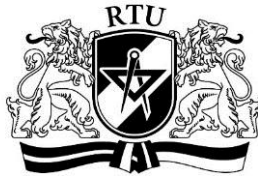


**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts



**Ilze LAICĀNE**

**ELEKTROENERĢIJAS LIETOTĀJU TRILEMMA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2015**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Ilze LAICĀNE**  
Doktora studiju programmas „Vides zinātne” doktorante

## **ELEKTROENERĢIJAS LIETOTĀJU TRILEMMA**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskie vadītāji  
Dr. habil. sc. ing., profesore  
D. BLUMBERGA

Dr. sc. ing., profesore  
A. BLUMBERGA

**Rīga 2015**

UDK 620.9:64(043.2)  
La 241 e

Laicāne I. Elektroenerģijas lietotāju trilemma.  
Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU, 2015. – 47 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma  
sistēmu institūta 2015. gada  
13. marta lēmumu, protokols Nr. 53.

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.



Promocijas darbs izstrādāts Valsts pētījumu programmas projekta „Ilgtspējīga klimata politika un inovatīvi, energoefektīvi tehnoloģiski risinājumi (LATENERGI)” ietvaros.



ISBN 978-9934-542-05-3

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI  
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē “Vides inženierzinātne” iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2015. gada 2. jūlijā plkst. 14:00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Rīgā, Āzenes ielā 12/1 115. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Dr.habil.sc.ing. Ivars Veidenbergs  
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr.sc.ing. Ritvars Sudārs  
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Dr.rer.oec. Irrek Wolfgang  
Ruhr West University of Applied Sciences, Vācija

**APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē “Vides inženierzinātne” iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ilze Laicāne ..... (paraksts)

Datums: 02.07.2015.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā uz 183 lappusēm, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 49 attēlus un ilustrācijas, 18 tabulas, 72 matemātiskās formulas un vienādojumus, 7 pielikumus. Literatūras sarakstā ir 326 nosaukumi

## SATURS

<b>Darba aktualitāte.....</b>	<b>5</b>
<b>Darba mērķis un uzdevumi .....</b>	<b>6</b>
<b>Darba metodika .....</b>	<b>7</b>
<b>Darba zinātniskā nozīme .....</b>	<b>8</b>
<b>Darba praktiskā nozīme .....</b>	<b>9</b>
<b>Darba aprobācija.....</b>	<b>10</b>
<b>Darba struktūra un apjoms.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa analīze.....</b>	<b>13</b>
1.1. Regresijas analīzes rezultāti .....	13
1.2. Markova ķēdes modeļi .....	21
1.2.1. Patēriņa modeļa rezultāti .....	22
1.2.2. Aktivitātes modeļa rezultāti.....	27
1.2.3. Iekārtu izmantošanas modeļa rezultāti .....	29
1.3. Līmeņatzīmes piemērošana mājsaimniecību sektoram.....	31
<b>2. Ietekmes uz klimata pārmaiņām analīze.....</b>	<b>33</b>
<b>3. Energoefektivitātes pasākumu ietekmes modelēšana .....</b>	<b>35</b>
<b>SECINĀJUMI.....</b>	<b>38</b>
<b>IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....</b>	<b>40</b>

## DARBA AKTUALITĀTE

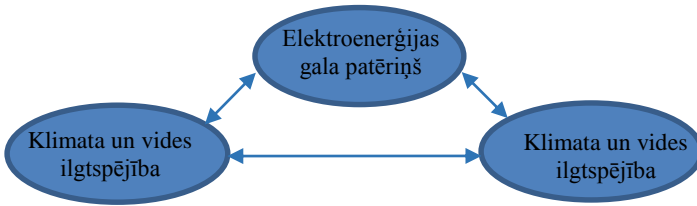
Elektroenerģijas patēriņš mājāsaimniecību sektorā ievērojami pieaudzis gan straujās ekonomiskās attīstības un iedzīvotāju skaita pieauguma dēļ, gan uzlabojoties sabiedrības labklājības līmenim un iedzīvotāju vēlmei to paaugstināt. Tas rada globālas vides problēmas – izmaiņas Zemes atmosfērā, CO<sub>2</sub> emisiju apjoma pieaugumu, energoresursu krājumu izsīkšanu, resursu iegūšanas izmaksas palielināšanos u.c. vides problēmas. Globālā līmenī elektroenerģijas patēriņš mājāsaimniecību sektorā ir vidēji 28 – 30% no kopējā elektroenerģijas patēriņa. Latvijā mājāsaimniecību sektors ir otrs lielākais elektroenerģijas gala patērētājs pēc komerciālā un sabiedriskā sektora. 2013. gadā Latvijas mājāsaimniecības patērēja 27,11% no kopējā elektroenerģijas gala patēriņa, kas ir vidēji 7% no SEG emisiju kopējā apjoma [1, 2].

Ilgspējīga enerģijas (tai skaitā arī elektroenerģijas) patēriņa nodrošināšana un energoefektivitātes paaugstināšanas veicināšana ir viens no galvenajiem pamatprincipiem enerģētikas un klimata politikas veidošanai Eiropā un Latvijā. Vidēi draudzīgas attīstības stratēģijas, rīcības plānu un sistēmiskas pieejas izstrāde ir visracionālākais un konkrētajiem apstākļiem vispiemērotākais vides problēmu risināšanas veids [3]. Viens no būtiskākajiem instrumentiem ilgspējīgai enerģijas patēriņa samazināšanai ir EPS ieviešana. To iespējams pielietot gan valsts un pašvaldību sektorā, dažāda lieluma uzņēmumos un organizācijās, gan mājāsaimniecību līmenī [3]. Lai īstenotu „20-20-20” mērķus līdz 2020. gadam, Eiropas Parlaments un Padome 2008. gada decembrī iestrādāja nosacījumus „Klimata un enerģētikas tiesību aktu kopumā”, kas paredz veicināt atjaunojamo energoresursu, un uzlabotu EPS ieviešanu visos gala patēriņa sektoros. EPS ļauj īstenot monitoringu un panākt ilgspējīgu racionālas enerģijas izmantošanas praksi [4]. Energo pārvaldības ieviešanai mājāsaimniecību sektorā ir liels energoefektivitātes uzlabojuma potenciāls. EPS mērķis ir samazināt enerģijas patēriņu visos sistēmas posmos un uzlabot energoefektivitāti, kā arī paaugstināt enerģijas patērētāju komforta līmeni. Energo pārvaldības ieviešana plašākā mērogā ir ceļš uz oglekļa mazietilpīgu sabiedrību.

ES dalībvalstis ar dažādiem plānošanas dokumentiem un normatīvajiem aktiem apliecinājušas savu vēlmi un rīcību paaugstināt energoefektivitāti [3]. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2006/32/EK noteica, ka līdz 2020. gadam dalībvalstīm energoefektivitātes pasākumu rezultātā jāpanāk enerģijas patēriņa samazinājums par 9% [5]. 2012. gadā Eiropas Parlaments un Padome to aizstāja ar jaunu mērķi – Direktīvu 2012/27/ES, kas nosaka, ka līdz 2020. gadam jāsasniedz enerģijas gala patēriņa samazinājums par 20% un dalībvalstīm jāliek pamati turpmākai energoefektivitātes uzlabošanai pēc 2020. gada [6]. ES ir noteikusi, ka patēriņa samazināšanas mērķu sasniegšanā ir jāraugās no kopējā enerģijas sistēmas viedokļa, iekļaujot energo pārvaldību, inženiertehniskos risinājumus, ekonomikas un vides aizsardzības jautājumus, kā arī katra patērētāja līdzdalību enerģijas efektīvā izmantošanā. Kopējā mērķa – energosektora ilgspējības – sasniegšanai nepieciešama sistēmiska energo pārvaldības ieviešanas pieeja, kas jānodrošina jebkurā enerģijas patērētāja līmenī, sākot no mājāsaimniecībām un beidzot ar pašvaldību un valsti.

Energoefektivitātes paaugstināšana ir kompleksa pieeja patēriņa samazināšanai. Viens no lielākajiem izaicinājumiem ir atrast līdzsvaru starp patēriņa samazinājumu un ar to saistītajiem vides, ekonomiskajiem, sociālajiem un klimata aspektiem. Visbiežāk dažādu enerģētikas un klimata politisko uzstādījumu īstenošana tiek skatīta caur t.s. trilemmas prizmu, kuru veido trīs savstarpēji saistīti aspekti. Pasaules Enerģijas Padome ir definējusi, ka „enerģijas trilemma ir balanss starp enerģijas drošību, vides ilgtspējīgumu un enerģijas pieejamību” [7]. Šajā kontekstā mājāsaimniecību sektora ilgspējīgumu un elektroenerģijas patēriņa samazināšanu var īstenot caur elektroenerģijas lietotāja trilemmu, kas veido balansu un

mijiedarbību starp trīs savstarpēji saistītiem sistēmas elementiem – elektroenerģijas patēriņu, ietekmi uz klimata pārmaiņām un izmaksu līdzsvarotību, kas parādīts 1. attēlā.



1. att. EPS ieviešanas mājāsaimniecībā trilemma

Elektroenerģijas lietotāja trilemma kalpo kā ilgtspējīgas energopārvaldības ieviešanas stratēģija, kas ļauj sasaitīt kopā visus trīs elementus. Mājāsaimniecību sektorā energopārvaldība ir kā atslēga uz energoefektivitātes paaugstināšanu. Trilemmas sistēmas pamatā ir mājāsaimniecības, kuras ar saviem elektroenerģijas patēriņa paradumiem ietekmē kopējās izmaksas. Jo vairāk patērēsi – jo vairāk maksāsi, un otrādi. Ieviešot izmaiņas elektroenerģijas tērēšanas paradumos, ikdienas uzvedībā un nomainot elektriskās iekārtas, mājāsaimniecība gūs ekonomisku labumu no elektroenerģijas ietaupījumiem. Šis ekonomiskais ieguvums atstās pozitīvu ietekmi uz mājāsaimniecībām, jo finansiālos ietaupījumus varēs pielietot citām mājāsaimniecības vajadzībām. Ir zinātniski pierādīts, ka klimata pārmaiņas ietekmē ne tikai dabu, bet arī cilvēkvidi. Klimata izmaiņu rezultātā rodas karstuma viļņi, kas ietekmē cilvēku veselību, un pieaug to dēļ izraisīto nāves gadījumu skaits. Tiek traucēta lauksaimniecības un kultūraugu attīstība, kā dēļ var rasties dažādu pārtikas produktu deficīts un pieaugt to cenas.

Klimata pārmaiņu rezultātā radušās dabas katastrofas vistiešākajā veidā negatīvi ietekmē mājāsaimniecības. Mūsdienās cīņa par CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanu un pret to radītajām sekām uz apkārtējo vidi un cilvēku veselību rada milzīgus izdevumus ne tikai globālā vai valsts līmenī, bet arī attiecībā uz katru individu (tai skaitā mājāsaimniecību iedzīvotājiem). Mājāsaimniecību ekonomiskās iespējas var ietekmēt CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanu, kā rezultātā var uzlabot mājāsaimniecību ekonomisko ieguvumu. Piemēram, ja mājāsaimniecībām būtu vairāk finanšu līdzekļu, tās varētu ieviest un lietot inovatīvas un videi draudzīgas tehnoloģijas, kas samazina patēriņu. Samazinoties elektroenerģijas patēriņam, samazinās arī CO<sub>2</sub> emisijas un līdz ar to arī ietekme uz klimata pārmaiņām. Rezultātā apkārtējā vide kļūst tīrāka un veselībai labvēlīgāka.

Promocijas darba ietvaros ir aplūkots mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektors, kas balstās uz EPS īstenošanas priekšnosacījumu izpēti mājāsaimniecību līmenī.

