio prietaiso k įsiskverbimo į rinką procentas $f_{\text{išiskverb.}}^k$ pagal oficialios statistikos portalo duomenis pateiktas 17 lentelėje.

17 lentelė. Gyvenamųjų ūkių prietaisų rinkos įsiskverbimas procentais (8) (45)

$f_{\text{išnaud.}}^{\text{šaldykl.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{šaldytuv.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{skalbm.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{džiovykl.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{indapl.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{kondic.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{boiler.}}$	$f_{\text{išnaud.}}^{\text{patalp.šildym.}}$
25 %	95 %	85 %	20 %	7 %	2 %	22 %	10 %

Kiekvieno vertinamo namų ūkio prietaiso k duomenys surinkti ir pateikti 18 lentelėje.

18 lentelė. Gyvenamųjų ūkių prietaisų rinkos įsiskverbimas procentais (45; 46; 8; 47)

Įrenginys / procesas	$P_{\text{įreng.}}$, kW	$E_{\text{ireng.}}$, kWh	$n_{\text{pav.}}$, h	$E_{\text{ireng.}}$, kWh	P_{ciklo} , kW	t_{ciklo} , h	$n_{\text{ciklų}}$
Oro kondicionavimas	1,65	336,6	204	-	-	-	-
Skalbimo mašinos	0,68	115	255,5	148,92	0,68	1,5	146
Džiovyklės	1,1	224,4	204	224,4	1,1	2	102
Indaplovės	0,65	270	416	270,4	0,65	2	208
Vandens šildytuvai	2	500	250	-	-	-	-
Šaldytuvai	0,05	350	650	-	-	-	-
Patalpų šildymas	7	1 000	650	-	-	-	-

2.2.4. Nuo temperatūros priklausantis apkrovimas

Pramonės, paslaugų ir gyvenamųjų būstų sektorių paklausos valdymo potencialui nustatyti reikia įvertinti ir vartotojų apkrovimą.

Pagal autorius J. A. Azevedo'ą, Lee Chapman'ą ir C. L. Muller'į (48) oro kondicionierių, elektrinių patalpų šildymo bei vandens boilerių energijos suvartojimas stipriai koreliuoja su lauko temperatūra. Stipriausia koreliacija tarp oro kondicionieriaus elektros sąnaudų ir temperatūros. Koreliacija priklauso nuo pasirinktos bazinės temperatūros. Skaičiuojant šilumos energijos paklausą kiekvienai dienai reikia įvertinti šildymą laipsniais per parą (HDD), o vertinant oro kondicionieriaus veikimą – vėsinimą laipsniais per parą (CDD). Lietuvoje yra įprasta skaičiuoti bazinę temperatūrą CDD $T_{vės} = 22^{\circ}\text{C}$, o HDD $T_{šild} = 15,5^{\circ}\text{C}$ pagal Europos aplinkos agentūros metodiką (49). Pirmiausia suskaičiuojame kiekvienos dienos vidutinę temperatūrą, kuri yra gaunama skaičiuojant vidurkį tarp paros maksimalios ir minimalios temperatūros. Ji naudojama skaičiuojant tiek HDD, tiek CDD. Skaičiavimuose pasirenkama, kad naudosime Kauno miesto temperatūros duomenis. Minimalios ir maksimalios temperatūros gautos iš *OpenWeatherMap*. Vidutinei dienos temperatūrai gauti apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis pagal 9 formulę:

$$T_{vid} = \frac{(T_{maks} - T_{min})}{2}; \quad (9)$$

čia T_{vid} – vidutinė lauko temperatūra, T_{maks} – maksimali lauko temperatūra, T_{min} – vidutinė lauko temperatūra.

CDD skaičiuojama iš vidutinės temperatūros atimant bazinę temperatūrą pagal (10) formulę:

$$n_{CDD} = T_{vid} - T_{vės} \quad (10)$$

Skaičiuojant CDD per tam tikrą periodą sumuojamos visos teigiamos CDD reikšmės pagal (11) formulę:

$$CDD = \sum (n_{CDD} \geq 0) \quad (11)$$

HDD skaičiuojama iš bazinės atimant vidutinę temperatūrą pagal (12) formulę:

$$x = T_{šild} - T_{vid} \quad (12)$$

Skaičiuojant HDD per tam tikrą periodą sumuojamos visos teigiamos HDD reikšmės (žr. (13) formulę):

$$HDD = \sum (x \geq 0) \quad (13)$$

Metinis šilumos suvartojimas kiekvienai parai apskaičiuojamas pagal prailgintų laipsniadienių metodą. Jis sudaromas ne tik iš atitinkamos dienos HDD skaičiaus, bet ir iš prieš tai buvusių šešių dienų a pagal (14) formulę:

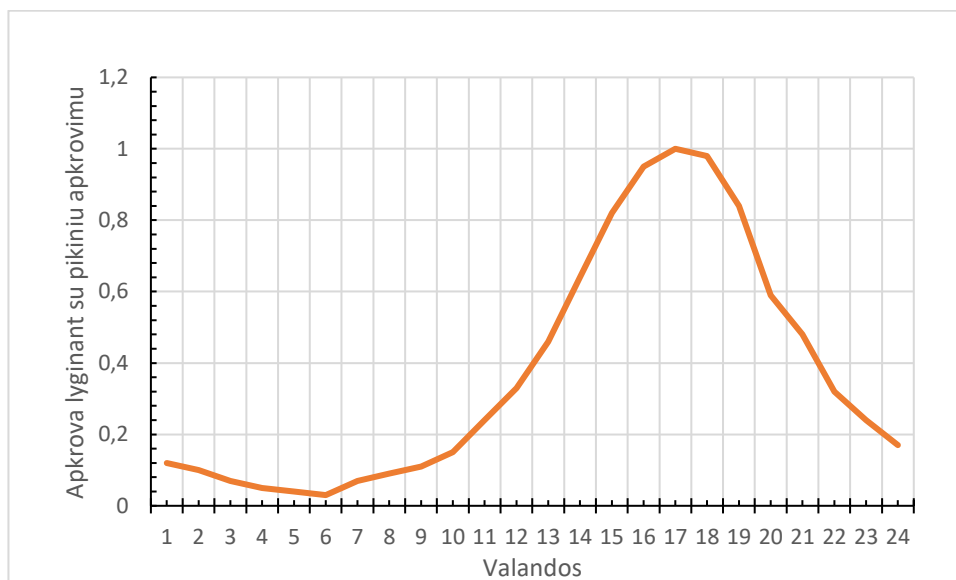
$$Q_d = \frac{\sum_{a=0}^6 \frac{1}{2^a} n_{HDD.d-a}}{\sum_{a=0}^6 \frac{1}{2^a} \cdot \sum_{d=1}^{365} n_{HDD.d}} \cdot Q_{metų}; \quad (14)$$

čia Q_d – dienos šilumos poreikis, $Q_{metų}$ – metinis šilumos poreikis.

Metinio vėsinimo suvartojimas kiekvienai parai apskaičiuojamas taip pat, tik šiuo atveju imama tik viena prieš tai buvusi diena pagal (15) formulę:

$$Q_d = \frac{\sum_{a=0}^1 \frac{1}{2^a} n_{CDD.d-a}}{\sum_{a=0}^1 \frac{1}{2^a} \cdot \sum_{d=1}^{365} n_{CDD.d}} \cdot Q_{metų} \quad (15)$$

Priimama, kad oro kondicionieriaus paklausos pikas yra antroje dienos pusėje, o paros apkrovos kreivė parenkama pagal R. Stammering'io ir jo komandos atliktus matavimus ir apibendrintus duomenis (žr. 9 pav.) (50).



9 pav. Vidutinė oro kondicionieriaus paros apkrovos kreivė (50)

Metinius šildymo laipsniais per parą duomenis galima rasti „Eurostat“, tačiau valandinės ir metinės vertės apskaičiuojamos pagal jau aprašytas 10–13 formules (žr. 19 lentelę).

19 lentelė. Šildymas laipsniais per parą (41)

Metai	2014	2015	2016	2017	2018
Šildymas laipsniais per parą	3 726,64	3 523,31	3 826,89	3 830,39	3 696,08

Metinius vėsinimo laipsniais per parą duomenis galima naudoti irgi iš „Eurostat“, tačiau valandinės ir metinės vertės apskaičiuojamos pagal jau aprašytas 10–13 formules (žr. 20 lentelę).

20 lentelė. Vėsinimas laipsniais per parą (41)

Metai	2014	2015	2016	2017	2018
Vėsinimas laipsniais per parą	24,73	15,41	7,48	4,63	24,68

Kadangi tarp 2014 ir 2018 metų Lietuvoje šildymas laipsniais per parą yra tarp 3 000 ir 4 000, tai pilnos apkrovos valandos vandeniui šildyti $n_{boiler.}$ yra 250 val. per metus (žr. 21 lentelę), o patalpų šildymo pilnos apkrovos valandų skaičius $n_{pat.šild.}$ yra 650 val.

21 lentelė. Karšto vandens boilerių ir patalpų šildymo pilnos apkrovos valandų skaičius (41)

Šildymas laipsniais per parą (HDD)	$n_{boiler., val}$	$n_{pat.šild., val}$
≤ 1 000	175	200
≤ 2 000	200	350
≤ 3 000	225	500

≤ 4 000	250	650
> 4 000	275	800

Vėsinimas laipsniais per parą yra mažesnis nei 100, todėl paslaugų sektoriaus oro kondicionierių dalis viso elektros suvartojime $S_{paklausa}^{kondicion.}$ yra 0,5 proc. (žr. 22 lentelę).

22 lentelė. Oro kondicionierių dalis paslaugų sektoriaus elektros suvartojime pagal CCD (41)

Vėsinimas laipsniais per parą (CDD)	$S_{paklausa}^{kondicion.}$, proc.
< 100	0,5
< 200	1,0
< 300	2,0
< 400	3,0
< 500	4,0
< 600	5,5
< 700	7,0
< 800	8,5
< 1 000	10,0
≥ 1 000	12,0

Analizuojant vartotojų paklausos reakcijos potencialą prireiks įvertinti vartotojų apkrovos profilius. Konkrečių apkrovos grafikų nėra, todėl naudosime pavyzdinius apkrovos profilius (žr. 1–7 priedus).

Valandinė elektros energijos paklausa apskaičiuojama pagal (16) formulę:

$$E_{valandinis_namų}^k = \frac{E_{metų_prekyb.}^k \cdot D_{profilis}^k}{n_{išnaud.}^k}; \quad (16)$$

čia $E_{valandinis_namų}^k$ – valandos elektros paklausa; D^k – lanksčios paklausos procentas.

Visas teorinis valandinis paklausos reakcijos potencialas kiekviename sektoriuje apskaičiuojamas pagal (17) formulę:

$$E_{valandinis(i)}^k = \sum_{k=1}^N (E_{valandinis}^k \cdot FD^k) \quad \forall k, i (GWh); \quad (17)$$

čia $E_{valandinis}^k$ – valandos elektros paklausa; FD^k – lanksčios paklausos procentas.