## DARBA MĒRĶIS UN UZDEVUMI

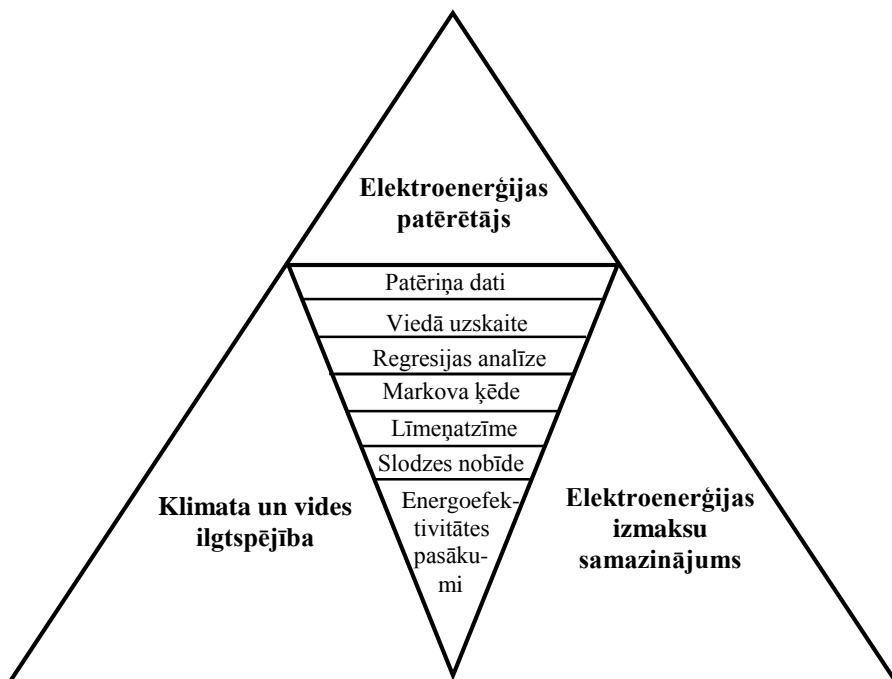
Promocijas darba mērķis ir izveidot un aprobēt priekšnoteikumus EPS ieviešanai mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektorā, kas balstās uz elektroenerģijas patēriņa datu analīzi un energoefektivitātes paaugstināšanas veicināšanu. Mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- veikt mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektora un esošās situācijas izvērtējumu ES un Latvijā, nosakot patēriņu ietekmējošos faktorus un veicot nākotnes prognožu novērtējumu;
- veikt viedo mērīšanas sistēmu ietekmes uz patēriņa samazinājumu novērtējumu;

- analizēt mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņu, izmantojot dažādas datu analīzes metodes:
  - 1) regresijas un korelācijas analīze;
  - 2) viedo skaitītāju ietekmes uz patēriņa samazinājumu novērtējums;
  - 3) CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma novērtējums;
  - 4) iedzīvotāju uzvedības ietekmes novērtējums, balstoties uz Markova ķēdes teoriju;
  - 5) mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa profila izveide un analīze;
- noteikt elektroenerģijas patēriņa līmeņatzīmi mājsaimniecību sektoram, balstoties uz elektroenerģijas patēriņa profila analīzi;
- veikt energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu modelēšanu.

## DARBA METODIKA

Promocijas darbs ir balstīts uz mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektora analīzi un dažādu datu analīzes metožu pielietošanu, kas ir priekšnoteikums EPS ieviešanai mājsaimniecībās. Promocijas darba zinātniskā izpēte balstās uz iepriekš aprakstīto elektroenerģijas lietotāja trilemmu. Promocijas darba izpētes posmu metodikas struktūra parādīta 2. attēlā.



2. att. Promocijas darba metodikas vispārējā struktūra

Zinātnisko datu analīzes mērķis ir veikt EPS īstenošanas priekšizpēti, lai panāktu:

- elektroenerģijas gala patēriņa samazināšanu mājsaimniecībās;

- klimata un vides ilgtspējības nodrošināšanu, kas balstās uz SEG emisiju samazinājumu;
- izmaksu līdzsvaru, kas balstās uz ekonomisko ieguvumu no elektroenerģijas patēriņa samazinājuma.

Darbā ir izmantotas vairākas mājsaimniecību patēriņa datu analīzes pieejas, kuru rezultātā ir novērtēti patēriņu ietekmējoši faktori Latvijā, noteikta viedo skaitītāju ietekme uz patēriņa samazinājumu, novērtēta iedzīvotāju uzvedības ietekme uz patēriņa izmaiņām, kā arī veikta energoefektivitātes paaugstināšanas potenciāla modelēšana. Promocijas darba izstrādē ir izveidoti vairāki datu analīzes modeļi, kuru pamatā izmantotas gan kvantitatīvās, gan kvalitatīvās zinātniski pētnieciskās metodes. Promocijas darbā izstrādātie modeļi ir aprobēti uz AS „Latvenergo” īstenoto pirmo viedo skaitītāju pilotprojektu Latvijā „Energoefektivitātes veicināšana mājsaimniecībās, izmantojot viedās tehnoloģijas” (turpmāk – pilotprojekts), kura realizācija uzsāka 2013. gada 1. aprīlī.

Zinātniskajā izpētē analizētie kvantitatīvie dati balstās uz statistisko informāciju par mērķgrupas un kontrolgrupas mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņu gan pirms pilotprojekta uzsākšanas, gan pilotprojekta laikā un mājsaimniecību anketēšanā iegūtajiem iedzīvotāju personiskajiem, sociālekonomiskajiem (jeb socio-ekonomiskajiem) un demogrāfiskajiem datiem, kā arī uz informāciju par elektrisko iekārtu skaitu un mājsaimniecību strukturālajiem datiem (ēkas tips, celtniecības gads, apkures veids utt.). Arī kvalitatīvie dati iegūti no anketām, kas raksturo mājsaimniecību uzvedību, lietojot iekārtas, kā arī iedzīvotāju attieksmi pret patēriņa samazināšanu. Mājsaimniecību esošās situācijas analīze, patēriņu ietekmējošo faktoru analīze un viedo skaitītāju ietekmes novērtējums veikts, balstoties uz minēto datu statistisko apstrādi, izmantojot matemātiskās statistikas metodes – regresijas analīzi, rezultātā iegūstot empīriskus vienādojumus. Datu apkopšana, apstrāde un analīze veikta, izmantojot *MS Excel* datorvidi un *Statgraphics Centurion XVI* datorprogrammas. CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma aprēķināšana balstās uz patēriņa datu salīdzinājumu pirms un pēc pilotprojekta uzsākšanas.

Promocijas darba ietvaros ir izstrādāta inovatīva pieeja iedzīvotāju uzvedības analīzei un ietekmes uz patēriņa izmaiņām novērtējumam, kas balstās uz Markova ķēdes teoriju. Šī izpēte balstās uz detalizētu un padziļinātu mājsaimniecību iedzīvotāju intervēšanu, kuras mērķis bija noskaidrot, kā iedzīvotāju uzvedība ietekmē patēriņu. Iegūtie dati izmantoti triju atsevišķu Markova ķēdes modeļu izstrādei un analīzei, rezultātā iegūstot mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa profilus četru dienu tipiem (darba dienas un brīvdienas vasarā un ziemā). Iedzīvotāju uzvedība ir analizēta no patēriņa izmaiņu, iedzīvotāju aktivitātes un iekārtu izmantojuma viedokļa. Ar izveidotajiem Markova ķēdes modeļiem ir iespējams prognozēt patēriņu nākotnē. Balstoties uz izveidotajiem patēriņa profiliem, noteikta vidējā elektroenerģijas patēriņa līmeņatzīme mājsaimniecību sektoram. Darbā ir veikta energoefektivitātes pasākumu modelēšana, veicot energoefektīva apgaismojuma ierīkošanas (nomainot kvēlspuldzes pret LED spuldzēm) un iekārtu izslēgšanas no gaidīšanas režīma novērtējumu uz elektroenerģijas patēriņa samazinājumu un slodzes nobīdi.

## DARBA ZINĀTNISKĀ NOZĪME

Promocijas darbā izstrādātā metodika kalpo par pamatu EPS ieviešanai mājsaimniecību patēriņa sektorā. EPS balstās uz elektroenerģijas patērētāja trilemmu – balansa noteikšana starp enerģijas patēriņa samazinājumu, ietekmes uz klimata pārmaiņām mazināšanu un izmaksu līdzsvaru. Darbā ir apskatīts mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektors, īpašu uzmanību pievēršot EPS nozīmībai un patēriņa monitoringa (viedo mērīšanas sistēmu) attīstībai nākotnē, lai veicinātu energoefektivitātes paaugstināšanu mājsaimniecībās.

Promocijas darbā elektroenerģijas patēriņa samazinājums ir noteikts, balstoties uz patēriņa datu analīzi, ietekmējošo faktoru novērtējumu un viedo skaitītāju ietekmes novērtējumu, izmantojot empīriskos regresijas analīzes modeļus. Balstoties uz Markova ķēdes teoriju, ir analizēta iedzīvotāju uzvedība un to ikdienas darbību ietekme uz patēriņu. Iedzīvotāju uzvedība un aktivitātes mājsaimniecībā un ar to saistītais elektroenerģijas izlietojums diennaktis laikā analizēts četriem tipiskiem dienas periodiem (darba dienas un brīvdienas ziemā un vasarā), balstoties uz ko ir izveidots mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa profils. Izveidotie Markova ķēdes modeļi ļauj novērtēt patēriņa prognozi nākotnē. Ietekmes uz klimata pārmaiņām samazinājums veikts, nosakot CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu, pamatojoties uz pilotprojektā sasniegto mājsaimniecību patēriņa samazinājumu 2 gadu laikā. Mājsaimniecību patēriņa samazinājuma potenciāls ir noteikts, balstoties uz atsevišķu energoefektivitātes pasākumu modelēšanu. Promocijas darbā nav veikts detalizēts energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu ieviešanas ekonomiskais novērtējums, bet gan sniegts indikatīvs novērtējums par dotā pasākuma ietekmi uz patēriņa samazinājumu.

Promocijas darbs balstās uz kompleksu mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa un energoefektivitātes paaugstināšanas iespēju izpēti, balstoties uz dažādu datu analīzes modeļu izstrādi un aprobāciju pašreizējās situācijas novērtējumam un patēriņa prognozei nākotnē.

## DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME

Promocijas darbam ir būtiska praktiska vērtība un nozīme. Tajā ir aprakstīts mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektors, kā arī analizēti mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa dati. Darbā izstrādātie modeļi var tikt piemēroti mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektora raksturošanai kopumā.

Darba gaitā tika konstatēts, ka Latvijā ir liels energoefektivitātes paaugstināšanas potenciāls mājsaimniecību sektorā, ko var panākt ar dažādiem pasākumiem – efektīva apgaismojuma ierīkošanu, jaunu, energoefektīvu iekārtu lietošanu, iedzīvotāju informētības uzlabošanu, uzvedības maiņu. Darbā ir izstrādāta uz EPS ieviešanu balstīta pieeja mājsaimniecību sektora analīzei, lai veicinātu energoefektivitātes paaugstināšanu. EPS balstās uz patēriņa datu ieguvī, datu analīzi ar regresijas un Markova ķēdes metodēm, viedās uzskaites novērtējumu, mājsaimniecību patēriņa profila izveidi, līmeņatzīmju piemērošanu, patēriņa samazinājuma, slodžu nobīdes un maksimālā izmantošanas laika jeb pīķa patēriņa samazinājumu modelēšanu, ieviešot energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumus.

Darbā iegūtos rezultātus ir iespējams praktiski izmantot mājsaimniecību patēriņa profila analīzei un energoefektivitātes politikas veidošanai mājsaimniecību sektorā, kas kalpo par pamatu EPS stratēģijas izstrādei un ieviešanai mājsaimniecībās. Darba rezultāti ir piemērojami vairākām mērķa grupām mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektorā:

- politikas veidotājiem un lēmumu pieņēmējiem: balstoties uz izstrādātajiem datu analīzes modeļiem, ir noteikti patēriņu ietekmējošie faktori, kuriem jāpievērš īpaša uzmanība. Modelēšanas rezultāti var tikt izmantoti, lai veicinātu dažādu programmu izstrādi energoefektivitātes paaugstināšanas politikas instrumentu piemērošanai mājsaimniecībās. Izstrādātos modeļus var izmantot, lai prognozētu patēriņa izmaiņas sektorā un noteiktu jaunus patēriņa samazinājuma un energoefektivitātes mērķus;
- elektroenerģijas apgādes uzņēmumiem: ir aprakstīts veids, kā analizēt mājsaimniecību patēriņa datus, balstoties uz pieejamo datu un informācijas apjomu. Darbā izstrādātos modeļus iespējams izmantot mājsaimniecību patēriņa izmaiņu prognozēšanai nākotnē, tādējādi prognozējot nepieciešamās elektrosistēmas izmaiņas. Zinātnisko datu analīze var kalpot par pamatu uzņēmuma viedo mērīšanas sistēmu attīstībai nākotnē;

- mājsaimniecībām: darba rezultāti var kalpot par informatīvo materiālu mājsaimniecību iedzīvotājiem energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumu ieviešanai un to ietekmes uz patēriņa samazinājumu novērtējumam.