Priimama, kad visų gyvenamųjų ūkių ir paslaugų paklausos reakcijos $S_{mažinimo}$ ir $S_{didinimo}$ gali būti prilyginamos 100 proc. Galimos perkelti apkrovos į ankstesnį laiką apkrovimas skaičiuojamas pagal 18 formulę:

$$P_{lankst.}^k(t, \vartheta) = \underbrace{d^k(t, \vartheta)}_{\text{Apkrova laike } t} \cdot E_{metų}^k \cdot \underbrace{S_{mažinimo}^k}_{\text{Perkeliama dalis}} \quad (18)$$

Galimos perkelti apkrovos į ankstesnį laiką apkrovimas skaičiuojamas pagal 19 formulę:

$$P_{laisva}^k(t, \vartheta) = \frac{(P_{maks}^k - d^k(t, \vartheta) \cdot E_{metu}^k)}{\text{Neišnaudotas pajėgumas}} \cdot \frac{S_{didinimo}^k}{\text{Perkeliama dalis}} \quad (19)$$

Vertinant tik pramonės sektorių taikoma 20 formulė:

$$P_{lankst.}^k(t) = \frac{d^k(t) \cdot E_{metu}^k}{\text{Apkrova laike } t} - \frac{P_{maks. pram.}^k \cdot S_{min}^k}{\text{Minimali apkrova}} \quad (20)$$

O perkeliama apkrova pramonės sektoriuje apskaičiuojama pagal 21 formulę:

$$P_{laisva}^k(t) = \frac{(P_{maks}^k - (1 - f_{didinimo}^k))}{\text{Maksimali apkrova}} - \frac{d^k(t) \cdot E_{metu}^k}{\text{Apkrova laike } t} \cdot \frac{S_{didinimo}^k}{\text{Perkeliama dalis}} \quad (21)$$

Taigi, panaudojant surinktus 2014–2018 metų duomenis. Skaičiavimuose įvertiname, kad tam tikromis valandomis vartotojai būna nelankstūs, o jei poreikis didesnis nei 0, laisvos apkrovos skaičiavimuose vertinimas lygus 100 procentų, nes priimame, kad vartotojas neteiks apkrovos, jei ji apskritai nėra būtina.

3. Elektros vartotojų įtraukimo į lankstų elektros tinklo valdymą galimybių tyrimo rezultatai

3.1. Identifikuojamos lanksčios apkrovos

Gauti pramonės sektoriaus atskirų procesų metiniai suvartojimai rodo, kad bendras elektros suvartojimas šiame sektoriuje kiekvienais metais auga. Matomas elektros suvartojimo mažėjimas tik plieno ir geležies apdorojime (žr. 23 lentelę).

23 lentelė. Suvartojamas elektros energijos kiekis per metus pramonės sektoriuje pagal procesą (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	$E_{metų\ pram}^k$, GWh				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Popieriaus mašinos	47,892	48,807	41,836	61,026	56,952
Nemetalų mineralai	5 461,313	4 886,681	5 795,120	5 942,275	6 186,353
Chemija	5 239,181	5 396,225	5 258,731	6 645,649	6 276,106
Geležis ir plienas	58,533	56,495	56,539	55,962	48,488
Medžio produktai	15 404,963	15 784,948	16 528,766	16 191,934	15 964,911
Cemento gamyba	79,441	86,202	88,874	90,062	101,256
Makulatūros apdorojimas	8,000	8,000	15,640	17,860	18,500

Maksimali galia daugiausiai augo cemento gamyboje ir popieriaus mašinos. Didžiausia stabiliausia galia medžių produktų apdirbime (žr. 24 lentelę).

24 lentelė. Pramonės sektoriaus maksimali galia (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	$P_{maks.\ pram}^k$, GW				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Popieriaus mašinos	0,00620	0,00632	0,00541	0,00790	0,00737
Nemetalų mineralai	0,69079	0,61811	0,73301	0,75163	0,78250
Chemija	0,78695	0,81054	0,78988	0,99820	0,94270
Geležis ir plienas	0,00703	0,00679	0,00679	0,00672	0,00583
Medžio produktai	2,31389	2,37097	2,48269	2,43210	2,39800
Cemento gamyba	0,01193	0,01295	0,01335	0,01353	0,01521
Makulatūros apdorojimas	0,00120	0,00120	0,00235	0,00268	0,00278

Paslaugų sektoriuje kiekvieno išskirto proceso metinis suvartojimas tarp 2014 ir 2018 metų kiekvienais metais augo nuo 1,5 iki 5,5 procentų. Vandens talpyklų šildytuvai suvartoja daugiausiai elektros energijos (žr. 25 lentelę).

25 lentelė. Įrenginių suvartojamas elektros energijos kiekis per metus paslaugų sektoriuje (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	$E_{metų\ paslaug}^k$, GWh				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Oro kondicionavimas	88,827	90,422	95,613	97,353	102,631
Ventiliacija	376,749	383,514	405,531	412,911	435,297
Šaldymo įranga	266,481	271,266	286,839	292,059	307,893
Vandens tiekimo siurbiai	171,528	174,608	184,632	187,992	198,184
Vandens talpyklų šildytuvai	603,411	614,246	649,509	661,329	697,183

Atitinkamas augimas matomas ir paslaugų sektoriaus kiekvieno proceso maksimalios metinės galios vertėje. Didžiausias galios augimas 5,7 proc. yra tarp 2015 ir 2016 metų. Nors oro kondicionierių įrengtoji galia yra didžiausia šiame sektoriuje, bet dėl riboto panaudojimo laiko, suvartojimas yra mažiausias. Paslaugų sektoriaus metinės įrenginių maksimalios galios pagal procesą pateiktos 26 lentelėje.

26 lentelė. Paslaugų sektoriaus metinė įrenginių maksimali galia (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	$P_{maks. paslaug.}^k$, GW				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Oro kondicionavimas	0,435426	0,443245	0,468691	0,477221	0,503093
Ventiliacija	0,086016	0,08756	0,092587	0,094272	0,099383
Šaldymo įranga	0,04563	0,04645	0,049116	0,05001	0,052721
Vandens tiekimo siurbliai	0,039162	0,039865	0,042153	0,042921	0,045247
Vandens talpyklų šildytuvai	0,141281	0,143818	0,152074	0,154842	0,163236

Gyvenamųjų ūkių sektoriuje kiekvieno išskirto proceso metinis suvartojimas tarp 2014 ir 2018 metų kiekvienais metais augo apie 1 procentą. Šaldytuvai ir šaldikliai suvartoja daugiausiai elektros energijos (žr. 27 lentelę).

27 lentelė. Įrenginių suvartojamas elektros energijos kiekis per metus gyvenamųjų ūkių sektoriuje (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	E_{kmet} , GWh				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Oro kondicionavimas	9,450	9,519	9,613	9,728	9,771
Skalbimo mašinos	137,220	138,218	139,588	141,258	141,880
Džiovyklės	63,002	63,460	64,089	64,856	65,142
Indaplovės	75,804	76,356	77,112	78,035	78,379
Vandens šildytuvai	154,100	151,600	152,700	147,600	149,200
Šaldytuvai ir šaldikliai	483,956	487,474	492,305	498,198	500,391
Šildymo sistemos su elektriniais boileriais	140,800	141,000	141,500	150,400	161,200

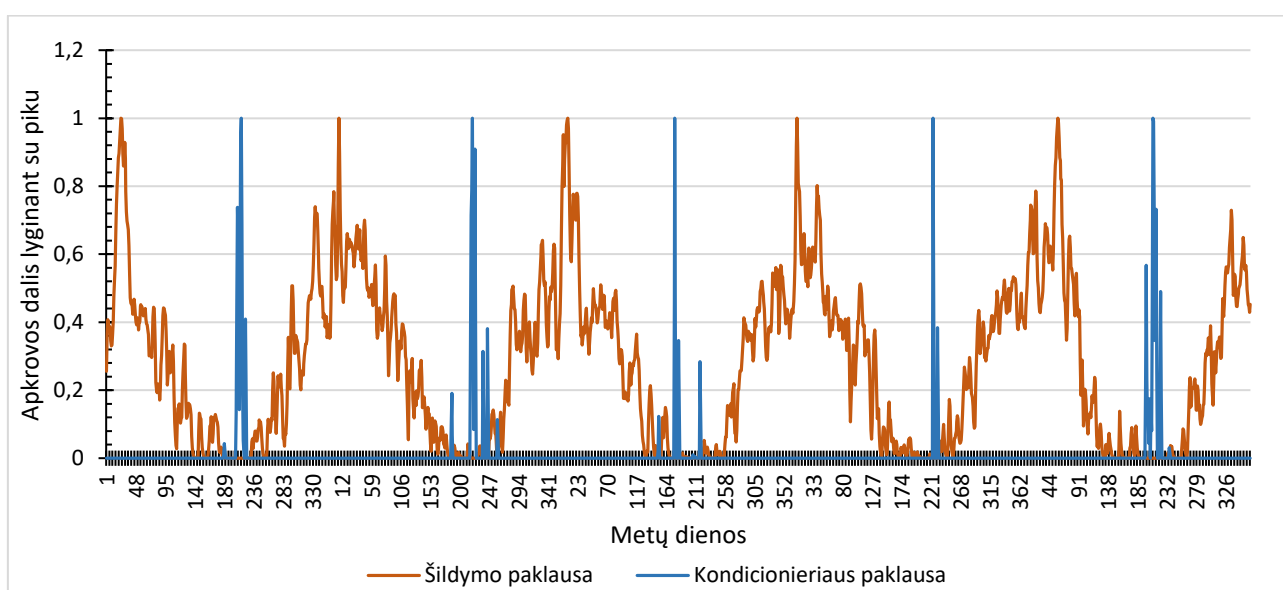
Gyvenamųjų ūkių sektoriuje kiekvieno išskirto proceso metinė maksimali galia tarp 2014 ir 2018 metų kiekvienais metais augo taip pat apie 1 procentą. Elektrinių šildytuvų įrengtoji galia didžiausia (žr. 28 lentelę).

28 lentelė. Gyvenamųjų ūkių sektoriaus metinė įrenginių maksimali galia (sudaryta autoriaus)

Procesas / įrenginys	P_{maks} , GW				
	2014 m.	2015 m.	2016 m.	2017 m.	2018 m.
-					
Oro kondicionavimas	0,0463	0,0467	0,0471	0,0477	0,0479
Skalbimo mašinos	0,8114	0,8173	0,8254	0,8353	0,8389
Džiovyklės	0,3088	0,3111	0,3142	0,3179	0,3193
Indaplovės	0,1825	0,1838	0,1856	0,1879	0,1887
Vandens šildytuvai	0,4997	0,5034	0,5084	0,5145	0,5167
Šaldytuvai ir šaldikliai	0,0691	0,0696	0,0703	0,0712	0,0715
Patalpų šildytuvai	0,9827	0,9898	0,9996	1,0116	1,0160