## **DARBA APROBĀCIJA**

Darba rezultāti ir apspriesti un prezentēti šādās zinātniskajās konferencēs:

1. Konferencē „The 2<sup>nd</sup> International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics” ar referātu „Markov chain modelling of household activity profiles based on user behaviour analysis: a Latvian case study” – 2015. gada 18.-19. jūnijā, Guimaraēs, Portugālē.
2. Konferencē „The 14<sup>th</sup> Conference on Applied Mathematics 2015” ar referātu „Application of Markov Chain Approach in Simulation and Analysis of Domestic Electricity Consumption in Latvia” – 2015. gada 3.-5. februārī, Bratislavā, Slovākijā.
3. 55. RTU zinātniskajā konferencē, sekcijā „Vides un klimata tehnoloģijas” ar referātu „Reducing Household Electricity Consumption: The Role of Home Appliance Scheduling, Improved Energy Performance and User Behavioural Change” – 2014. gada 14.-16. oktobrī, Rīgā, Latvijā.
4. 55. RTU zinātniskajā konferencē, sekcijā „Vides un klimata tehnoloģijas” ar stenda referātu „Comparative Multiple Regression Analysis Of Households’ Electricity Use In Latvia: Using Smart Meter Data To Examine The Effect Of Different Households’ Characteristics” – 2014. gada 14.-16. oktobrī, Rīgā, Latvijā.
5. 55. RTU zinātniskajā konferencē, sekcijā „Vides un klimata tehnoloģijas” ar stenda referātu „Analysis of electricity user behavior: case study based on results from extended household survey” – 2014. gada 14.-16. oktobrī, Rīgā, Latvijā.
6. Konferencē „The 5<sup>th</sup> International Conference Biosystems Engineering 2014” ar referātu “Determinants of Household Electricity Consumption Savings: A Latvian Case Study” – 2014. gada 8.-9. maijā, Tartu, Igaunijā.
7. Konferencē „The 8<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Energy & Environment „Recent Advances in Energy and Environmental management”” ar referātu „Forecasting electricity consumption based on smart metering case study in Latvia” – 2013. gada 16.-19. jūlijs, Rodas salā, Grieķijā.
8. Konferencē „The European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies” ar referātu „The Effect of the Flows of Information on Residential Electricity Consumption: Feasibility Study of Smart Metering Pilot in Latvia” – 2013. gada 11.-12. jūnijā, Erlangenā/Nimbegā, Vācijā.
9. Konferencē „The 4<sup>th</sup> International Conference „Biosystems Engineering 2013” ar referātu „Assessment of Changes in Households’ Electricity Consumption” – 2013. gada 9.-10. maijā, Tartu, Igaunijā.
10. Konferencē „The 5th International Conference „Environmental Science and Education in Latvia and Europe: Resources and Biodiversity” ar referātu „Energy End Users Behaviour. Research Groups” – 2012. gada 19. oktobrī, Rīgā, Latvijā.

## Monogrāfija

Blumberga D., Veidenbergs I., Valtere S., Gedrovičs M., Bažbauers G., Blumberga A., Žandeckis A., Žogla G., Kalniņš S., Laicāne I., Beloborodko A., Kirsanovs V., Timma L., Muižniece I., Kļaviņa K., Lauka D. // *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem*. 2. daļa. Rīga: RTU izdevniecība, 2015. 118 lpp. ISBN 978–9934–10–595–1.

### Promocijas darba rezultātus atspoguļojošas zinātniskās publikācijas

1. Laicane I., Gehsbargs A., Blumberga D., Blumberga A. Markov chain modelling of household activity profiles based on user behaviour analysis: a Latvian case study // *Proceedings of the 2nd International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics*, Portugal, Guimarães, June 18-19, Vol.xx, No.x, (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
2. Gehsbargs A., Laicane I., Blumberga D., Blumberga A. Application of Markov Chain Approach in Simulation and Analysis of Domestic Electricity Consumption in Latvia // *Proceedings of the 14th Conference on Applied Mathematics, APLIMAT 2015*, Slovakia, Bratislava, February 3-5, Vol. 1, No. 1, (2015), p. 309-326. ISBN 978–80–227–4143–3. (publicēts, indeksēts SCOPUS).
3. Laicane I., Blumberga D., Blumberga A., Rosa M. Evaluation of Household Electricity Savings. Analysis of Household Electricity Demand Profile and User Activities // *Energy Procedia*, Vol. xx, No.x, (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
4. Laicane I., Blumberga D., Blumberga A., Rosa M. Reducing Household Electricity Consumption Through Demand Side Management: the Role of Home Appliance Scheduling and Peak Load Reduction // *Energy Procedia*, Vol. xx, No. x. (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
5. Laicane I., Blumberga D., Blumberga A., Rosa M. Comparative Multiple Regression Analysis Of Households' Electricity Use In Latvia: Using Smart Meter Data To Examine The Effect Of Different Households' Characteristics // *Energy Procedia*, Vol. xx, No. x. (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
6. Poznaka L., Laicane I., Blumberga D., Blumberga A., Rosa M. Analysis of electricity user behavior: case study based on results from extended household survey // *Energy Procedia*, Vol. xx, No. x. (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
7. Barisa A., Rosa M., Laicane I., Sarmins R. Application of Low-Carbon Technologies for Cutting Household GHG Emissions // *Energy Procedia*, Vol. xx, No. x. (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
8. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D., Bariss U. Development of Methodology for the Assessment of Changes in Household Electricity Consumption and Calculation of CO<sub>2</sub> Emissions // *International Journal of Global Warming*, Vol. xx, No. x. (2015), pp. xx-xx. (raksts apstiprināts publicēšanai, indeksēts SCOPUS).
9. Bariss U., Laicane I., Blumberga D. Analysis of Factors Influencing Energy Efficiency in a Smart Metering Pilot // *Energetika*, Vol. 60, No. 2, (2014), pp. 125-135. ISSN 0235–7208 (publicēts, indeksēts SCOPUS un Web of Science).
10. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D. Determinants of Household Electricity Consumption Savings: A Latvian Case Study // *Agronomy Research*, Vol. 12, No. 2, (2014), pp. 527–542. (publicēts, indeksēts SCOPUS).

11. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D., Bariss U. Forecasting electricity consumption based on smart metering case study in Latvia // *Proceedings of the 8<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Energy & Environment „Recent Advances in Energy and Environmental management”, Series: „Energy, Environmental and Structural Engineering”, Greece, Rhodes island, July 16-19, 2013, Vol. 13, No. 1, (2013), pp. 148-156. (publicēts, indeksēts SCOPUS).*
12. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D., Bariss U. The Effect of the Flows of Information on Residential Electricity Consumption: Feasibility Study of Smart Metering Pilot in Latvia // *Proceedings of 2013 European Conference on Smart Objects, Systems and Technologies, Erlangen/Nuremberg, Germany, June 11-12, (2013), pp. 1-9. (publicēts, indeksēts IEEE Xplore).*
13. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D. Development of Methodology for the Assessment of Changes in Household Electricity Consumption and Calculation of CO<sub>2</sub> Emissions // *International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies 2013”, Latvia, Riga, October 15-16, 2013, Riga: RTU. Institute of Energy Systems and Environment, (2013), pp. 15-15.*
14. Laicane I., Blumberga A., Rosa M., Blumberga D. Assessment of Changes in Households' Electricity Consumption // *Agronomy Research, Vol. 11, No. 2, (2013), pp. 335-346. (publicēts, indeksēts SCOPUS).*
15. Laicane I., Blumberga A., Timma L., Romagnoli F., Blumberga D. Energy End Users Behaviour. Research Groups // *Proceedings of the 5th International Conference “Environmental Science and Education in Latvia and Europe: Resources and Biodiversity”, Riga, Latvia, October 19, (2012), pp. 24-26.*

#### **Citas zinātniskās publikācijas**

1. Skujevska A., Romagnoli F., Zoss T., Laicane I., Blumberga D. Wind energy versus natural gas in Latvia: policy evaluation with a System Dynamic simulation // *Proceedings of the 2013 International Conference on Energy, Environment, Ecosystems, and Development, Series: „Recent Advances in Energy, Environment, Ecosystems and Development”, Rhodes island, Greece, July 16-19, (2013), pp. 141-155. (publicēts, indeksēts SCOPUS).*
2. Blumberga A., Blumberga D., Bazbauers G., Zogla G., Laicane I. Sustainable Development Modelling for the Energy Sector // *Journal of Cleaner Production, Vol. 63, (2013), pp. 134-142. (publicēts, indeksēts SCOPUS).*
3. Ziemele J., Blumberga D., Talcis N., Laicane I. Industrial Research of Condensing Unit for Natural Gas Boiler House // *Journal of Environmental and Climate Technologies, Vol. 10, (2012), pp. 34-38. (publicēts, indeksēts SCOPUS).*
4. Laicane I., Blumberga A. Ecoinnovation Diffusion in the Building Energy Efficiency Market // *In: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Riga, Latvia, October 11-12, (2012), pp. 151.*
5. Ziemele J., Blumberga D., Laicane I., Talcis N. Industrial Research of Condensing Unit for Natural Gas Boiler House // *In: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Riga, Latvia, October 11-12, (2012), pp. 161.*
6. Blumberga A., Blumberga D., Bazbauers G., Zogla G., Laicane I. Sustainable Development Modeling for Energy Sector // *Proceedings of Global and Regional Research on Sustainable*

*Consumption & Production: Achievements, Challenges, and Dialogues Global Research Forum*, Rio de Janeiro, Brazil, June 13-15, (2012), pp. 1-13.

7. Blumberga A., Zogla G., Laicane I. Planning and Evaluation Tool for Energy Efficiency Policy in Housing Sector in Latvia // *Proceedings of the International Energy Programm Evaluation Conference*, Rome, Italy, June 12-14, (2012), pp. 1-12.

8. Blumberga D., Lipsane L., Laicane I., Gusca J., Kalnins S.N. Analysis of Wood Fuel Chain in Latvia // *Agronomy Research*, Vol. 10, No. 1, (2012), pp. 25-38. (publicēts, indeksēts SCOPUS).

9. Laicane I., Rosa M., Dzene I. Application of CO<sub>2</sub> Taxes for Combustion Installations in Latvia until 2020 // *Scientific Journal of Riga Technical University, Series 13 „Environmental and Climate Technologies”*, Vol. 6, (2011), pp. 44-48.

## DARBA STRUKTŪRA UN APJOMS

Promocijas darbs sastāv no 3 galvenajām daļām: 1) literatūras apskata un analīzes, 2) pētījuma metožu apraksta un analīzes modeļu aprobācijas, 3) pētījuma rezultātiem un to analīzes.

Darba gaitā ir veikti atsevišķi izpētes posmi, kas balstās uz izvirzītajiem izpētes mērķiem – EPS ieviešanas priekšnosacījumu izpēti, datu analīzi un energoefektivitātes paaugstināšanu mājāsaimniecībās. Pirmajā daļā ir sniegts literatūras apskats un akcentēti galvenie pētījumi par mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņu ES, pasaulē un Latvijā. Šajā daļā ir sniegts patēriņu ietekmējošo faktoru skaidrojums, analizēti EPS ieviešanas priekšnosacījumi, dots patēriņa monitoringa sistēmas un viedās mērīšanas sistēmu apskats un to ietekmes uz patēriņa samazinājumu novērtējums, kā arī sniegts Latvijā pirmā viedo skaitītāju pilotprojekta apraksts. Otrajā daļā ir izvērtētas galvenās patēriņa datu analīzes metodes un izveidoti patēriņa datu un iedzīvotāju uzvedības analīzes modeļi. Trešajā daļā sniegti izpētē iegūtie rezultāti, kas balstās uz modeļu aprobāciju viedo skaitītāju pilotprojekta datu analīzei. Darba noslēgumā ir sniegti izpētes secinājumi un priekšlikumi nākotnei. Promocijas darbā ir 183 lappuses, t.sk. 49 attēli, 19 tabulas, 72 matemātiskās formulas un vienādojumi, 7 pielikumi un literatūras saraksts ar 325 literatūras avotiem. Promocijas darba kopsavilkumā nav iekļauts literatūras apskats.

## 1. MĀJSAIMNIECĪBU ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA ANALĪZE

### 1.1. REGRESIJAS ANALĪZES REZULTĀTI

Vairākos pētījumos Eiropā un Pasaulē ir veikts dažādu faktoru ietekmes uz mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa izmaiņām novērtējums. Iedzīvotāju socio-ekonomisko, mājāsaimniecību apstākļu, elektrisko iekārtu lietošanas un citu faktoru ietekmes uz mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa izmaiņām novērtējumam visbiežāk tiek izmantota statistiskās analīzes metode – vairākfaktoru regresijas analīze [8-23].

Promocijas darbā mājāsaimniecību elektroenerģijas patēriņa novērtējumam tika izmantots vairākfaktoru lineārais regresijas modelis, kas vispārīgā veidā tiek izteikts ar šādu vienādojumu [24-27]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon, \quad (1)$$

kur:

Y – rezultatīvā pazīme jeb atkarīgais mainīgais lielums;

$\beta_0$  – regresijas funkcijas koeficienti (parametri), kas parāda rezultatīvās pazīmes Y vidējo pieaugumu atkarībā no faktoriālās pazīmes X pieauguma par vienu vienību;  
 $X_1...X_p$  – faktoriālās pazīmes jeb neatkarīgie mainīgie lielumi;  
 $\beta_1 - \beta_p$  ir regresijas koeficienti, kas nosaka skaitlisku asociāciju starp atkarīgo mainīgo un neatkarīgajiem faktoriem;  
 $\varepsilon$  – gadījuma kļūdas novirze, kas apraksta atšķirības starp mainīgajiem.