3.1.1. Nustatyti apkrovų profiliai

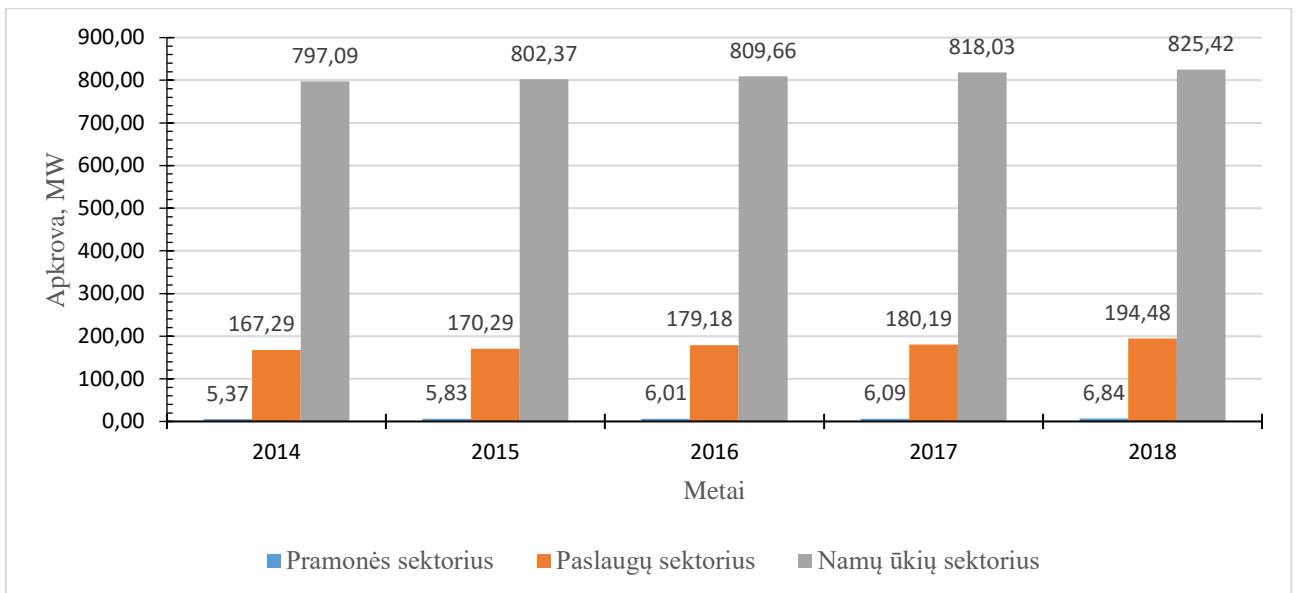
Pagal metodiką buvo apskaičiuotas nuo temperatūros priklausančių įrenginių metinis šilumos suvartojimas kiekvienai parai. Skaičiavimai atlikti nuo 2014-01-01 iki 2018-12-31. Oro kondicionierius pikinę apkrovą pasiekdavo gana panašiu metu tarp 211 ir 244 metų dienos, tačiau 2016 metais pikas buvo pasiektas 178 dieną. Kaip matome, Lietuvoje oro kondicionieriaus išnaudojimas paklausos valdymui turi labai ribotą laiką. Per šiuos penkis metus 2017 metais tik 4 dienos buvo tinkamos paklausos valdymui, o 2018 metais daugiausiai siekia 28 dienas. Galima daryti išvadą, kad tikėtina, jog oro kondicionierius tiktų išnaudoti saulėtomis ir šilčiausiomis vasaros dienomis, kai saulės elektrinės gamina daug elektros energijos. Tačiau patalpų šildymas Lietuvoje puikiai tinka paklausos valdymui. Kiekvienų metų šildymo paklausos kreivė yra gana panaši. Vidutiniškai per metus yra 238 dienos, tinkamos PR teikti su patalpų šildymu. Šildymo ir kondicionieriaus paklausa nuo 2014 iki 2018 metų pateikta 10 paveiksle.



10 pav. Šildymo ir kondicionieriaus paklausa nuo 2014 iki 2018 metų (sudaryta autoriaus)

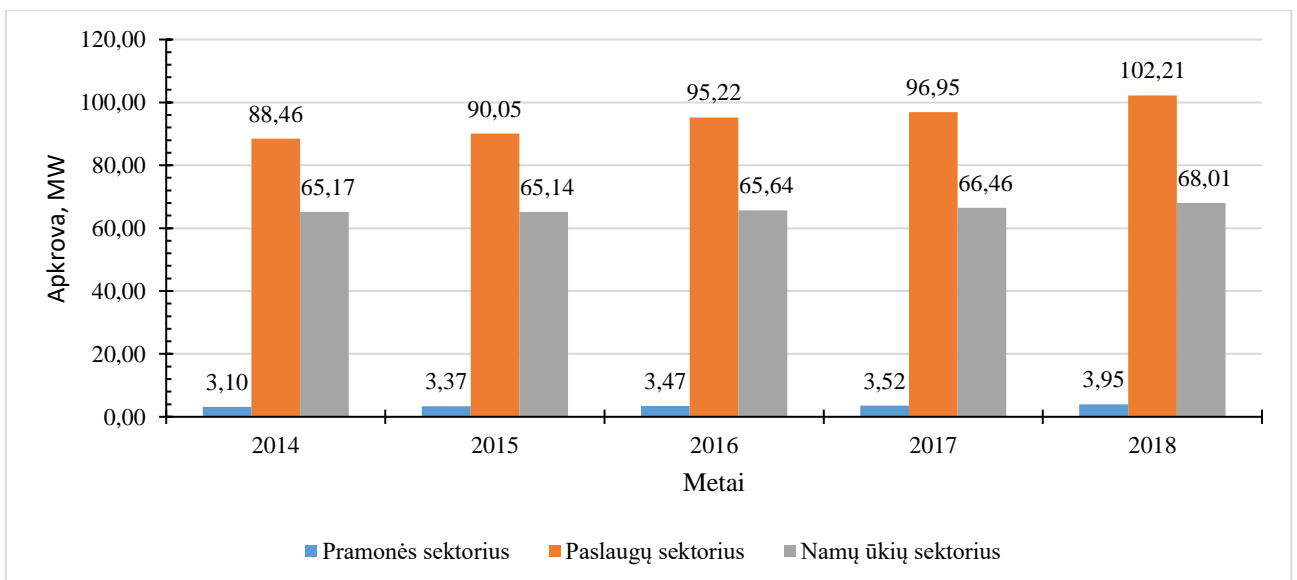
3.1.2. Lanksčios vartotojų galios potencialas

Atlikus metodinės dalies skaičiavimus ir surinkus reikiamus duomenis, buvo apskaičiuoti potencialūs kiekvieno sektoriaus rodikliai su prielaida, kad visi vartotojai gali teikti lanksčią paklausą. Pirmiausia įvertinami atskirų sektorių rezultatai. Kaip buvo aptarta teorinėje dalyje, Lietuvoje didžiausias bendras lanksčios paklausos teikimo potencialas turėtų namų ūkių sektoriuje. Atlikus skaičiavimus tai galima patvirtinti. Jis net apie 4,7 karto didesnis nei paslaugų sektoriuje. Tačiau verta įvertinti tai, kad gauti rezultatai parodo, kokia vidutinė lanksti valandinė vartotojų apkrova (žr. 11 pav.). Paveiksle matomas lanksčios vidutinės valandinės apkrovos didėjimas, todėl šis potencialas turi tendenciją augti.



11 pav. Vidutinė lanksti apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus)

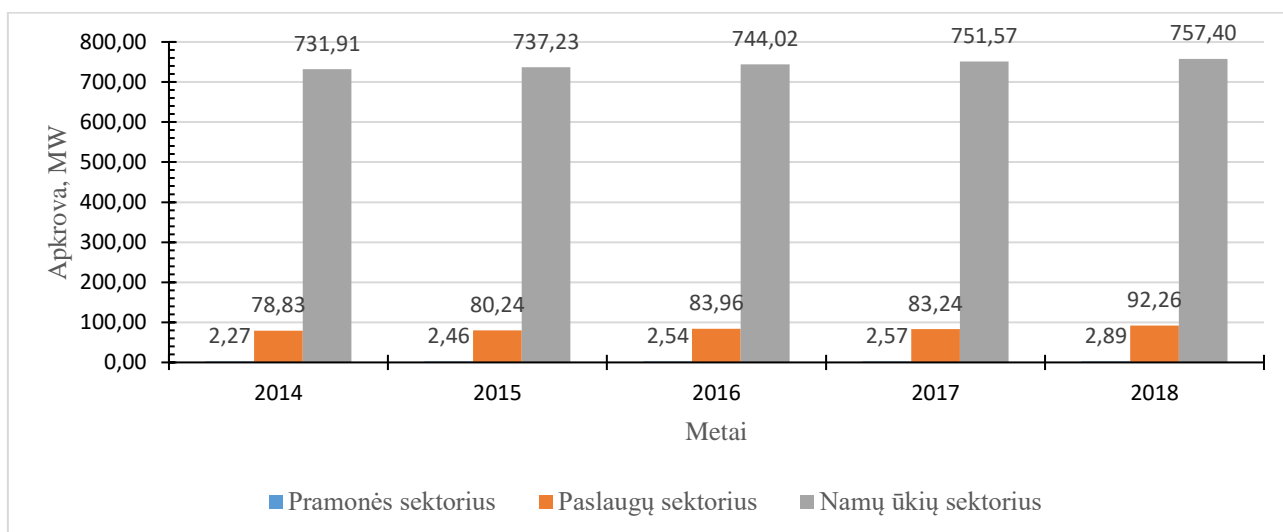
Detaliau aptariant rezultatus, galima išskirti vidutines valandos apkrovas, kurios gali būti atkeltos į ankstesnį laiką (paankstintos). Jos priklauso nuo 11 lentelėje išskirtų paklausos reakcijos veikslių. Kitaip nei bendroje vidutinės valandinės lanksčios apkrovos stulpelinėje diagramoje, paslaugų sektoriaus paankstinama apkrova yra didesnė nei namų ūkių nuo 35 proc. 2014 metais iki apie 50,3 proc. 2018 metais (žr. 12 pav.). Tai rodo, kad paslaugų sektoriaus lanksti apkrova, kuri gali būti paankstinama, greičiau plečiama nei namų ūkių. Pramonės sektoriuje taip pat matomas augimas, tačiau jis yra lėtesnis nei kituose sektoriuose.



12 pav. Vidutinė paankstinama apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus)

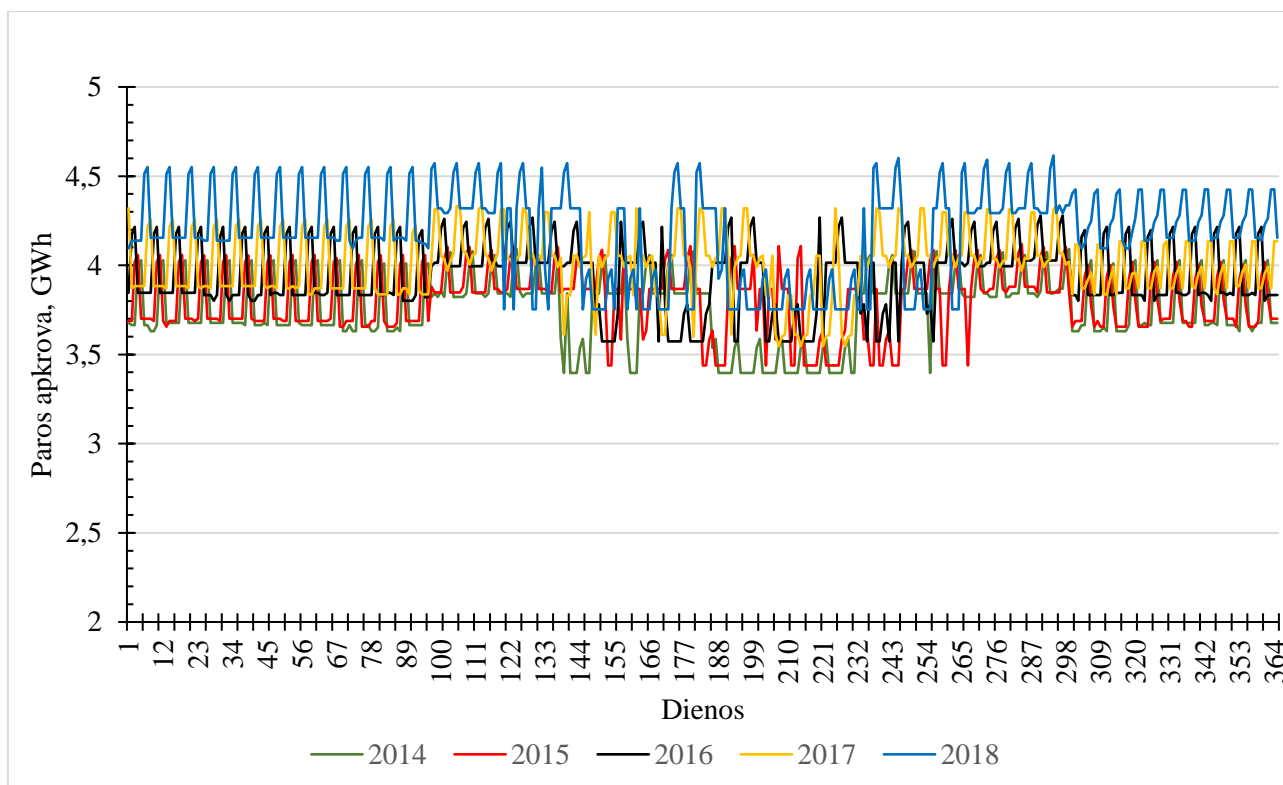
Vartotojų paklausa, kuri teoriškai galėtų būti perkelta į vėlesnį laiką yra apie 7 kartus didesnė nei ta, kurią galima atkelti į ankstesnį laiką. Visuose sektoriuose matomas lanksčios paklausos didėjimas. Čia namų ūkių vidutinės lanksčios paklausos potencialas yra apie 8 kartus didesnis nei paslaugų sektoriaus. Tačiau tokį skaičių lemia tai, kad namų ūkių vartotojų yra virš 1,4 milijono. Buitiniai vartotojų įrenginiai naudojami atsitiktinai ir priklauso nuo vartotojų įpročių. Visi namų ūkiai vienu metu neįjungia apkrovų, todėl yra didelis procentas laisvos apkrovos, kurią prirėikus būtų galima

panaudoti tinklui balansuoti. Vidutinė valandos vėlinama apkrova pagal sektorių ir metus pateikta 13 lentelėje.



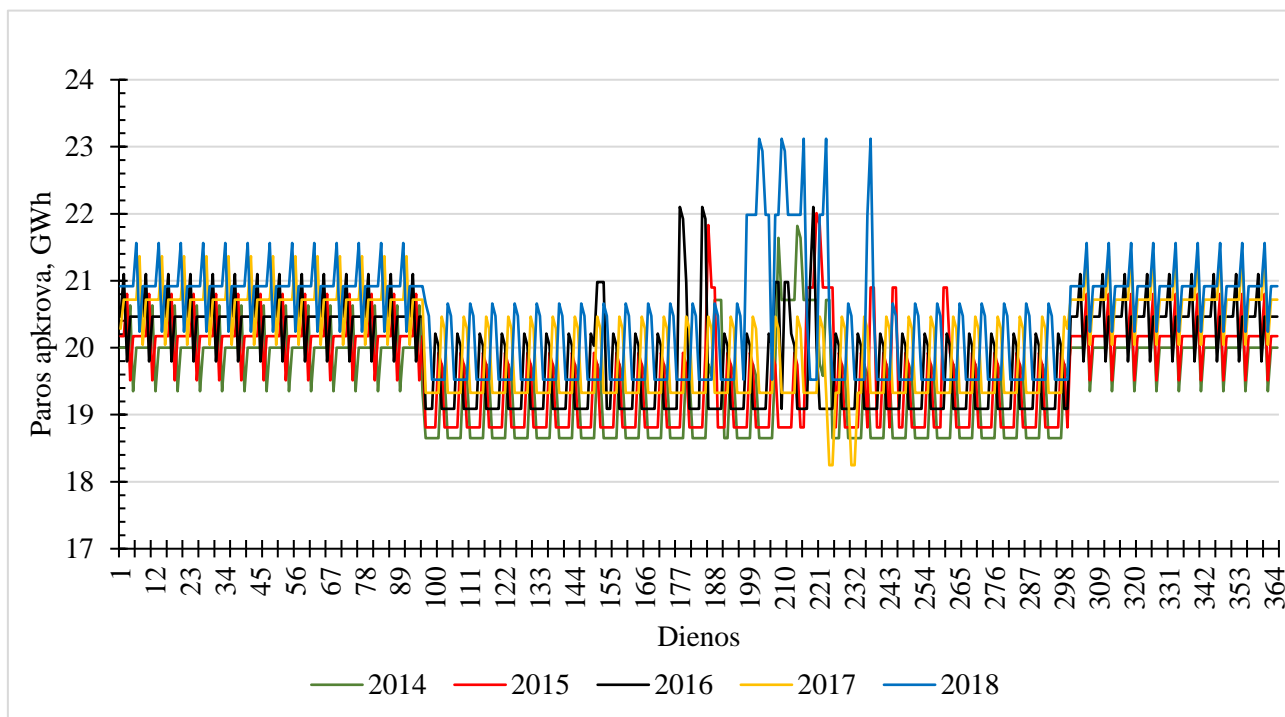
13 pav. Vidutinė valandos vėlinama apkrova pagal sektorių ir metus (sudaryta autoriaus)

2014–2018 metų maksimalų paklausos perkėlimą į ankstesnį laiką suskaičiavus į paras buvo gautos galimos lanksčios paklausos kitimas per metus (žr. 14 pav.). Iš grafiko galima matyti, kad lanksčios paklausos kiekvienų metų grafikai yra gana panašūs. Didėjantis paklausos paankstinimo potencialas matomas ir čia. Aukščiausia 2018 metų kreivė, žemiausia 2014 metų kreivė. Pagrindinis chaotiškumas matomas pereinamame laikotarpyje iš žiemos sezono į vasaros ir atvirkščiai. Tuo metu šildymo sistemos elektros apkrovimas priklauso nuo lauko temperatūros.



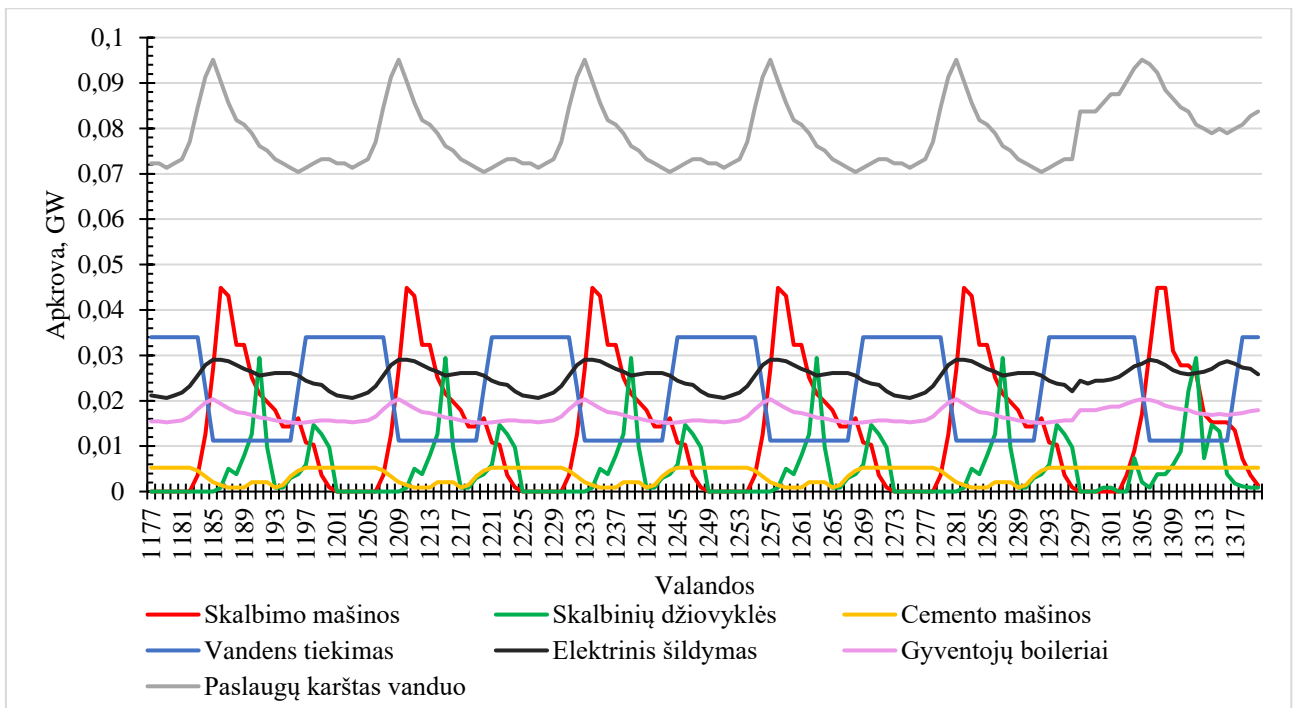
14 pav. Maksimalios paankstinamos metinis apkrovos kitimas pagal metus (sudaryta autoriaus)

Atitinkamai kaip su paankstinta paklausa, apkrovos perkeltos į vėlesnį laiką kitimas metuose yra panašus su darbo dienos ir savaitgalio svyravimais (žr. 15 pav.). Čia aiškiai išsiskiria dienos, kurios yra tinkamos panaudoti kondicionieriaus paklausos perkėlimą į vėlesnį laiką. Atitinkamai kaip ir 14 paveiksle viršutinė kreivė 2018 metais – didžiausias perkeliama paklausos į kitą laiką potencialas, apatinė 2014 metais – mažiausias.



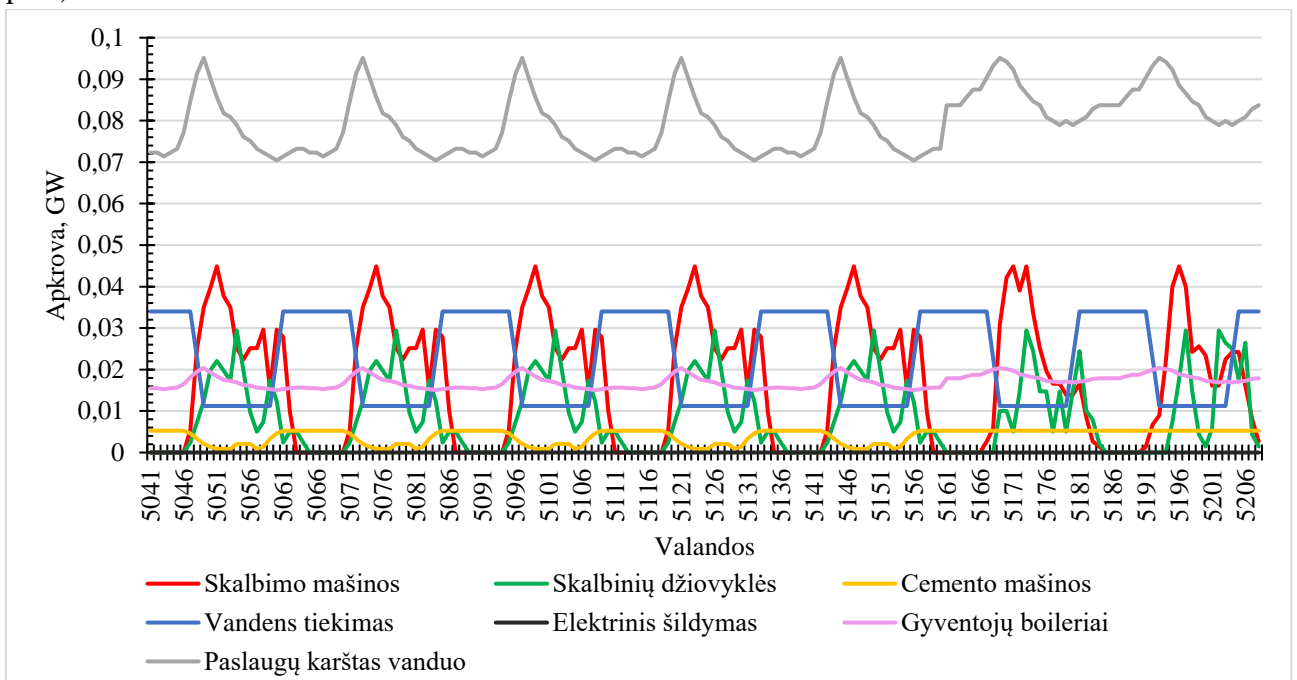
15 pav. Maksimalios perkeliama į vėlesnį laiką metinis apkrovos kitimas pagal metus (sudaryta autoriaus)