Regresijas analīzes modelis tika aprobēts uz AS „Latvenergo” pilotprojekta datiem, balstoties uz šādiem izejas datiem:

- elektroenerģijas patēriņa dati par mērķgrupu un kontrolgrupu laika periodā no 2012. gada 1. aprīļa līdz 2014. gada 31. martam;
- māsasaimniecību anketēšanas dati – informācija par māsasaimniecību personiskajiem, demogrāfiskajiem, socio–ekonomiskajiem apstākļiem, izmantotajam elektriskajām iekārtām, iedzīvotāju informētību, uzvedību un attieksmi attiecībā uz elektroenerģijas lietojumu māsasaimniecībā un energoefektivitāti, kā arī dati par ēku strukturālo raksturojumu.

Nemot vērā to, ka elektroenerģijas patēriņu ietekmējošo faktoru novērtēšanai bija pieejams ļoti liels potenciālo neatkarīgo mainīgo kopums, analīzē tika izmantots vairākfaktoru regresijas modelis „Uz priekšu vērstu solņveida atlase”. Tas darīts ar mērķi, lai no regresijas analīzei izvēlētajiem parametriem tiktu atlasīti tikai statistiski nozīmīgākie faktori 95 % ticamības intervālā, kas vislabāk raksturo patēriņa izmaiņas [14]. Lai veiktu pēc iespējas precīzāku regresijas analīzi, potenciālie ietekmējošie faktori tika iedalīti 2 atsevišķos statistisko datu kopumos – kvantitatīvie un kvalitatīvie dati. Kvantitatīvie dati ir dažādas nominālās jeb skaitliskās vērtības, kas apkopotas no anketu datiem – piemēram, māsasaimniecības ienākumi, iedzīvotāju skaits, respondenta vecums, ienākumu līmenis u.c. Kvalitatīvie dati, kas raksturo parametru kategoriju vērtības (ēkas tips, respondenta dzimums, izglītības līmenis u.c.) un binārās vērtības (elektrisko iekārtu esamība (jā/nē), u.c.). Elektroenerģijas patēriņa un anketēšanas datu apkopšana, apstrāde un analīze veikta, izmantojot MS Excel datorvidi un *Statgraphics Centurion XVI* datorprogrammu.

Gala analīzei tika izveidoti 3 atsevišķi regresijas modeļi:

- 1. regresijas modelis: elektroenerģijas patēriņa izmaiņu novērtēšanai, izmantojot pilotprojekta pirmā gada mērķgrupas patēriņa datus un 67 kvantitatīvos parametrus;
- 2. regresijas modelis: elektroenerģijas patēriņa izmaiņu novērtēšanai, izmantojot pilotprojekta pirmā gada mērķgrupas patēriņa datus un 23 kvalitatīvo datu parametrus;
- 3. regresijas modelis: patēriņa ietaupījumus noteicošo faktoru novērtēšanai, izmantojot pilotprojekta mērķgrupas un kontrolgrupas māsasaimniecībās sasniegtos elektroenerģijas patēriņa ietaupījumus pirmā gada laikā 168 kvalitatīvos un kvantitatīvos parametrus. Modelī tika iekļauts neatkarīgais mainīgais “dalības grupa”, kur 1 apzīmē dalību mērķgrupā, bet 0 – dalību kontrolgrupā, kā tas atspoguļots citos pētījumos [28, 29];

Balstoties uz vienādojumu (1) un analīzē iekļauto 255 māsasaimniecību gadījumu skaitu, tika iegūts 1. regresijas modeļa empīriskais vienādojums:

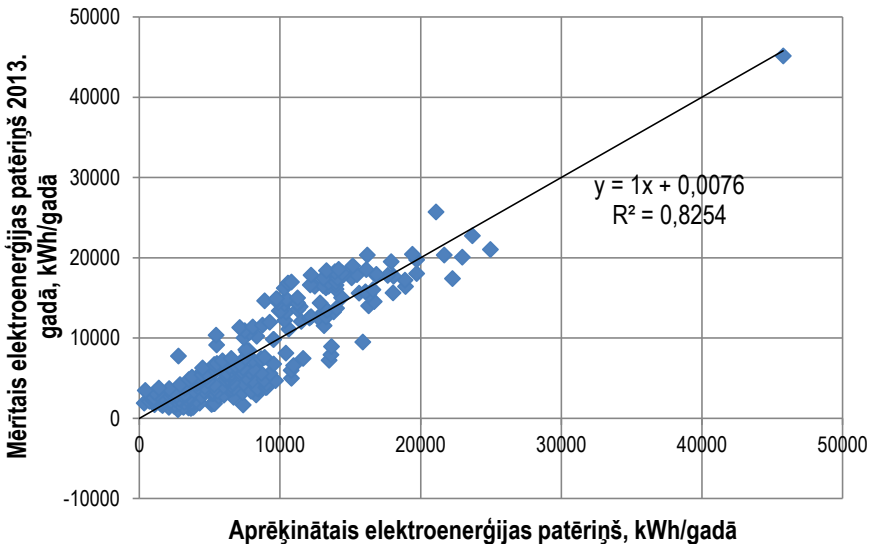
$$E_l = -5044,7 + 23,2418 \cdot P + 764,535 \cdot C + 0,0543022 \cdot I_{en} + 107,118 \cdot G_{adi} + 53,8391 \cdot E_{sp} + 1543,84 \cdot E_p + 2611,5 \cdot E_{pc} + 1860,31 \cdot E_{fr} - 475,484 \cdot E_{cvi} - 1316,91 \cdot E_{vz} + 2082,57 \cdot E_{saun} - 2529,21 \cdot E_{ps} + 1291,51 \cdot E_t + 1430,09 \cdot E_c + 1235,71 \cdot E_{gm} + 947,7 \cdot E_{vent} + 384,042 \cdot E_{ag} + 11295,5 \cdot E_{ms} + 549,552 \cdot E_{cāt} \quad (2)$$

kur:

E – gada elektroenerģijas patēriņš mērķgrupas māsasaimniecībās (no 2013. gada 1. aprīļa līdz 2014. gada 31. martam), kWh;

$P$  – mājsaimniecības platība,  $m^2$ ;  
 $C$  – mājsaimniecības iedzīvotāju skaits, cilvēki;  
 $I_{en}$  – mājsaimniecības kopējie ienākumi gadā pēc nodokļu nomaksas, EUR/gadā;  
 $G$  – respondenta vecums, gadi;  
 $E_{sp}$  – energoefektīvo spuldžu skaits;  
 $E_p$  – elektrisko plīšu skaits;  
 $E_{pc}$  – elektrisko plīšu kopā ar cepeškrāsni skaits;  
 $E_{fr}$  – fritēru skaits;  
 $E_{cvi}$  – citu virtuves ierīču (piemēram, radio, virtuves kombains, sulu spiede, blenderis, u. c.) skaits;  
 $E_{vz}$  – atsevišķu veļas žāvētāju skaits;  
 $E_{saun}$  – elektrisko saunu vai elektrisko pīršu skaits;  
 $E_{ps}$  – putekļu sūcējs skaits;  
 $E_t$  – tīlpuma ūdens sildītāju skaits;  
 $E_c$  – caurplūdes ūdens sildītāju skaits;  
 $E_{gm}$  – gaisa mitrinātāju skaits;  
 $E_{vent}$  – ventilācijas iekārtu skaits;  
 $E_{ag}$  – apsildāmo grīdu tikai daļā telpu skaits;  
 $E_{ms}$  – elektrisko malkas skaldītāju skaits;  
 $E_{cāt}$  – citu elektroierīču, ko izmanto ārpus telpām, skaits.

Sakarības starp mērīto un aprēķināto elektroenerģijas patēriņu 1. regresijas modelim, izmantojot iegūto empīrisko vienādojumu (2), ir parādītas 3. attēlā.



3. att. Sakarības starp mērīto un aprēķināto elektroenerģijas patēriņu

1. regresijas modeļa (skat. empīrisko vienādojumu (2)) novērtējums dots 1. tabulā (rezultāti iegūti no *Statgraphics Centurion XVI* datorprogrammas).

## Elektroenerģijas patēriņa izmaiņu empīriskā modeļa (2) raksturojums

Parametrs	Novērtējums	Standarta kļūda	T - kritērijs	P - vērtība	
Konstante	-5044,7	1079,45	-4,6734	0,0000	
P	23,2418	2,38586	9,74149	0,0000	
C	764,535	141,935	5,38651	0,0000	
Ien	0,0543022	0,0243987	2,22562	0,0270	
G	107,118	19,6452	5,45264	0,0000	
E <sub>sp</sub>	53,8391	8,64796	6,22564	0,0000	
E <sub>p</sub>	1543,84	375,964	4,10636	0,0001	
E <sub>pe</sub>	2611,5	517,545	5,04595	0,0000	
E <sub>fr</sub>	1860,31	619,291	3,00393	0,0030	
E <sub>cvi</sub>	-475,484	97,3118	-4,88619	0,0000	
E <sub>vz</sub>	-1316,91	531,699	-2,4768	0,0140	
E <sub>saun</sub>	2082,57	579,379	3,59449	0,0004	
E <sub>ps</sub>	-2529,21	427,638	-5,91437	0,0000	
E <sub>t</sub>	1291,51	289,532	4,46067	0,0000	
E <sub>c</sub>	1430,09	566,996	2,52222	0,0123	
E <sub>gm</sub>	1235,71	458,615	2,69443	0,0076	
E <sub>vent</sub>	947,7	206,764	4,58348	0,0000	
E <sub>ag</sub>	384,042	157,388	2,44009	0,0154	
E <sub>ms</sub>	11295,5	1674,16	6,74697	0,0000	
E <sub>cāt</sub>	549,552	200,661	2,73871	0,0066	
Dispersijas analīze					
Avots	Kvadrātu summa	Df	Vidējais kvadrāts	F - attiecība	<b>P – vērtība</b>
Modelis	8,52578 · 10 <sup>9</sup>	19	4,48726 · 10 <sup>8</sup>	58,48	<b>0,0000</b>
Atlikumi	1,80312 · 10 <sup>9</sup>	235	7,67286 · 10 <sup>6</sup>		
Kopā (Corr.)	1,03289 · 10 <sup>10</sup>	254			
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup></b> (korigētais)	Novērojumu standarta kļūda	Vidējā absolūtā kļūda	Durbin-Watson statistika	Atlikumu autokorelācija
<b>82,5429 %</b>	81,1315 %	2769,99	2120,27	1,45603 (P=0,0000)	0,271125

1. regresijas modeļa korelācijas koeficients ( $R^2$ ) norāda, ka 19 modelī iekļautie statistiski nozīmīgie faktori ļauj izskaidrot 82,54% no elektroenerģijas patēriņa izmaiņām. Regresijas modeļa p-vērtība ir 0,0000, kas norāda, ka modelī iekļautie neatkarīgie mainīgie ir statistiski nozīmīgi 95% ticamības intervālā. Iegūtie izpētes rezultāti parāda, ka lielākā daļa no faktoriem rada pozitīvu ietekmi uz patēriņa izmaiņām, kas ir saskaņā ar citiem pētījumiem, proti, palielinoties ēkas platībai [8-9, 11-15, 17-20, 22-23, 28-50], iedzīvotāju skaitam [8-9, 11-18, 30-34, 43-47, 51-56], ienākumiem [8-9, 11-15, 21, 28-43, 51-55, 57-67], respondenta vecumam [11, 14, 19, 30, 33, 37, 40, 42, 44, 45, 47, 68], elektriskajām ēkas apsildes sistēmām [11, 16, 22, 45, 46, 67, 69-71], elektriskajām plītnīm ar vai bez cepeškrāns [14, 19, 45, 46, 57], elektriskajām saunām vai elektriskajām pirtīm [69], elektriskajām ūdens uzsildes sistēmām [12, 14, 16-19, 28, 29, 45, 69, 71], elektroenerģijas patēriņš pieaug. Gaisa mitrinātāji, ventilācijas iekārtas un energoefektīvās spuldzes rada pozitīvu ietekmi uz patēriņu, kas atšķiras no citos pētījumos konstatētā [11, 14-15, 17, 53]. No 1. regresijas modeļa rezultātiem izriet, ka veļas

žāvētāji un putekļu sūcēji rada statistiski nozīmīgu negatīvu ietekmi uz patēriņa izmaiņām, kas ir pretēji citos pētījumos, konstatētajam, kur veļas žāvētāji [12, 14, 15, 17, 19, 28, 29, 45, 57, 69] un putekļu sūcēji [45] pozitīvi ietekmē patēriņa izmaiņas. Friteri, elektriskie malkas skaldītāji un citas elektroierīces, ko izmanto ārpus telpām, rada statistiski nozīmīgu pozitīvu ietekmi, bet citas virtuves ierīces – statistiski nozīmīgu negatīvu ietekmi uz patēriņa izmaiņām. Konkrēto elektrisko iekārtu ietekme uz patēriņa izmaiņām literatūrā nav atsevišķi pētīta, tāpēc 1. regresijas modeļa rezultātus nevar salīdzināt ar citiem pētījumiem.