Detalesnei analizei sudaromos išskaidytos lanksčios apkrovos kreivės pagal sezonus. Vertinant maksimalias apkrovas pirmiausia išskirta žiemos sezono savaitė (2018-02-19 iki 2018-02-24). Dėl aiškesnio atvaizdavimo išskirtos šešios apkrovos: namų ūkio sektorius (skalavimo mašinos, skalbinių džiovyklės, indaplovės, elektrinis šildymas, karšto vandens boileriai), pramonės sektorius (cemento mašinos), paslaugų sektorius (vandens tiekimas, karštas vanduo). Matome, kad didžiausias apkrovos perkėlimo į ankstesnį laiką potencialas yra paslaugų sektoriuje karšto vandens šildymui. Vandens tiekimas išlieka nepakitęs darbo dienas palyginus su šeštadieniu ir sekmadieniu. Elektrinio šildymo maksimalios lanksčios apkrovos kitimas tarp parų skiriasi mažai, nes visų dienų vidutinė temperatūra buvo neigiama. Skalavimo mašinų apkrova tinkama lanksčiai apkrovai iš namų ūkių sektoriaus perkelti į ankstesnį laiką išlieka didžiausia. Ši kreivė kinta savaitgalį. Tačiau verta paminėti, kad praktikoje šis potencialas tarp 6 ir 9 valandos ryto gali būti neprieinamas (16), bet ir tai galima išspręsti su išmaniomis skalavimo mašinomis. Skalbinių džiovyklių kreivė savo forma panaši į skalavimo mašinų, tačiau laiko atžvilgiu porą valandų pavėlinta. Pagrindinis kriterijus, kad skalavimo mašina, indaplovė ir skalbinių džiovyklė turi būti užpildytos. Maksimalios apkrovos perkėlimo į ankstesnį laiką kreivė žiemos sezono savaitė pateikta 16 paveiksle.



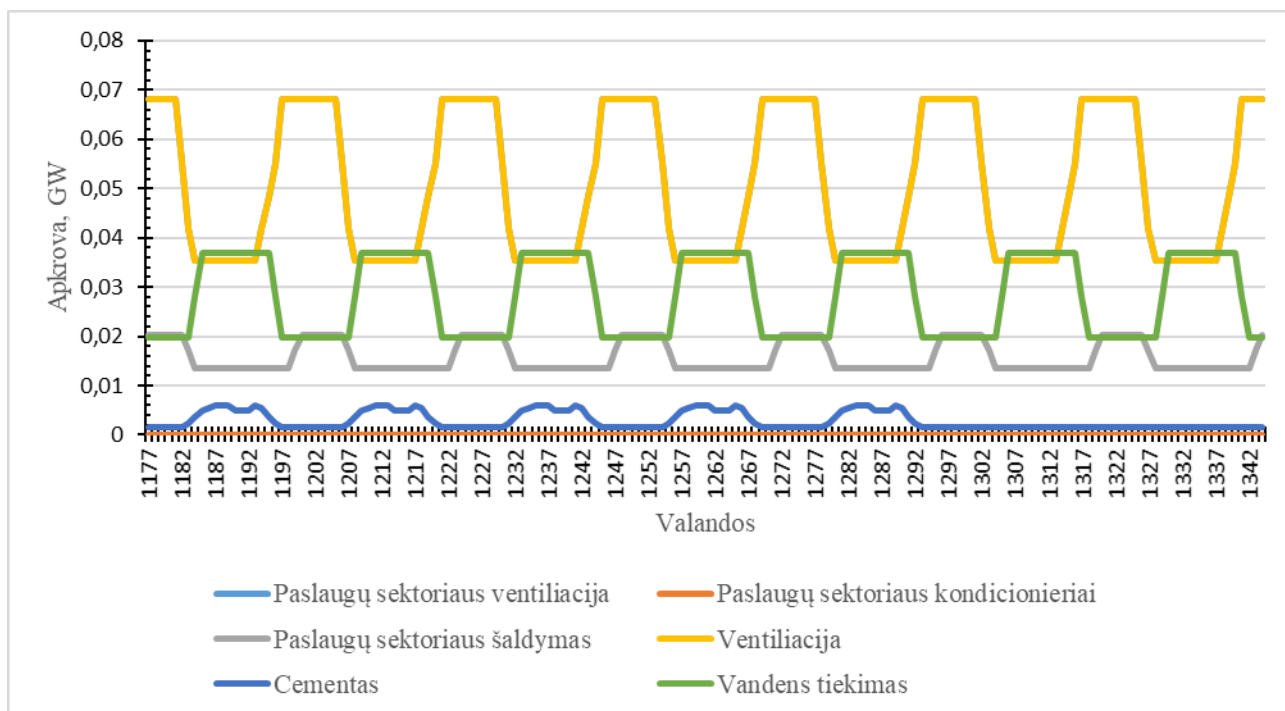
16 pav. Maksimalus apkrovos ankstinimo grafikas žiemos sezono savaitė 2018-02-19 iki 2018-02-24 pagal septynis prietaisus (sudaryta autoriaus)

Vasaros sezono grafikas pasikeitė nuo žiemos sezono. Pagrindinis skirtumas, kad elektrinis šildymas jau nebeaktualus ir lanksti apkrova lygi 0. Parinkta savaitė, kai vidutinė dienos temperatūra buvo virš 22 laipsnių. Tokiu būdu atvaizduojamos geros kondicionieriaus veikimo sąlygos. Tačiau kaip buvo nustatyta, kondicionierių apkrovą galima perkelti tik į vėlesnį laiką. Skalbimo mašinų ir skalbinių džiovyklių perkėlimo į ankstesnį laiką potencialas pasikeitė tuo, kad išaugo galima veikimo dalis vakare. Kitos apkrovos pasikeitė nežymiai arba išliko tokios pačios kaip žiemos sezono metu (žr. 17 pav.).



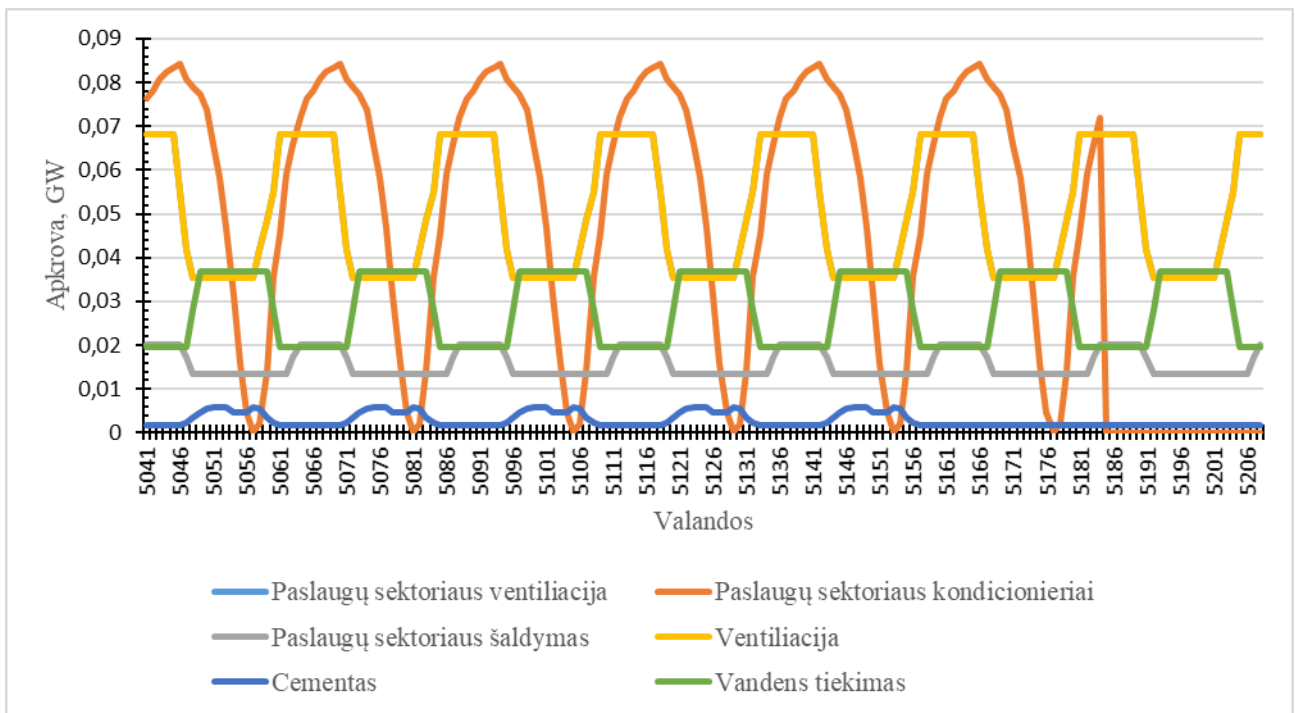
17 pav. Maksimalus apkrovos ankstinimo grafikas vasaros sezono savaitė 2018-07-30 iki 2018-08-05 pagal septynis prietaisus (sudaryta autoriaus)

Lanksčios apkrovos, kurios gali būti perkeltos į vėlesnį laiką taip pat parinktos pagal 11 lentelę. Žiemos sezonu apkrovos yra pasikartojančio pobūdžio. Pagrindinis ribojimas yra maksimali instaliuota įrenginių galia. Didžiausias svyravimas matomas paslaugų sektoriaus ventiliacijos įrangos apkrovime. Namų ūkio prietaisų maksimali valandinė galima perkelti galia svyruoja nuo 0 iki 838 MW. Nuo 0 iki 5 valandos praktiškai nėra įmanomas skalbimo mašinų apkrovos perkėlimas, atitinkamai skalbinių džiovyklės nuo 0 iki 8 valandos. Kai kurių maksimalių apkrovų vėlinimo valandinis grafikas žiemos sezono savaitei pateiktas 18 paveiksle.