Balstoties uz vienādojumu (1) un analizē iekļauto 351 mājsaimniecību gadījumu skaitu, tika iegūts 2. regresijas modeļa empīriskais vienādojums:

$$E = 16918,2 - 1758,39 \cdot D + 5061,7 \cdot M - 970,701 \cdot E_{LED} - 1292,93 \cdot Z_{LED} - 1367,09 \cdot EP_{gr} - 1648,89 \cdot S_{izd} - 2918,31 \cdot I_{EE} + 2744,91 \cdot I_{tmp} - 4125,28 \cdot S_{pgdb} \quad (3)$$

kur:

D – respondenta dzimums;

M – mājsaimniecības veids (privātmāja, dzīvoklis);

E<sub>LED</sub> – telpu apgaismojumam pārsvarā izmanto LED spuldzes;

Z<sub>LED</sub> – iedzīvotāji ir labi informēti par energoefektīvo un LED spuldžu priekšrocībām salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm;

EP<sub>gr</sub> – iedzīvotāji vienmēr izslēdz elektroierīces no gaidīšanas režīma;

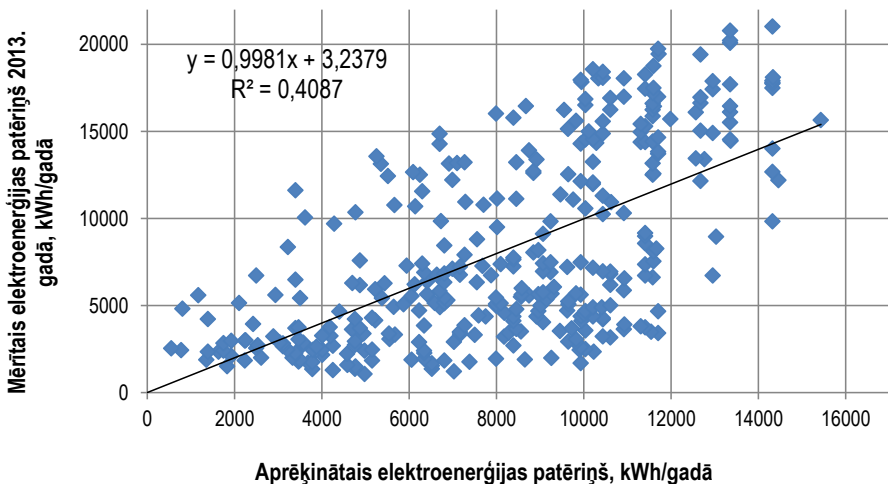
S<sub>izd</sub> – samazināt izdevumus par patērēto elektroenerģiju mudinātu iedzīvotājus efektīvāk izmantot elektroenerģiju;

I<sub>EE</sub> – interese saņemt informāciju par energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumiem;

I<sub>tmp</sub> – interese saņemt salīdzinošu informāciju par tipisku (vidējo) elektrības patēriņu mājsaimniecībās, kas patērē līdzīgu elektroenerģijas apjomu;

S<sub>pgdb</sub> – mājsaimniecībai ir siltināts pagrabs, grīda, durvis, bēniņi, logu blīvējumi.

Sakarības starp mērīto un aprēķināto elektroenerģijas patēriņu 2. regresijas modelim ir parādītas 4. attēlā.



4. att. Sakarības starp mērīto un aprēķināto elektroenerģijas patēriņu

2. regresijas modeļa (skat. empīrisko vienādojumu (3)) novērtējums dots 2. tabulā.

2. tabula

Elektroenerģijas patēriņa izmaiņu empīriskā modeļa (3) raksturojums

Parametrs	Novērtējums	Standarta kļūda	T - kritērijs	P - vērtība	
Konstante	16918,2	3068,57	5,51337	0,0000	
D	-1758,39	475,02	-3,70173	0,0002	
M	5061,7	534,764	9,46529	0,0000	
$E_{LED}$	-970,701	318,006	-3,05246	0,0024	
$Z_{LED}$	-1292,93	497,477	-2,59897	0,0098	
$EP_{gr}$	-1367,09	395,257	-3,45872	0,0006	
$S_{izd}$	-1648,89	478,224	-3,44794	0,0006	
$I_{EE}$	-2918,31	570,475	-5,11558	0,0000	
$I_{imp}$	2744,91	543,145	5,05374	0,0000	
$S_{pgdb}$	-4125,28	1165,36	-3,53991	0,0005	
Dispersijas analīze					
Avots	Kvadrātu summa	Df	Vidējais kvadrāts	F - attiecība	P – vērtība
Modelis	$4,23265 \cdot 10^9$	9	$4,70294 \cdot 10^8$	26,27	<b>0,0000</b>
Atlikumi	$6,08579 \cdot 10^9$	340	$1,78994 \cdot 10^7$		
Kopā (Corr.)	$1,03184 \cdot 10^{10}$	449			
$R^2$	$R^2$ (koriģētais)	Novērojumu standarta kļūda	Vidējā absolūtā kļūda	Durbin-Watson statistika	Atlikumu autokorelācija
<b>40,87%</b>	39,459%	4230,77	3469,74	0,795813 (P=0,0000)	0,597153

2. regresijas modeļa korelācijas koeficients norāda, ka 9 modeļi iekļautie statistiski nozīmīgie parametri ļauj izskaidrot 40,87% no elektroenerģijas patēriņa izmaiņām. 2. regresijas modeļa p-vērtība ir 0,0000, kas nozīmē, ka modeļi iekļautie neatkarīgie mainīgie ir statistiski nozīmīgi 95% ticamības intervālā. Šāda zinātnisko datu analīze parāda, ka, jo lielāka māsaimniecība, jo vairāk iedzīvotāji ir ieinteresēti saņemt informāciju par tipveida māsaimniecības patēriņu, jo lielāks elektroenerģijas patēriņš. Arī citos pētījumos konstatēts, ka privātmājās ir lielāks patēriņš [11, 13-15, 19, 23, 30, 32, 33, 35, 39-41, 44, 45, 49, 50]. Saskaņā ar 2. regresijas modeļa rezultātiem pārējie faktori – ja respondents ir sieviete, ja telpu apgaismojumam pārsvarā izmanto LED spuldzes, ja iedzīvotāji ir labi informēti par LED spuldžu priekšrocībām salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm, ja iedzīvotāji izslēdz elektroierīces no gaidīšanas režīma, vēlas samazināt izdevumus par patērēto elektroenerģiju, ir interese saņemt informāciju par energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumiem un māsaimniecībai ir siltināts pagrabs, grīda, durvis, bēniņi, logu blīvējumi, tad tas samazina patēriņu. 2. regresijas modeļa rezultāti sakrīt ar citos pētījumos konstatēto – sievietes ir lielākās elektroenerģijas patēriņa taupītājas [72-76], jo lielāks ir ēkas siltumizolācijas līmenis, jo mazāks ir elektroenerģijas patēriņš [14], jo vairāk iedzīvotāji ir informēti par enerģijas patēriņa samazināšanas iespējām, jo vairāk viņi ir motivēti to samazināt [43, 73, 77-80], jo vairāk iedzīvotāji iegādājas un lieto energoefektīvākas iekārtas, jo mazāks patēriņš [14, 18, 19, 21, 31, 37, 43, 67, 77, 81], jo vairāk izmantotas LED spuldzes un jo zinošāki ir iedzīvotāji par LED spuldžu priekšrocībām, jo mazāks ir patēriņš [11, 12, 81].

3. regresijas modeļa empīriskais vienādojums, balstoties uz 348 mērķgrupas un kontrolgrupas gadījumu izpēti, kas raksturo elektroenerģijas patēriņa ietaupījumus noteicošos faktorus, ir:

$$E_{iet} = 809,336 + 331,761 \cdot Gr + 176,549 \cdot E_{ka} - 464,125 \cdot E_{cvi} + 299,506 \cdot E_{port} + 327,643 \cdot E_{plans} + 891,037 \cdot E_c - 892,334 \cdot E_{ev} + 472,703 \cdot E_{saun} + 2241,58 \cdot E_{sol} + 128,405 \cdot E_{KTV} - 177,651 \cdot E_{gk} + 422,292 \cdot E_{evsk} + 2,83176 \cdot P + 994,207 \cdot E_{p.sild} + 900,579 \cdot E_{zsilt} - 1406,28 \cdot E_{aus} + 774,831 \cdot J + 3509,59 \cdot E_{gsilt} + 1816,02 \cdot S_{kol} \quad (4)$$

kur:

$E_{iet}$  – elektroenerģijas patēriņa ietaupījumi 2013. gadā, kWh;

$Gr$  – daļības grupa (mērķgrupa vai kontrolgrupa);

$E_{port}$  – portatīvo datoru esamība mājsaimniecībā;

$E_{plans}$  – planšetdatoru esamība mājsaimniecībā;

$E_{ev}$  – elektrisko vārtu esamība mājsaimniecībā;

$E_{sol}$  – solārija iekārtu skaits mājsaimniecībā;

$E_{KTV}$  – parasto televizoru ar kineskopu skaits mājsaimniecībā;

$E_{gk}$  – gaisa kondicionieru skaits mājsaimniecībā;

$E_{evsk}$  – elektrisko vārtu skaits mājsaimniecībā;

$E_{p.sild}$  – pārvietojamo elektrisko sildītāju skaits mājsaimniecībā;

$E_{zsilt}$  – elektriskās apkures ar zemes siltumsūkni esamība mājsaimniecībā;

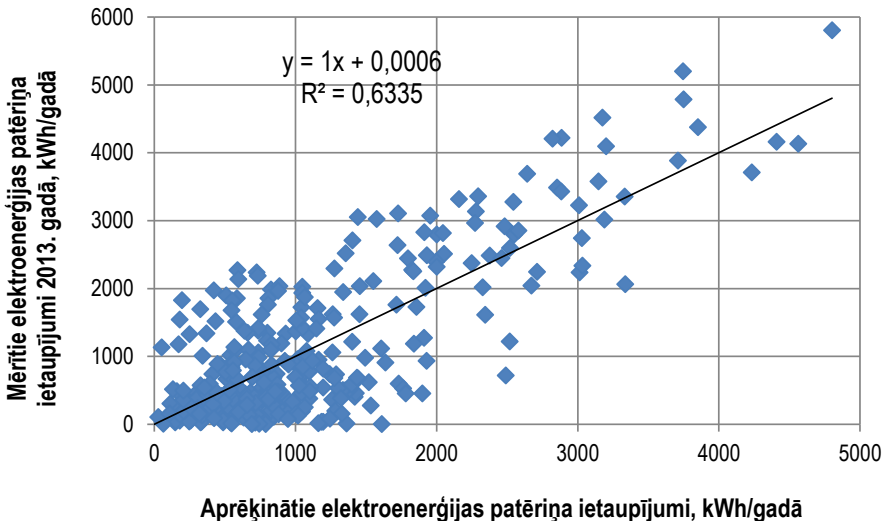
$E_{aus}$  – apkures sistēma ar ūdens siltumnesēju esamība mājsaimniecībā;

$J$  – elektrodu katla esamība mājsaimniecībā;

$E_{gsilt}$  – gaisa siltumsūkņa sistēmas esamība mājsaimniecībā;

$S_{kol}$  – saules kolektoru esamība mājsaimniecībā;

Sakarības starp mērītajiem un aprēķinātajiem elektroenerģijas patēriņa ietaupījumiem, izmantojot iegūto regresijas vienādojumu (4), ir parādītas 5. attēlā.



5. att. Sakarības starp mērītajiem un aprēķinātajiem patēriņa ietaupījumiem

Empīriskā vienādojuma (4) novērtējums dots 3. tabulā.