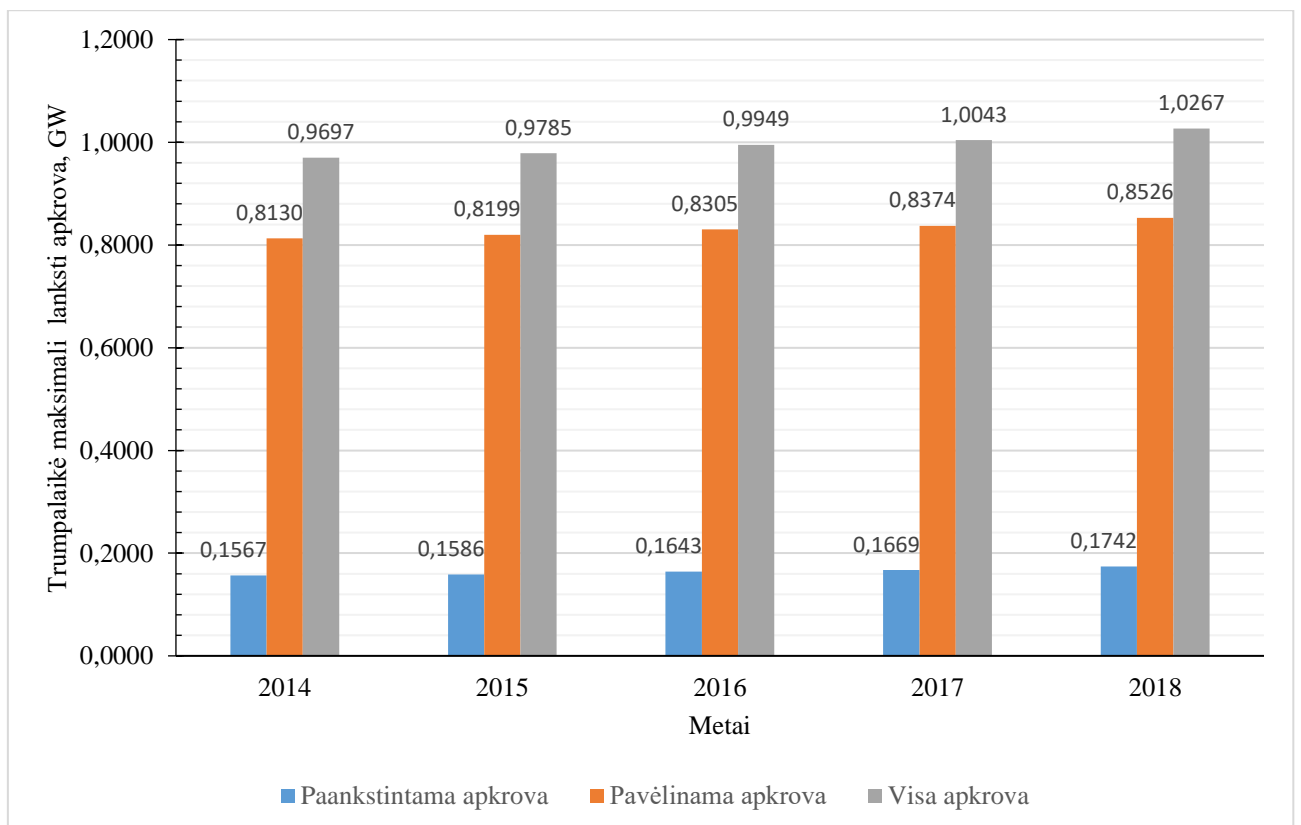
18 pav. Maksimalus apkrovos vėlinimo grafikas žiemos sezono savaitei 2018-02-19 iki 2018-02-24 pagal šešis prietaisus (sudaryta autoriaus)

Pagrindinis skirtumas lyginant žiemos sezono ir vasaros sezono perkeliamas lanksčias apkrovas yra tas, kad atsiranda oro kondicionierių poreikis. Vėsinimo laikotarpiu matomas oro kondicionierių poreikio padidėjimas paslaugų sektoriuje, nes lanksti paklausa padidėja apie 85 MW. Namų ūkių valandinė galimybė tiekti paklausą vėlesniame laike svyruoja apie 47 MW. Kai ventiliacijos perkeliama apkrova mažiausia, vandens tiekimo galimybė perkelti paklausą į vėlesnį laiką yra didžiausia. Maksimalios apkrovos vėlinimo grafikas vasaros sezono savaitei pateiktas 19 paveiksle.



19 pav. Maksimalus apkrovos vėlinimo grafikas vasaros sezono savaitė 2018-07-30 iki 2018-08-05 pagal šešis prietaisus (sudaryta autoriaus)

Apibendrinant visų sektorių galimybę teikti lanksčią paklausą sudaromas 2014–2018 metų palyginimas tarp paankstintos ir pavėlinotos vidutinės valandinės apkrovos. Pavėlinama apkrova apie 4,9 karto didesnė nei paankstinta (žr. 20 pav.). Tai reiškia, kad yra daug nepanaudotos apkrovos, kurią galima perkelti į vėlesnį laiką.



20 pav. Vidutinė valandinė lanksti apkrova pagal metus palyginimas (sudaryta autoriaus)

Bendra vidutinė lanksti valandinė vartotojų apkrova yra apie 1 000 MW, o tai maždaug atitinka visą Lietuvos suvartojimą naktimis. Tačiau tikslingiau apkrovos ankstinimo (žr. 13 pav.) ir paklausos vėlinimo (žr. 14 pav.) grafikus vertinti atskirai, nes vienu metu įrenginių apkrovos negali būti ir pavėlinamos, ir paankstinamos.

Apibendrinant galima teigti, kad vartotojų galimybės prisidėti prie lankstaus tinklo valdymo yra nemažos. Beveik kiekviename namų ūkyje yra bent vienas įrenginys, kuris tinkamas lanksčiai paklausai įgalinti. Jeigu įrenginys neturi galimybės gauti signalą, tada jame gali būti sumontuojamas elektrinių pulsacijų priėmimo blokelis.

Išvados

1. Lankstus elektros sistemos valdymas atspindi sistemos gebėjimą panaudojus visus sistemos lankstumo išteklius optimaliai ir greitai subalansuoti paklausą ir pasiūlą įvykus bet kokiems trikdžiams. Paklausos valdymas yra viena naujausių ir mažiausiai išnagrinėtų lankstumo šaltinių. Tai yra dar vienas iš pigesnių būdų balansuoti AEI generuojamą elektros energiją. Kuo daugiau elektros energetikos sistemoje AEI, tuo lankstumo reikia daugiau, kad kompensuoti nepastovią generaciją.
2. Atlikus teorinę analizę buvo ištirtos įvairios vartotojų įsitraukimo priemonės. Daugiausiai nagrinėjamos priemonės yra paklausos telkimas; vartotojų apkrovų planavimas; skirtingų energijos rūšių apjungimas; planinis paklausos valdymas; įvairios skatinimo sistemos. Paklausos telkimas Lietuvoje yra naujausias būdas valdyti paklausą, nes Vyriausybė pritarė Energetikos ministerijos pateiktiems Energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymo pakeitimams. Net 42,7 proc. Lietuvos namų ūkių turi individualų šildymą, o iki 2023 metų turėtų būti įdiegti išmanūs skaitikliai virš 1000 kWh suvartojantiems namų ūkiams. Todėl sudaromos vis palankesnės sąlygos įgalinti vartotojų paklausos valdymą. Tinkamiems prietaisams su automatiniu ir pusiau automatiniu valdymu paklausos reakcijai reikalingas abipusis ryšys tarp įrenginio ir tinklo. Tam gali būti panaudojami antros ir trečios kartos elektroninės pulsacijos. Pagal apžvalgą teorinis valandinis paklausos valdymo potencialas yra iki 100 MW (tačiau neįvertinus namų ūkių paklausos ir su abstrakčiomis prielaidomis), nes nebuvo anksčiau plačiai tirta.
3. Buvo parengta galinčių lanksčių paklausą teikti vartotojų masto ir įtakos metodika, į kurią įeina 2014–2018 m. duomenų analizė. Parinkta metodika skaičiuoti kiekvieno sektoriaus atskirų įrenginių suvartojimą, galią, apkrovimo grafikus, valandinius paklausos atkėlimo į ankstesnį laiką ir paklausos nukėlimo į vėlesnį apkrovimus. Atrinkti kiekvienam sektoriui septini prietaisai su paklausos reakcijos galimais veiksmais (paankstinimas / atidėjimas). Būstų skaičius nuo 2014 m. iki 2018 m. išaugo 3,4 proc. Namų ūkiuose prietaisų skaičių lyginant su namų ūkių skaičiumi mažiausiai kondicionierių (2 proc.), daugiausiai šaldytuvų (95 proc.) ir skalbimo mašinų (85 proc.). Lietuvoje skaičiuojant šildymo ir vėsimos paklausą panaudojamos bazinės temperatūros $CDD T_{vės} = 22^{\circ}C$, o $HDD T_{šild} = 15,5^{\circ}C$.
4. Atlikus skaičiavimus pagal metodiką, paaiškėjo pagrindiniai sektorių įrenginiai tinkami teikti lanksčių paklausą. Vertinama, kad apkrova keičiama bent vieną valandą. Daugiausiai paklausos atkėlimo į ankstesnį laiką gali teikti paslaugų sektorius. Jame išsiskiria vandens tiekimas ir karštas vanduo (pikas apie 95 MW). Gyvenamųjų ūkių sektoriuje pagrindinę lankstumo dalį sudaro skalbimo mašinos (pikas 43–45 MW), elektrinis šildymas ir elektriniai boileriai. Pramonės sektoriuje – cemento mašinos (pikas 5,2 MW). Kalbant apie paklausą, kurią galima nukelti į vėlesnį laiką, daugiausiai gali pateikti gyvenamųjų namų ūkis, nes jo įrenginių išnaudojimas gana mažas ir lieka daug laisvos apkrovos (757 MW). Šiame sektoriuje pagrindiniai įrenginiai yra skalbimo mašinos, skalbinių džiovyklės ir indaplovės. Paslaugų sektoriuje (92,26 MW) – šaldymo įranga ir ventiliacija. Pramonės sektoriuje (3,95 MW) išlieka cemento mašinos.
5. Sudarius bendrus ir atskirus vartotojų grafikus pagal sektorius paaiškėjo, kad kiekvienais metais lanksčios paklausos potencialas didėja. Namų ūkių sektorius teoriškai galėtų teikti 4,7 karto daugiau lanksčios paklausos nei paslaugų sektorius ir siekia 825 MW. Tačiau buvo vertinama, kad visi įrenginius turintys vartotojai gali teikti lankstumą. Sumažėjus vartotojų, galinčių teikti lanksčią apkrovą, proporcingai mažėja ir šis potencialas. Paslaugų sektoriaus bendra lanksti paklausa yra 194,48 MW (jei vertinami 2018 metai). Mažiausias potencialas tiek paankstinant

apkrova, tiek ją vėlinant yra pramonės sektorius (bendras potencialas yra 6,84 MW). Vertinant visus sektorius bendra vidutinė valandinė paankstinama paklausa yra apie 174 MW, o vidutinė pavėlinama apie 852 MW.

Literatūros sąrašas

1. Svinkūnas, Gytis ir Navickas, Algimantas. *Elektros energetikos pagrindai* [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2013 [žiūrėta: 2020-02-12]. ISBN 978-609-02-1002-4. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/einfo/1260/elektros-energetikos-pagrindai/>. 978-609-02-1002-4.
2. *Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija*. [interaktyvus] 2018 [žiūrėta: 2020-02-11]. Prieiga per: http://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf
3. IEA. *Empowering Variable Renewables: Options for Flexible Electricity Systems*, IEA, Paris. 2018. Prieiga per: www.iea.org/reports/empowering-variable-renewables-options-for-flexible-electricity-systems
4. Garcia, A. A. Demand Side Management Integration Issues a Case History. *IEEE Transactions on Power Systems* [interaktyvus]. 1987, 2(3), 772-778. Prieiga per: doi: 10.1109/TPWRS.1987.4335208. [žiūrėta 2020-02-13].
5. Kuiken, Dirk ir Más, Heyd F. Integrating demand side management into EU electricity distribution system operation: A Dutch example. *Energy Policy*, 2019, 129, p. 153–160. ISSN: 03014215. Prieiga per: 10.1016/j.enpol.2019.01.066
6. National Commission for Energy Control and Prices. Annual Report on Electricity and Natural Gas Markets of the Republic of Lithuania to the European Commission. [interaktyvus] 2019 [žiūrėta 2020-01-12]. Prieiga per: https://www.vert.lt/SiteAssets/naujienu-medziaga/2019/rugpjutis/NERC_Annual_Report_for_EC_2018_EN.pdf.
7. Viešuosius interesus elektros energetikos sektoriuje atitinkančios paslaugos [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-01-15]. Prieiga per: <https://www.vert.lt/elektra/Puslapiai/viesuosius-interesus-elektros-energetikos-sektoriuje-atitinkancios-paslaugos.aspx>.
8. Rodiklių duomenų bazė. *Oficialios statistikos portalas* [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-03-02] Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?theme=all#/>.
9. Elektros gamybos ir vartojimo balanso duomenys. *Litgrid* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-02-25]. Prieiga per: www.litgrid.eu/index.php/energetikos-sistema/elektros-energetikos-sistemas-informacija/elektros-gamybos-ir-vartojimo-balanso-duomenys/2287.
10. Geriausia Šiaurės šalių patirtis – Lietuvai diegiant Data Hub projektą. *www.eso.lt* [interaktyvus]. 2018-09-13 [žiūrėta 2020-02-05]. Prieiga per: <https://www.eso.lt/lt/ziniasklaida/p10/geriausia-siaures-saliu-patirtis-lietuvai-diegiant-data-gjxg.html>.
11. Ponocko, Jelena ir Jovica V. Milanovic´. Forecasting Demand Flexibility of Aggregated Residential Load Using Smart Meter Data. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS* [interaktyvus]. 2018, 33(5), 5446-5455 [žiūrėta 2020-02-10]. Prieiga per: doi: 10.1109/TPWRS.2018.2799903.
12. Lampropoulos, Joannis ir Machteld van der Hoofd, Klaas Hommes, Wilfried van Sark. A system perspective to the deployment of flexibility through aggregator companies in the Netherlands. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2018 m. Liepa, p. 534-551 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enpol.2018.03.073.
13. Bell, Keith ir Simon Gill. Delivering a highly distributed electricity system: Technical, regulatory and policy challenges. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2018 m. vasaris, vol. 113, p. 765-777 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.039

14. Lietuvos Respublikos elektros energetikos įstatymas [interaktyvus]. 2002 m. sausio 01 d. [žiūrėta 2020-03-02]. Prieiga per: e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.106350/asr. VIII-1881.
15. 2020 metais nauja paslauga elektros rinkoje – elektros energijos paklausos ir gamybos telkimas. *Lietuvos Respublikos energetikos ministerija* [interaktyvus]. 2019-10-29 [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per: enmin.lrv.lt/lt/naujienos/2020-metais-nauja-paslauga-elektros-rinkoje-elektros-energijos-paklausos-ir-gamybos-telkimas.
16. Waseem, Muhammad ir Intisar A. Sajjad, Luigi Martirano, Matteo Manganelli. Flexibility assessment indicator for aggregate residential demand. Milan : IEEE, 2017. 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe) [interaktyvus]. Milan, 2017, pp. 1-5 [žiūrėta 2020-03-06]. Prieiga per: doi: 10.1109/EEEIC.2017.7977775.
17. Lizana, Jesus ir Daniel Friedrich, Renaldi Renaldi, Ricardo Chacartegui. Energy flexible building through smart demand-side management and latent heat storage. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2018, vol. 230, p. 471-485 [žiūrėta 2020-03-06] Prieiga per: 10.1016/j.apenergy.2018.08.065.
18. Zong, Yi ir Wenjing Su, Jiawei Wang, Jakub Krzysztof Rodek Chuhao Jiang, Morten Herget Christensen, Shi You, You Zhou, Shujun Mu. Model Predictive Control for Smart Buildings to Provide the Demand Side Flexibility in the Multi-Carrier Energy Context: Current Status, Pros and Cons, Feasibility and Barriers. *Energy Procedia* [interaktyvus]. 2019 m. sausis, p. 3026-3031 [žiūrėta: 2020 03 02]. Prieiga per: doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.981.
19. Strobel, Nina ir Eberhard Abele. Decentral Control Strategies for Demand-side Management by Industrial Heating and Cooling Devices with Discontinuous Operation Mode. *Procedia CIRP* [interaktyvus]. 2018 m., p. 360-365 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: 10.1016/j.procir.2017.11.059
20. Papadimitriou, C.N. ir A. Anastasiadis, C.S. Psomopoulos, G. Vokas. Demand Response schemes in Energy Hubs: A comparison study. *Energy Procedia* [interaktyvus]. 2019, vol. 157, 939-944 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.260
21. Voulis, Nina ir Max J.J.van Etten, Émile J.L.Chappin, Martijn Warnier Frances, M.T.Brazier. Rethinking European energy taxation to incentivise consumer demand response participation. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2019 m. vasaris, vol. 124, 156-168 [žiūrėta 2020-04-02]. Prieiga per: doi: org/10.1016/j.enpol.2018.09.018.
22. Zhang, P. ir X Dou, W Zhao, M Hu, X Zhang. Analysis of Power Sales Strategies Considering Price-Based Demand Response. *Energy Procedia* [interaktyvus]. 2019 vasaris m., vol. 158, 6701-6706 [žiūrėta 2020-03-06]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.019
23. Lijesen, Mark G. The real-time price elasticity of electricity. *Energy Economics* [interaktyvus] 2007, vol. 29(2), 249-258 [žiūrėta 2020-03-06]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.eneco.2006.08.008.
24. Li, Biao ir Can Wan, Kai Yuan, Yi Song. Demand Response for Integrating Distributed Energy Resources in Transactive Energy System. *Energy Procedia* [interaktyvus]. 2019 m., vol. 158, 6645-6651 [žiūrėta 2020-04-02]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.040.
25. Bao Zhejing ir Wanrong Qiu, Lei Wu, Feng Zhai, Wenjing Xu, Baofeng Li, Zhijie Li. Optimal Multi-Timescale Demand Side Scheduling Considering Dynamic Scenarios of Electricity Demand. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID* [interaktyvus]. 2019 m. gegužė, p. 2428-2438 [žiūrėta 2020-04-05]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.040.

26. Noor, Sana ir Miao Guo, Koen H.van Dam, Nilay Shah, Xiaonan Wang. Energy Demand Side Management with supply constraints: Game theoretic Approach. *Energy Procedia* [interaktyvus]. 2018 m. Liepa, p. 368-373 [žiūrėta 2020-04-06]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2018.04.066.
27. Mellouk, L. ir M. Boulmalf, A. Aaroud, K. Zine-Dine, D. Benhaddou. Genetic Algorithm to Solve Demand Side Management and Economic Dispatch Problem. *Procedia Computer Science* [interaktyvus]. 2018 m., p. 611-618 [žiūrėta 2020-03-07]. Prieiga per: doi: 1016/j.procs.2018.04.111.
28. Uddin, Kotub ir Matthieu Dubarry, Mark B.Glick. The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2018 m. vasaris, vol. 113, 342-347 [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enpol.2017.11.015.
29. López, Karol Lina ir Christian Gagné, Marc-André Gardner. Demand-Side Management Using Deep Learning for Smart Charging of Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid* [interaktyvus]. 2019 m. gegužė, vol. 10(3), 2683-2691 [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per: doi: 10.1109/TSG.2018.2808247.
30. Diestelmeier, Lea. Changing power: Shifting the role of electricity consumers with blockchain technology – Policy implications for EU electricity law. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2019 m. gegužė, vol. 128, 189-196 [žiūrėta 2020-02-20]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enpol.2018.12.065.
31. Ignitis saulės parkai. *www.saulesparkai.lt* [interaktyvus]. Ignitis, 2020 m. [žiūrėta 2020 m. 03 12 d.]. Prieiga per: www.saulesparkai.lt/.
32. Elma, Onur ir Uğur S. Selamoğullar. A Survey of a Residential Load Profile for Demand Side Management Systems. Oshawa, ON, Canada : Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2017 the 5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering [interaktyvus]. 2017 p. 85-89 [žiūrėta 2020-02-25]. Prieiga per: doi: 10.1109/SEGE.2017.8052781.
33. Theresa Müller, Dominik Möst. *Demand Response Potential: Available when Needed?* 2018 m., *Energy Policy* [interaktyvus], vol. 115, 181-198 [žiūrėta 2020-03-12]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enpol.2017.12.025.
34. Francesco, Mancini ir Gianluigi Lo Basso, Livio De Santoli. Energy use in residential buildings: Characterisation for identifying flexible loads by means of a questionnaire survey. *Energies* [interaktyvus]. 2019, 12(11):2055, ISSN: 19961073 [žiūrėta 2020-03-09]. Prieiga per: doi: 10.3390/en12112055.
35. Geremi Gilson Dranka, Paula Ferreira. Review and assessment of the different categories of demand response potentials. *Energy* [interaktyvus]. 2019 m. Gegužės 1 d., p. 280-294 [žiūrėta 2020-03-20]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.energy.2019.05.009.
36. Soares, Ana ir Álvaro Gomes, Carlos Henggeler Antunes. *Categorization of residential electricity consumption as a basis for the assessment of the impacts of demand response actions*. Elsevier [interaktyvus]. 2014, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, T. 30, p. 490–503. ISSN: 13640321 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2013.10.019.
37. Dzung, Dacfeiy ir Inigo Berganza, Alberto Sendin. *Evolution of powerline communications for smart distribution: From ripple control to OFDM*. IEEE, 2011 m., 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications [interaktyvus]. ISPLC 2011, p. 474–478. ISBN: 9781424477500 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per: DOI: 10.1109/ISPLC.2011.5764444
38. Gottwalt, Sebastian. *Managing Flexible Loads in Residential Areas* [interaktyvus]. Karlsruhe, Germany, 2015 [žiūrėta 2020-03-20]. Prieiga per: doi: 10.1109/TSG.2018.2808247.

39. Södera i Lennart r Peter D. Lund, Hardi Koduverec Torjus, Folsland Bolkesjød, Geir Høyvik Rossebø, Emilie Rosenlund-Soysal, Klaus Skytte, Jonas Katze, Dagnija Blumberga. A review of demand side flexibility potential in Northern Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2018 m. rugpjūtis, p. 654-664 [žiūrėta 2020-02-25]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2018.03.104.
40. Marañón-Ledesma, Hector and Tomasgard, Asgeir. Long-Term Electricity Investments Accounting for Demand and Supply Side Flexibility. *Munich Personal RePEc Archive* [interaktyvus]. Norwegian University of Science and Technology, 2019 m. kovo 26 d. [žiūrėta 2020-02-25]. Prieiga per: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/92957/1/MPRA_paper_92957.pdf.
41. Gils, Hans Christian. *Balancing of intermittent renewable power generation by demand response and thermal energy storage*. Stuttgart : University of Stuttgart [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2020-03-13]. Prieiga per: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/92957/1/MPRA_paper_92957.pdf.
42. Paulus, Moritz ir Borggreffe, Frieder. Economic potential of demand side management in an industrialized country—the case of Germany. *Applied Energy* [interaktyvus]. 2009 m. 1. 2015 [žiūrėta 2020-03-13]. Prieiga per: www.researchgate.net
43. Bertoldi, Paolo, ir Hirl, Bettina ir Labanca, Nicola. *Energy Efficiency Status Report 2012*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2012. ISBN 978-92-79-25604-2.
44. Gils, Hans Christian. *Assessment of the theoretical demand response potential in Europe*. Energy [interaktyvus]. 2014, vol 67, 1-18 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: doi: 10.1016/j.energy.2014.02.019.
45. Letschert, Virginie E. ir McNeil, Michael A. Material World: Forecasting Household Appliance Ownership in a Growing Global Economy. European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) 2009 Summer Study. 2010. 8. [žiūrėta 2020-03-15]. Prieiga per: <https://isswprod.lbl.gov/library/view-docs/public/output/rpt77252.pdf>
46. Narimani, Mohammad Rasoul. Demand Side Management for Homes in Smart Grids. *North American Power Symposium (NAPS)* [interaktyvus]. 2019, 1-6. Prieiga per: doi: 10.1109/NAPS46351.2019.9000233
47. Pakula, Christiane ir Stamminger, Rainer. Energy and water savings potential in automatic laundry washing processes. *Energy Efficiency* [interaktyvus]. 2014, T. 8, 205–222. ISSN: 15706478. Prieiga per: DOI: 10.1007/s12053-014-9288-0
48. Critique and suggested modifications of the degree days methodology to enable long-term electricity consumption assessments: a case study in Birmingham, UK. *METEOROLOGICAL APPLICATIONS* [interaktyvus]. 2015, 22(4), 789–796 [žiūrėta 2020-03-12]. Prieiga per: doi.org/10.1002/met.1525
49. Cooling and heating degree days by country - annual data. *www.eea.europa.eu*. [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_chdd_a&lang=en.
50. Stamminger, Rainer ir Gereon Broil, Christiane Pakula, Heiko Jungbecker, Maria Braun, Ina Rüdener, Christoph Wendker. *Synergy Potential of Smart Appliances* [interaktyvus]. University of Bonn : Bonn, 2008. [žiūrėta 2020-03-05]. Prieiga per: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.378.4289&rep=rep1&type=pdf>