3. tabula

Elektroenerģijas patēriņa ietaupījumu empīriskā modeļa (4) raksturojums

Parametrs	Novērtējums	Standarta kļūda	T – kritērijs	P – vērtība	
Konstante	809,336	180,721	4,47836	0,0000	
Gr	331,761	76,7802	-4,32092	0,0000	
E <sub>ka</sub>	176,549	82,2051	2,14767	0,0325	
E <sub>cvī</sub>	-464,125	122,377	-3,7926	0,0002	
E <sub>por</sub>	299,506	96,5475	3,10216	0,0021	
E <sub>plans</sub>	327,643	86,3992	3,79219	0,0002	
E <sub>c</sub>	891,037	134,795	6,61033	0,0000	
E <sub>ev</sub>	-892,334	201,554	-4,42727	0,0000	
E <sub>saun</sub>	472,703	140,054	3,37514	0,0008	
E <sub>sol</sub>	2241,58	546,113	4,10461	0,0001	
E <sub>KTV</sub>	128,405	33,3872	3,84594	0,0001	
E <sub>gk</sub>	-177,651	65,6817	-2,70472	0,0072	
E <sub>evsk</sub>	422,292	130,97	3,22434	0,0014	
P	2,83176	0,342475	8,26852	0,0000	
E <sub>p.sild</sub>	994,207	188,343	5,2787	0,0000	
E <sub>zsilt</sub>	900,579	130,065	6,92408	0,0000	
E <sub>aus</sub>	-1406,28	696,249	-2,01979	0,0442	
J	774,831	246,986	3,13714	0,0019	
E <sub>gsilt</sub>	3509,59	487,09	7,20521	0,0000	
S <sub>kol</sub>	1816,02	359,341	5,05376	0,0000	
Dispersijas analīze					
Avots	Kvadrātu summa	Df	Vidējais kvadrāts	F – attiecība	P – vērtība
Modelis	2,61374 · 10 <sup>8</sup>	19	1,37565 · 10 <sup>7</sup>	29,84	<b>0,0000</b>
Atlikumi	1,51234 · 10 <sup>8</sup>	328	461079		
Kopā (Corr.)	4,12608 · 10 <sup>8</sup>	347			
R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> (korigētais)	Novērojumu standarta kļūda	Vidējā absolūtā kļūda	Durbin–Watson statistika	Atlikumu autokorelācija
<b>63,35%</b>	61,22%	679,028	516,417	1,92759 (P=0,2501)	0,0355323

3. regresijas modeļa korelācijas koeficients (R<sup>2</sup>) norāda, ka 19 modelī iekļautie faktori ļauj izskaidrot 63,35% no elektroenerģijas patēriņa ietaupījumiem. Kopumā zinātniskās izpētes rezultāti parādīja, ka viedajiem skaitļtājiem ir statistiski nozīmīga ietekme uz elektroenerģijas patēriņa ietaupījumiem un lielāki ietaupījumi tika panākti mērķgrupā, salīdzinot ar kontrolgrupu. Pozitīvu statistiski nozīmīgu ietekmi uz patēriņa ietaupījumiem rada dalības grupa, ēkas platība, kafijas automāti, portatīvie datori, planšetdatori, saunas, solāriji, kineskopa televizori, elektrisko vārtu skaits, pārvietojamo elektrisko sildītāju skaits, zemes siltumsūkņu esamība, elektrodu katla esamība, gaisa siltumsūkņa un saules kolektoru esamība – pieaugot minēto faktoru vērtībām, elektroenerģijas patēriņa ietaupījumi pieaug.

Daži no šiem faktoriem sakrīt ar citiem pētījumiem, kur konstatēts, ka elektroenerģijas patēriņa ietaupījumi palielinās, ja mājstaimniecības ir viedo skaitļtāju grupā [9, 28, 29, 43, 77,

82-109], līdz ar platības pieaugumu [77, 81], elektriskās ēkas un ūdens apsildes esamību [178] un energoefektīvu, tai skaitā saules enerģijas tehnoloģiju izmantošanu [14, 18, 19, 21, 31, 37, 43, 67, 77, 81]. 4 faktori – citas virtuves iekārtas, elektrisko vārtu esamība, gaisa kondicionieri un apkures sistēma ar ūdens siltumnesēju – rada negatīvu ietekmi uz patēriņa ietaupījumiem. Attiecībā uz gaisa kondicionieri, citos pētījumos konstatēts, ka to lietošana, īpaši vasaras sezonā, palielina patēriņu [12, 16, 17, 21, 31, 37, 41, 52, 70, 71].

## 1.2. MARKOVA ĶĒDES MODEĻI

Promocijas darbā ir izstrādāta inovatīva pieeja iedzīvotāju uzvedības aspektu analīzei un elektroenerģijas patēriņa datu modelēšanai un prognozēšanai, kas balstās uz Markova ķēdes teoriju. Promocijas darba kopsavilkumā nav sniegts detalizēts Markova ķēdes teorijas apraksts, Markova ķēdes procesu modelēšanas pamati un matemātiskās formulas un to skaidrojums, uz ko balstās darbā veiktā izpēte. Balstoties uz 3 izstrādātajiem Markova ķēdes modeļiem, ir izveidots un analizēts mājsaimniecības elektroenerģijas patēriņa profils. Zemāk ir sniegts īss Markova ķēdes teorijas apraksts un galvenās formulas, bet detalizēts apraksts ir sniegts promocijas darba 2.3. un 2.4. nodaļās.

Markova ķēde ir varbūtības modelēšana nākotnes prognozēm, balstoties uz ko var izstrādāt nejašu gadījumu attīstību aprakstošo matemātisko modeli diskrētos laikos (notikumi tiek novēroti noteiktos laika momentos), kur pagātnes notikumi ietekmē nākotni tikai ar tagadnes notikumiem [110]. Markova ķēde ir definēta kā „neatkarīgo mēģinājumu virkņu vispārinājums un teorijas pamatā ir hipotēze, ka  $n + 1$  mēģinājumu rezultāta atkarība no visiem iepriekšējiem mēģinājumu rezultātiem izpaužas tikai caur  $n$ -tā mēģinājuma rezultātu” [111-113]. Šāds modelis balstās uz varbūtību noteikšanu stāvokļu pārejām no viena stāvokļa uz citu stāvokli. Kaut arī zināmi sistēmas visi iepriekšējie stāvokļi, sistēma ir atkarīga tikai no tā, kurā stāvoklī sistēmas atrodas  $n-1$  solī [113]. Šādām Markova ķēdēm gan to stāvokļu telpa, gan laiks ir diskrēti [113]. Ja ir doti gadījuma lielumi, kam ir veselu skaitļu vērtības, to pieraksta  $S$  elementu virknē kā  $\{X_n\}_{n \geq 0}$ , kur  $X_n = j$ , ja  $n$ -tajā mēģinājumā ir iestājies notikums  $E_j$ , tad šī virkne  $\{X_n\}_{n \geq 0}$  veido Markova ķēdi, ko pieraksta ar šādu vienādojumu [111-113]:

$$P(X_n = j | X_0 = k_0, X_1 = k_1, \dots, X_{n-2} = k_{n-2}, X_{n-1} = i) = P(X_n = j | X_{n-1} = i) =: p_{ij}^{(n)}, \sum_j p_{ij}^{(n)} = 1, \quad (5)$$

kur:

$p_{ij}^{(n)}$  – pārejas varbūtība no  $i$  uz  $j$  soļa laikā  $n$ -tajā solī;

$i$  un  $j$  – notikumu pārejas stāvokļi;

$k$  – diskrētā laika periods.

Markova ķēdes teorijā ļoti svarīgs ir sākuma stāvokļu sadalījums, kas tiek aprakstīts ar šādu sakarību [111, 113]:

$$P(X_0 = j) = p_j^{(0)}, \sum_j p_j^{(0)} = 1, j = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Jebkurā gadījumā izpildās nosacījums, ka Markova ķēdes stāvokļu varbūtību summa ir 1, ko pieraksta šādā formā [111-115]:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (7)$$

Lai veiktu Markova ķēdes procesu, ir svarīgi, lai izpildītos Markova īpašība [112, 113]:

$$P(X_n = k_n | X_0 = k_0, \dots, X_{n-1} = k_{n-1}) = \frac{P_{k_0}^{(0)} \cdot P_{k_0 k_1}^{(1)} \cdots P_{k_{n-1} k_n}^{(n)}}{P_{k_0}^{(0)} \cdots P_{k_{n-2} k_{n-1}}^{(n-1)}} = P_{k_{n-1} k_n}^{(n)} = P(X_n = k_n | X_{n-1} = k_{n-1}), \quad (8)$$

kur:

$P_{k_0}^{(0)}, P_{k_0 k_1}, P_{k_{n-1} k_n}$  – varbūtību sadalījumi, kas ir neatkarīgi viens no otra.

Pārejas varbūtību matrica P apraksta sistēmas izmaiņas pēc viena soļa, tomēr reālās sistēmās tiek veikta modelēšana, balstoties uz vairākiem sistēmā iespējamajiem soļiem, ko apzīmē ar  $k$ . Šajā gadījumā pārejas varbūtība  $k$  soļiem tiek apzīmēta kā  $p_{ij}(k) := P(X_k = j | X_{k-1} = i)$ ,  $k \geq 0$ ,  $i, j \geq 1$  un pilnās varbūtības formula, kur summēšana notiek pa visiem sistēmas stāvokļiem, ir [111, 113]:

$$p_{ij}(k) = \sum_S P(X_{k-1} = s | X_0 = i) P(X_k = j | X_{k-1} = s) = \sum_S p_{is}(k-1) p_{is}. \quad (9)$$

Kopējo sadalījumu, kas rodas visu notikumu varbūtību rezultātā, pieraksta šādā veidā [110]:

$$P(X_0 = i_0, X_1 = i_1, X_2 = i_2, \dots, X_n = i_n) = \mu(i_0) \cdot p_{i_0, i_1}(0,1) \cdot p_{i_1, i_2}(1,2) \cdots p_{i_{n-1}, i_n}(n-1,n), \quad (10)$$

kur:

$\mu(i)$  – notikumu sākotnējā sadalījuma funkcija.

Ja Markova ķēde ir vienādi sadalītu neatkarīgu gadījuma lielumu virkne, kas mainās laikā, tad Markova ķēdi apraksta ar šādām pārejas varbūtībām [111]:

$$p_{ij} = P(X_n = j | X_{n-1} = i), \quad (11)$$

un šādu pārejas varbūtību matricu P [111, 113]:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

Līdzīgi kā Markova ķēdes stāvokļu varbūtību summa ir 1, tā arī matricas elementu rindu summa ir vienāda ar 1.

### 1.2.1. PATĒRIŅA MODEĻA REZULTĀTI

„Patēriņa modelis” ir izstrādāts, balstoties uz Markova ķēdes teoriju, izmantojot 315 mājsaimniecību pusstundu apkopotos elektroenerģijas patēriņa datus no 2013. gada aprīļa līdz 2014. gada martam. Analīze balstījās uz 4 tipisku dienas veidu izpēti – vasarai (jūlija mēnesim) un rudenim (oktobra mēnesim), darba dienām un brīvdienām, lai radītu modeļus katram gadalaikam atsevišķi. Tā kā pieejamajā patēriņa datu kopā patēriņš pusstundas laikā parādīja

ļoti mazas vērtības (ap 0 kWh) un ļoti lielas vērtības (līdz 10-12 kWh) un patēriņa sadalījumam ir liela nobīde, tad patēriņa dati tika apstrādāti, izmantojot sadalījuma decimāllogaritm. Decimāllogaritmā priekšrocība ir, ka prognozētais patēriņš netiek noteikts kā vidējā vērtība, bet gan kā elektroenerģijas patēriņa decimāllogaritmā vidējā vērtība. Decimāllogaritms uzlabo esošo datu sadalījumu, no esošās datu kopas atrodot labāku vidējā patēriņa patēriņu, jo samazina iespēju, ka liela patēriņa mājsaimniecības var būtiski ietekmēt prognozēšanas rezultātu. Izmantojot šo sadalījumu, patēriņš tika sadalīts 20 patēriņa grupās, kas noteikti kā Markova ķēdes stāvokļi, kur pirmais stāvoklis raksturo zemāku elektroenerģijas patēriņa līmeni un pēdējais – augstāku patēriņa līmeni:

**Pirmais stāvoklis:** vidējais patēriņš  $w < 0,0002 \text{ kWh}$ ,

**Otrais stāvoklis:** vidējais patēriņš  $0,0002 \text{ kWh} \leq w < 0,069 \text{ kWh}$ ,

**Trešais stāvoklis:** vidējais patēriņš  $0,069 \text{ kWh} \leq w < 0,11 \text{ kWh}$ ,

**Deviņpadsmitais stāvoklis:** vidējais patēriņš  $2,14 \text{ kWh} \leq w < 2,69 \text{ kWh}$ ,

**Divdesmitais stāvoklis:** vidējais patēriņš  $w \geq 2,69 \text{ kWh}$ .

Šajā Markova modelī  $20 \times 20$  stāvokļu pāreju matrica, kas noteikta pēc 12 vienādojuma, tika aprēķināta katram laika posmam (pusstundai). Katrs  $p_{ij}(k)$  matricas elements norāda varbūtību, kā patēriņš pāries no stāvokļa  $i$  uz stāvokli  $j$  laika posmā no  $k$  uz  $k + 1$ . Ņemot vērā to, ka pārejas stāvokļu maiņas varbūtības dienas laikā ievērojami mainās, analīzei tika izmantots nestacionārs Markova ķēdes modelis 4 dienas veida kombinācijām. Rezultātā tika izveidotas 48 Markova stāvokļu pārejas varbūtību matricas, kas parāda stāvokļu maiņu varbūtības pie pusstundu laika momentiem  $t = 00:00, t = 00:30, t = 01:00, \dots$ , līdz  $t = 23:30$ . Markova ķēdes stāvokļi tika noteikti visas diennakts garumā un izmantoti, lai aprēķinātu prognozēto vidējo patēriņu kopumā 1000 simulētajām mājsaimniecībām. Prognozētās vidējās vērtības tiek aprēķinātas, izmantojot šādus vienādojumus:

$$\bar{l}(t) = \sum_{k=1}^{20} p_k(t) l_k, \quad (13)$$

$$\bar{w}(t) = 10^{\bar{l}(t)}, \quad (14)$$

kur:

$k$  – Markova ķēdes stāvoklis laika momentā  $k$ ;

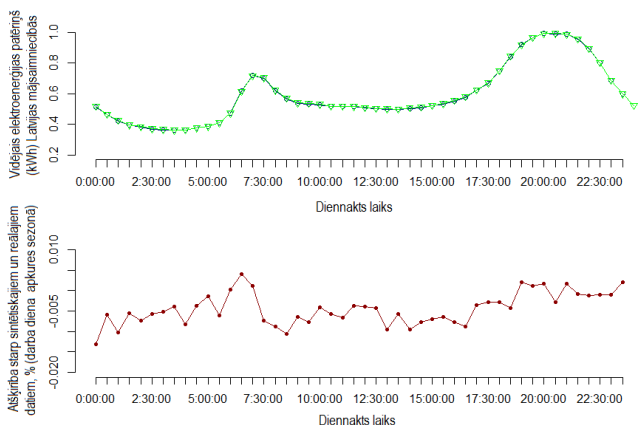
$t$  – diskrētie laika intervāli, kas mainās diapazonā no 00:00 – 23:30 ar pusstundas soli;

$p_k(t)$  – to mājsaimniecību daļa, kas apskatītajā laika intervālā  $t$  atrodas stāvoklī  $k$  attiecībā pret kopējo simulēto mājsaimniecību skaitu (1000 mājsaimniecības);

$l_k$  – elektroenerģijas patēriņa decimāllogaritmā sadalījuma vidējā vērtība  $k$  stāvoklim;

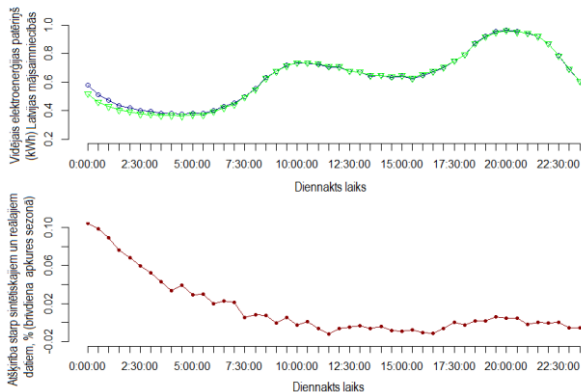
$\bar{w}(t)$  – elektroenerģijas patēriņš, kWh.

Simulācijas rezultātā iegūto modelēto elektroenerģijas patēriņa un reālā (uz empīriskiem datiem balstīto) patēriņa profilu un starp tiem novērtēto atšķirību salīdzinājums darba dienām un brīvdienām rudens sezonai parādīts 6. un 7. attēlos, bet 8. un 9. attēlos – vasaras sezonai.



6. att. Vidējie patēriņa profili modelētajiem (zaļi trijstūri) un reālajiem (tumši zili apli) datiem un to kļūdu atšķirības (%) darba dienai apkures sezonā

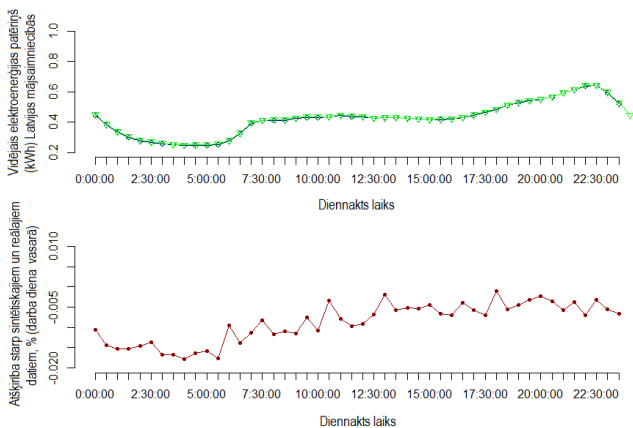
Kā redzams 6. attēlā, vidējais un modelētais patēriņa profils darba dienām oktobrī praktiski sakrīt, un kļūda starp modelētajiem un reālajiem datiem ir mazāka par 1%. (6. att. apakšējais grafiks). Nelielas sākotnējās atšķirības rudens darba dienās skaidrojamas ar Markova ķēdes sākotnējā stāvokļa izvēli. Šāds stāvoklis izvēlēts ņemot vērā mājāsaimniecību sadalījumu starp Markova stāvokļiem sākotnējā laika atskaites periodā 00:00, kas tika novērtēts caur visiem empīriskajiem datiem. Pēc papildus modelēšanas veikšanas tika secināts, ka, ja sākotnējais stāvoklis tiek izvēlēts, balstoties tikai uz mājāsaimniecību sadalījumu starp stāvokļiem brīvdienās, šādas atšķirības samazinās. Līdzīgi secinājumi arī par reālajiem un modelētajiem patēriņa profiliem oktobra brīvdienās (skat. 7. attēlu).



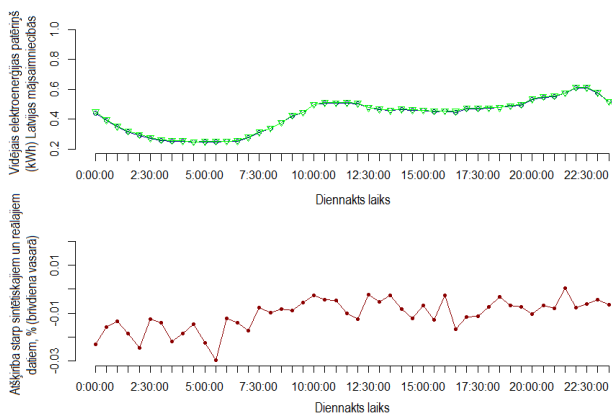
7. att. Vidējie patēriņa profili modelētajiem (zaļi trijstūri) un reālajiem (tumši zili apli) datiem un to kļūdu atšķirības (%) brīvdienai apkures sezonā

Kā redzams 7. attēla augšējā grafikā, Markova modelis parāda nedaudz zemāku patēriņa profilu brīvdienai profilam modelēšanas sākumposmā (laikā ap 00:00), kas visticamāk varētu būt saistīts ar nepareizi (t.i. pēc nejaušības principa) izvēlētu sākuma vērtību. Tomēr pat

ja tiek nepareizi izvēlēts sākuma stāvoklis, Markova modelis nākamajos laika soļos pietuvina rezultātus reālajiem datiem. Attiecībā uz kļūdu atšķirību (skat. 7. attēlā apakšējo grafiku), var redzēt, ka, ņemot vērā reālo un modelēto profilu atšķirību sākuma laika momenta, arī kļūda starp profiliem ir lielāka (pat nedaudz virs 1%). Tomēr ar laiku šī kļūda samazinās, jo reālie un modelētie profili ar laiku tiek vairāk pielīdzināti viens otram.



8. att. Vidējie patēriņa profili modelētajiem (zaļi trijstūri) un reālajiem (tumši zili apli) datiem un to kļūdu atšķirības (%) darba dienai vasaras sezonā



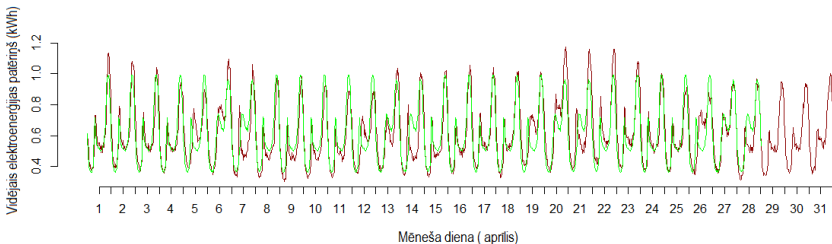
9. att. Vidējie patēriņa profili modelētajiem (zaļi trijstūri) un reālajiem (tumši zili apli) datiem un to kļūdu atšķirības (%) brīvdienai vasaras sezonā

Kā redzams no iegūtajiem rezultātiem vasaras sezonai (8. un 9. attēls), modelētie un reālie elektroenerģijas patēriņa profili vasaras sezonai ir nedaudz precīzāki ar mazākām kļūdas robežām. To var skaidrot ar to, ka vasaras laikā patēriņa profils dienas laikā ir mazāk stohastisks un līdz ar to var veikt precīzāku modelēšanu ar Markova ķēdi. Salīdzinot reālos un simulētos elektroenerģijas patēriņa profilus, lielākoties atšķirības starp iegūtajiem rezultātiem ir

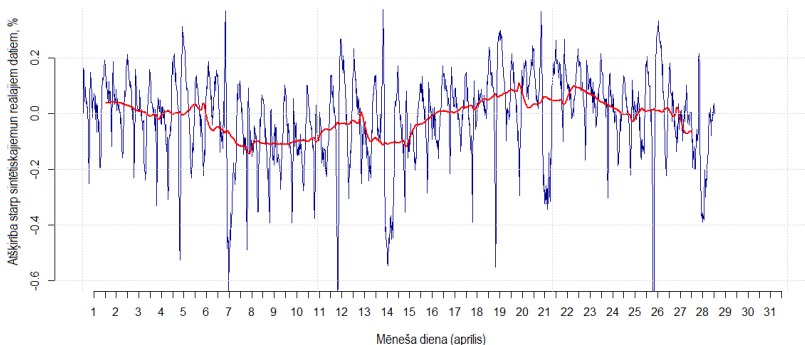
mazākas par 3% visiem datiem, visām dienu tipu kombinācijām. Šī analīze ļauj secināt, ka Markova ķēdes izmantošana ir piemērota standarta jeb vidējo patēriņa profilu modelēšanai ar lielu precizitāti. Turklāt, pat ja sākotnējie mājsaimniecību stāvokļi ir zināmi ar nelielu kļūdu iespējamību, tālākā modelēšanas laikā šādas kļūdas konverģē jeb sakrīt (saplūst).

Nākamajā analīzes posmā tika veikta oktobra mēneša elektroenerģijas patēriņa prognozēšana, balstoties uz oktobra datiem noteiktajām Markova matricām noteiktiem dienu tipiem (jeb t.s. izlases tests). Par šīs analīzes ievaddatiem tika izmantoti reālie elektroenerģijas patēriņa dati no 315 mājsaimniecībām katrā oktobra dienai. Rezultāti parādīja, ka Markova ķēdes modelis prognozē lielākas patēriņa vērtības, nekā tās ir patiesībā. Starp modelētajiem un reālajiem patēriņa profiliem novērotas lielākas atšķirības, nekā vidējo dienas profilu simulācijai, tomēr vidējā kļūda iekļaujas 10% robežās.

Lai pārbaudītu, vai Markova modelis var tikt izmantots to pašu patērētāju uzvedības simulācijai citās sezonās, tika modelēts elektroenerģijas patēriņa profils aprīļa mēnesim, izmantojot iepriekš aprakstītās oktobra mēnesim noteiktās matricas. Lai veiktu šādu šķēršvalidācijas testu, sākotnējie stāvokļi un decimālogaritma vidējās vērtības tika pārrēķinātas uz aprīļa mēnesi, tas ir, tika noteikts šī mēneša elektroenerģijas patēriņa līmenis, izmantojot oktobra datus. Modelētais aprīļa mēneša profils tika salīdzināts ar reālajiem aprīļa patēriņa datiem un salīdzinošie rezultāti attēloti 10. un 11. attēlā. Kā redzams 11. attēlā, starp modelētajiem un reālajiem datiem ir novērotas lielākas patēriņa datu atšķirības, vidēji  $\pm 10\%$  robežās. Tas norāda, ka, piemērojot uz oktobra datiem balstītos Markova ķēdes stāvokļus aprīļa datiem, kļūdu vērtības pieaug. Arī citos pētījumos ir konstatētas reālo un modelēto datu neatbilstības [116-141].