Priedai

1 priedas. Vasaros sezono darbo dienos valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugu)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekinimas
1	0,80	0,00	0,00	0,01	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,02	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,12	0,08	0,33	0,90	0,95	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,56	0,25	0,30	1,00	0,85	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,78	0,42	0,33	1,00	0,75	0,50	1,00	0,33
10	1,00	0,88	0,67	0,17	1,00	0,70	0,50	1,00	0,33
11	1,00	1,00	0,75	0,57	1,00	0,66	0,50	1,00	0,33
12	1,00	0,84	0,67	0,27	1,00	0,66	0,55	1,00	0,33
13	1,00	0,78	0,59	0,33	1,00	0,66	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,56	1,00	0,67	1,00	0,75	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,50	0,67	1,00	1,00	0,75	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,56	0,33	0,67	1,00	0,75	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,56	0,17	0,50	1,00	0,66	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,66	0,25	0,33	0,90	0,70	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,34	0,59	0,50	0,80	0,85	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,66	0,42	1,00	0,70	0,95	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,62	0,08	0,83	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,22	0,17	0,33	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,00	0,17	0,17	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,00	0,08	0,03	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

2 priedas. Vasaros sezono šeštadienio valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbinimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugu)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekinimas
1	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,06	0,00	0,00	0,90	1,00	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,13	0,00	0,03	1,00	1,00	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,69	0,34	0,10	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
10	1,00	0,94	0,34	0,36	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
11	1,00	1,00	0,17	0,70	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
12	1,00	0,87	0,50	0,66	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
13	1,00	1,00	1,00	0,34	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,75	0,83	0,66	1,00	1,00	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,56	0,50	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,44	0,50	0,60	1,00	1,00	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,37	0,17	0,34	1,00	1,00	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,37	0,50	0,34	0,90	1,00	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,31	0,17	0,27	0,80	1,00	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,31	0,50	0,34	0,70	1,00	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,37	0,83	0,43	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,19	0,34	0,40	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,06	0,27	0,23	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,03	0,07	0,07	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

3 priedas. Vasaros sezono sekmadienio paros valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbinimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugų)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekimas
1	0,80	0,00	0,00	0,13	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,03	0,00	0,13	0,90	1,00	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,15	0,00	0,05	1,00	1,00	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,20	0,00	0,27	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
10	1,00	0,48	0,00	0,37	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
11	1,00	0,89	0,25	0,75	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
12	1,00	1,00	0,60	0,62	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
13	1,00	0,89	1,00	0,50	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,54	0,50	0,75	1,00	1,00	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,57	0,15	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,52	0,05	0,50	1,00	1,00	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,36	0,20	0,50	1,00	1,00	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,36	1,00	0,75	0,90	1,00	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,50	0,90	0,80	0,80	1,00	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,54	0,85	0,37	0,70	1,00	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,54	0,60	0,45	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,36	0,90	0,62	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,18	0,15	0,37	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,06	0,05	0,17	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

4 priedas. Žiemos sezono darbo dienos paros valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbinimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugų)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekinimas
1	0,80	0,00	0,00	0,04	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,02	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,08	0,00	0,02	0,90	0,95	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,28	0,00	0,17	1,00	0,85	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,60	0,00	0,41	1,00	0,75	0,50	1,00	0,33
10	1,00	1,00	0,03	0,37	1,00	0,70	0,50	1,00	0,33
11	1,00	0,96	0,17	0,25	1,00	0,66	0,50	1,00	0,33
12	1,00	0,72	0,13	0,41	1,00	0,66	0,55	1,00	0,33
13	1,00	0,72	0,27	0,37	1,00	0,66	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,56	0,43	0,37	1,00	0,75	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,48	1,00	0,63	1,00	0,75	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,44	0,33	0,83	1,00	0,75	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,40	0,03	0,41	1,00	0,66	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,32	0,03	0,21	0,90	0,70	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,32	0,10	0,37	0,80	0,85	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,36	0,13	0,63	0,70	0,95	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,24	0,20	1,00	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,23	0,50	0,63	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,08	0,43	0,37	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,02	0,33	0,11	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

5 priedas. Žiemos sezono šeštadienio paros valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbinimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugų)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekinimas
1	0,80	0,00	0,00	0,10	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,20	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,20	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,03	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,03	0,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,00	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,08	0,00	0,20	0,90	1,00	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,20	0,25	0,20	1,00	1,00	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,38	0,07	0,29	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
10	1,00	0,69	0,03	0,50	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
11	1,00	1,00	0,13	0,79	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
12	1,00	1,00	0,13	0,79	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
13	1,00	0,69	0,20	0,70	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,62	0,30	0,70	1,00	1,00	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,62	0,75	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,58	1,00	0,86	1,00	1,00	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,38	0,25	0,40	1,00	1,00	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,34	0,50	0,60	0,90	1,00	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,34	0,45	0,29	0,80	1,00	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,34	0,13	0,20	0,70	1,00	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,30	0,06	0,29	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,16	0,04	0,29	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,08	0,03	0,20	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,03	0,03	0,10	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

6 priedas. Žiemos sezono sekmadienio paros valandiniai koeficientai (41)

Val./Procesas	Paslaugų/Gyvent. vėsinimas	Skalbinimas	Džiovinimas	Indų plovimas	Ventiliacija (Paslaugų)	Cementas	Pramonės vėsinimas	Pramonės vedinimas	Vandens tiekinimas
1	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,85	1,00	1,00
2	0,80	0,00	0,00	0,03	0,50	1,00	0,90	1,00	1,00
3	0,80	0,00	0,00	0,12	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
4	0,80	0,00	0,00	0,06	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
5	0,80	0,00	0,00	0,03	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
6	0,80	0,00	0,00	0,03	0,70	1,00	0,85	1,00	1,00
7	0,89	0,00	0,00	0,10	0,90	1,00	0,70	1,00	1,00
8	1,00	0,06	0,00	0,03	1,00	1,00	0,50	1,00	0,67
9	1,00	0,15	0,00	0,03	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
10	1,00	0,50	0,03	0,23	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
11	1,00	1,00	0,25	0,59	1,00	1,00	0,50	1,00	0,33
12	1,00	1,00	0,20	0,59	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
13	1,00	0,88	0,88	0,71	1,00	1,00	0,55	1,00	0,33
14	1,00	0,75	0,88	0,35	1,00	1,00	0,60	1,00	0,33
15	1,00	0,69	1,00	1,00	1,00	1,00	0,65	1,00	0,33
16	1,00	0,56	0,50	0,59	1,00	1,00	0,70	1,00	0,33
17	1,00	0,44	0,45	0,47	1,00	1,00	0,75	1,00	0,33
18	1,00	0,50	0,45	0,35	0,90	1,00	0,70	1,00	0,33
19	1,00	0,62	0,30	0,29	0,80	1,00	0,60	1,00	0,33
20	1,00	0,56	0,25	0,23	0,70	1,00	0,60	1,00	0,67
21	1,00	0,38	0,18	0,29	0,50	1,00	0,80	1,00	1,00
22	1,00	0,19	0,30	0,18	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
23	0,89	0,15	0,75	0,12	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00
24	0,80	0,10	0,45	0,06	0,50	1,00	0,95	1,00	1,00

7 priedas. Nuo temperatūros priklausančių įrenginių valandiniai koeficientai (44)

Paklausa	Patalpų šildymas					Vandens šildymas	Patalpų šildymas					Vandens šildymas	Kondicionierius
	Darbo diena						Savaitgalis						Apkrova
°C	<0	0-5	5-10	10-15	>15	visos	<0	0-5	5-10	10-15	>15	visos	visos
1	0,73	0,69	0,68	0,65	0,76	0,76	0,84	0,83	0,82	0,82	0,88	0,88	0,12
2	0,72	0,68	0,66	0,63	0,76	0,76	0,82	0,8	0,8	0,81	0,88	0,88	0,1
3	0,71	0,69	0,68	0,64	0,75	0,75	0,84	0,82	0,8	0,82	0,88	0,88	0,07
4	0,73	0,69	0,69	0,66	0,76	0,76	0,84	0,83	0,82	0,83	0,9	0,9	0,05
5	0,75	0,72	0,71	0,68	0,77	0,77	0,85	0,85	0,83	0,83	0,92	0,92	0,04
6	0,8	0,77	0,76	0,74	0,81	0,81	0,87	0,87	0,84	0,86	0,92	0,92	0,03
7	0,88	0,87	0,87	0,86	0,89	0,89	0,91	0,92	0,9	0,93	0,95	0,95	0,07
8	0,96	0,97	0,96	0,97	0,96	0,96	0,95	0,96	0,95	0,97	0,98	0,98	0,09
9	1	1	1	1	1	1	0,97	0,98	0,98	0,99	1	1	0,11
10	1	0,99	0,97	0,94	0,95	0,95	1	1	1	1	0,99	0,99	0,15
11	0,99	0,96	0,9	0,85	0,9	0,9	0,99	0,99	0,99	0,96	0,97	0,97	0,24
12	0,96	0,93	0,83	0,8	0,86	0,86	0,96	0,95	0,96	0,9	0,93	0,93	0,33
13	0,93	0,89	0,77	0,76	0,85	0,85	0,92	0,92	0,9	0,86	0,91	0,91	0,46
14	0,91	0,86	0,73	0,72	0,83	0,83	0,9	0,9	0,85	0,84	0,89	0,89	0,64
15	0,88	0,86	0,73	0,71	0,8	0,8	0,89	0,9	0,81	0,81	0,88	0,88	0,82
16	0,89	0,86	0,73	0,68	0,79	0,79	0,9	0,89	0,81	0,78	0,85	0,85	0,95
17	0,9	0,86	0,74	0,66	0,77	0,77	0,91	0,9	0,85	0,78	0,84	0,84	1
18	0,9	0,85	0,74	0,64	0,76	0,76	0,93	0,93	0,88	0,77	0,83	0,83	0,98
19	0,9	0,86	0,75	0,64	0,75	0,75	0,97	0,98	0,89	0,78	0,84	0,84	0,84
20	0,88	0,85	0,74	0,65	0,74	0,74	0,99	1	0,9	0,8	0,83	0,83	0,59
21	0,84	0,85	0,75	0,66	0,75	0,75	0,97	0,98	0,92	0,83	0,84	0,84	0,48
22	0,82	0,83	0,75	0,68	0,76	0,76	0,94	0,96	0,93	0,85	0,85	0,85	0,32
23	0,81	0,8	0,75	0,68	0,77	0,77	0,93	0,95	0,91	0,85	0,87	0,87	0,24
24	0,76	0,75	0,72	0,66	0,77	0,77	0,89	0,91	0,89	0,86	0,88	0,88	0,17