10. att. Prognozētais (zaļā krāsā) un reālais (sarkanā krāsā) elektroenerģijas patēriņš 2013. gada aprīlī



11. att. Atšķirību starp prognozēto un reālo patēriņu 2013. gada aprīlī dinamika

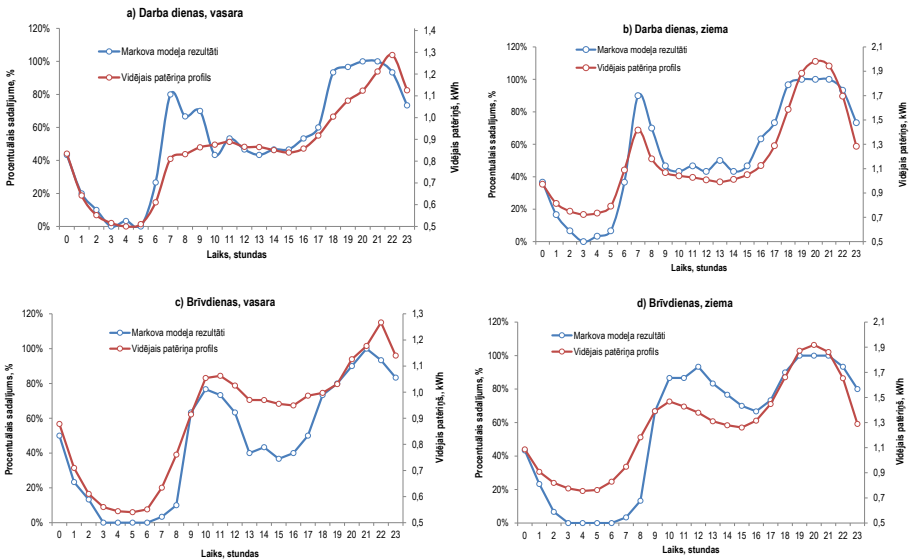
No izpētes rezultātiem izriet, ka Markova ķēdes, kas noteiktas oktobra darba dienām, dod mērenu precizitāti aprīļa darba dienu profila modelēšanai. Ja oktobra darba dienu Markova ķēdes stāvokļus piemērotu brīvdienu prognozes veikšanai, tad precizitāte būtu vēl zemāka. Tādēļ, lai sasniegtu augstāku precizitāti, Markova ķēdes jāpielāgo katrai sezonai un dienas veidam atsevišķi.

Kopumā var secināt, ka elektroenerģijas patēriņa datu analīzei izstrādātais „Patēriņa modelis” parāda, ka modelētie elektroenerģijas patēriņa profili var tikt reālistiski atveidoti. Vienīgie nepieciešamie ievaddati Markova ķēdei bija mājsaimniecību sadalījums Markova ķēdes stāvokļos sākotnējā laika momentā plkst. 00:00, kur visi patēriņa dati tika ģenerēti no jauna ik pusstundas laika intervālā viena mēneša garumā. Modelēšanas rezultāti liecina, ka „tipiskais” elektroenerģijas patēriņa profils var tikt atspoguļots ar augstu precizitāti, kur atšķirības starp sintētiskajiem un reālajiem datiem ir mazākas par 3%. Šķērsvalidācijas tests parādīja, ka Markova ķēdes ar mērenu precizitāti prognozē cita mēneša elektroenerģijas patēriņu, kur vidējā atšķirība starp modelētajiem un reālajiem datiem ir  $\pm 10\%$  robežās. Turklāt Markova modelis ļauj modelēt elektroenerģijas patēriņa ciklisko raksturu. Tomēr, lai panāktu labāku precizitāti, Markova ķēdes modeļi būtu individuāli jāpielāgo katrai sezonai un dienas veidam. Izstrādātais Markova modelis ir salīdzināms ar citiem pētījumiem [116-141].

### 1.2.2. AKTIVITĀTES MODEĻA REZULTĀTI

Uz Markova ķēdi balstītais „Aktivitātes modelis” tika izveidots, lai pēc iespējas paplašinātu iepriekšējo „Patēriņa modeli”, analizējot varbūtību pāreju sadalījumu, ņemot vērā to, vai mājsaimniecību iedzīvotāji katras konkrētās stundas laikā ir aktīvi vai neaktīvi. „Aktivitātes modeļa” mērķis bija ar Markova ķēdi novērtēt šo stāvokļu ietekmi uz elektroenerģijas patēriņa izmaiņām laikā. „Aktivitātes modelis” tika izveidots, balstoties uz 30 Latvijas mājsaimniecību aktivitātes apsekojumu datiem. „Aktivitātes modelis” balstās uz 2 Markova pārejas stāvokļu definēšanu stundas intervāliem, kur “aktīvi” iedzīvotāji tika apzīmēti ar Markova ķēdes stāvokli “1”, bet neaktīvi – ar “0”. Tādējādi ir iespējami 4 varbūtību pārejas veidi: „0-0”, kas nozīmē, ka noteiktā laika solī mājsaimniecība ir neaktīva un būs neaktīva pēc stundas, un pēc līdzīga principa: „0-1” nozīmē, ka noteiktā laika solī mājsaimniecība ir neaktīva, bet pēc stundas būs aktīvs, utt., pēc tam aprēķinot Markova pārejas varbūtības  $P_{ij}(k)$ , kur, piemēram,  $p_{(0-0)}$ , ir iespēja pārejai no nulles uz nulli (0-0) nākamajam laika posmam utt.

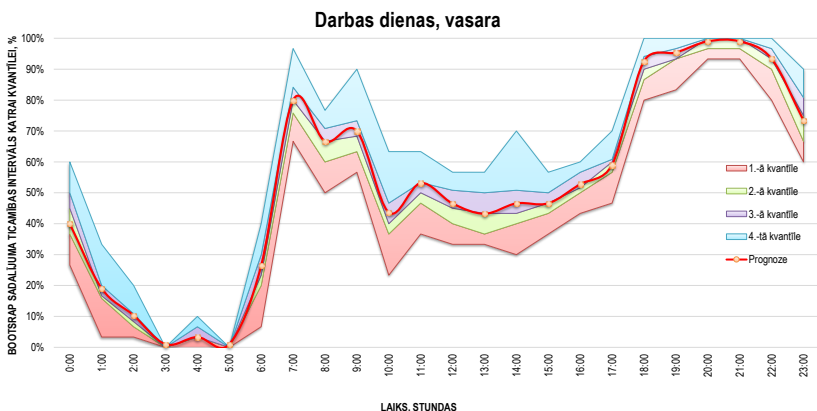
12. attēlā ir parādīti iegūtie Markova modeļa rezultāti vidējai modelētajai aktivitātei četriem tipiskiem dienas veida gadījumiem. Modelētie profili ir salīdzināti ar vidējo mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa profilu konkrētiem dienu veidiem. Markova modeļa rezultāti atspoguļoti kā procentuālais aktivitātes sadalījums katrai stundai (vērtības atspoguļos procentos uz Y ass kreisajā pusē), bet vidējais elektroenerģijas patēriņa profils atspoguļots kilovatstundās (vērtības atspoguļos kWh uz Y ass labajā pusē). Izpētes rezultāti parādīja, ka pastāv atšķirības starp modelēto iedzīvotāju aktivitāti (iegūti ar Markova ķēdi) un vidējo patēriņa profilu. Rezultāti parāda, ka līdzīgas aktivitāšu iezīmes ir labi atveidotas gan Markova modelim, gan vidējam patēriņa profilam. Ir skaidri redzams, ka, ja mājsaimniecība ir vairāk aktīva dienas laikā, tas arī parāda augstāku elektroenerģijas izmantošanu. Modelētie dati parādīja līdzības attiecībā uz „pīķa” patēriņa atspoguļojumu. Pāreja uz aktīvu stāvokli notiek 2 reizes: pirmais „pīķis” parādās agrās rīta stundās, bet otrs – vēlāk vakara stundās. Modelēšanas rezultāti arī parāda salīdzinoši augstu pāreju uz aktīvu stāvokli darba dienā vasarā un ziemā rīta stundās.



12. att. Markova ķēdes modeļa un mājsaimniecību vidēja patēriņa profila salīdzinājums četriem dienu veidiem

Tomēr, kā parāda rezultāti, aktivitātes „pīķi” Markova modelī tiek nedaudz „pārvērtēti”, salīdzinot ar vidējo aktivitātes profilu (skat. 12. attēla a) un b) grafikus). To var skaidrot ar mājsaimniecību intervijās iegūtajiem datiem, kur iedzīvotāji pārsvarā atbildēja, ka viņi ir aktīvi no rīta, tomēr ne vienmēr tas ir saistīts ar pēkšņu jeb “pīķa” patēriņa pieaugumu. Attiecībā uz vasaras brīvdienām, var konstatēt, ka dienas vidū un vakarā stundās Markova modeļa rezultāti parāda krietni mazāku aktivitāti, salīdzinot ar vidējo patēriņa profilu. Savukārt ziemas brīvdienas dienas vidū Markova modeļa rezultāti ir vairāk „pārvērtēti” jeb parāda lielāku aktivitāti, salīdzinājumā ar vidējo profilu. Modelēšanas rezultāti kopumā parāda, ka modelētā lietotāju aktivitāte sakrīt ar mērījumu datiem. Vidējais aktivitātes profils parāda līdzīgu tendenci, kā tas aprakstīts citos pētījumos, kur konstatēta lielāka aktivitāte nedēļas nogalēs, nekā darba dienās, kas saistīts ar lielāku patēriņa līmeni [120, 123-125, 127, 135]. Kā redzams no iegūtajiem rezultātiem, Markova modelis ne vienmēr sniedz precīzu iedzīvotāju aktivitātes reproducēšanas spēju saistībā ar elektroenerģijas lietošanu. Iedzīvotāju aktivitātes modelēšana ar Markova ķēdes metodi parādīja, ka atšķirības starp modelētajiem un reālajiem profiliem bija lielākas par 10%, bet nepārsniedza 30%.

Ņemot vērā to, ka Markova modelis tika izveidots, balstoties uz 30 mājsaimniecību datiem, tika izmantota BOOTSTRAP metode, lai izvērtētu modeļa prognozējamības spēju. BOOTSTRAP metode tiek pielietota statistikas kvantīļu meklēšanai, pēc kurām var noteikt, vai pieņemt vai noraidīt nulles hipotēzi [142-144]. Šī metode ļauj novērtēt izlases datu kopas sadalījumu, izmantojot nejašu izlases gadījumu metodes [143]. BOOTSTRAP būtība ir pieņemt doto izlasi  $X_1, X_2, \dots, X_n$  kā labi reprezentējošu jaunu datu ģenerēšanai, kur tiek veidotas BOOTSTRAP izlases  $X^*_1, X^*_2, \dots, X^*_n$  kā realizācijas no jauniem datiem [142]. 13. attēlā ir parādīts, kā Markova ķēde varētu prognozēt datus, ja tiek izmantota BOOTSTRAP funkcija. Kā piemērs parādīts viens modelēšanas profils – darba dienai vasarā. Kvantīļu attēlojums parāda maksimālo varbūtību novērtējumu ticamības intervālā, kur katra kvantīle tiek parādīta pieļaujamās vērtību joslās. Kvantīļu attēlojums balstās uz datu empīrisko sadalījumu.



13. att. Markova ķēdes modelis datu prognozēšanai, izmantojot BOOTSTRAP funkciju

Modelēšanā tika pieņemtas 4 kvantīļu joslas, kur 1. kvantīle parāda minimālās pieļaujamās varbūtību vērtības, 2. un 3. kvantīle – lielākas pieļaujamās vērtības, bet 4. kvantīle – maksimālās pieļaujamās vērtības. Kā redzams no 13. attēla, lielākas varbūtību vērtību atšķirības ir vērojamas 1. un 4. kvantīlei. 13. attēlā parādīto prognozi (sarkanā līnija) var izmantot, lai modelētu jaunus datus, jo kvantīļu kopu ticamības joslas nepārsniedz 18-20%. Modelēšanas rezultāti parāda, ka maksimālo varbūtību novērtējuma modelis ir asimptotisks ar normālu varbūtību novērtējumu sadalījumu – iespējamo prognozējošo datu vērtības atrodas dotajā pieļaujamo vērtību kopā. Šajā gadījumā patēriņa prognoze atrodas kvantīļu kopu ticamības joslās. Līdz ar to nulles hipotēze var tikt noraidīta un modeli nevar noraidīt vismaz 95% ticamības līmenī.

### 1.2.3. IEKĀRTU IZMANTOŠANAS MODEĻA REZULTĀTI

„Iekārtu izmantošanas modelis” balstās uz 28 Latvijas mājsaimniecību anketēšanas datiem par elektroenerģijas izmantojumu mājsaimniecībā katras stundas laikā. Lai izveidotu šo modeli, interviju laikā tika izveidotas t.s. patēriņa dienasgrāmatas, pierakstot kādas elektriskās iekārtas tiek lietotas mājsaimniecībā ikdienā, cik ilgi tās tiek darbinātas un cik lielu elektroenerģijas apjomu tās patērē, balstoties uz iekārtas jaudu. Tādējādi, balstoties uz patēriņa dienasgrāmatās apkopoto informāciju, ir iespējams novērtēt iedzīvotāju uzvedību, kā tiek lietotas iekārtas. „Iekārtu izmantošanas modelis” Markova stāvokļi tiek definēti atkarībā no elektrisko iekārtu izmantojuma un to patēriņa konkrētai stundai. Iekārtu izmantošanas modelis” tika definēti 4 Markova stāvokļi, kas parādīti 4. tabulā.

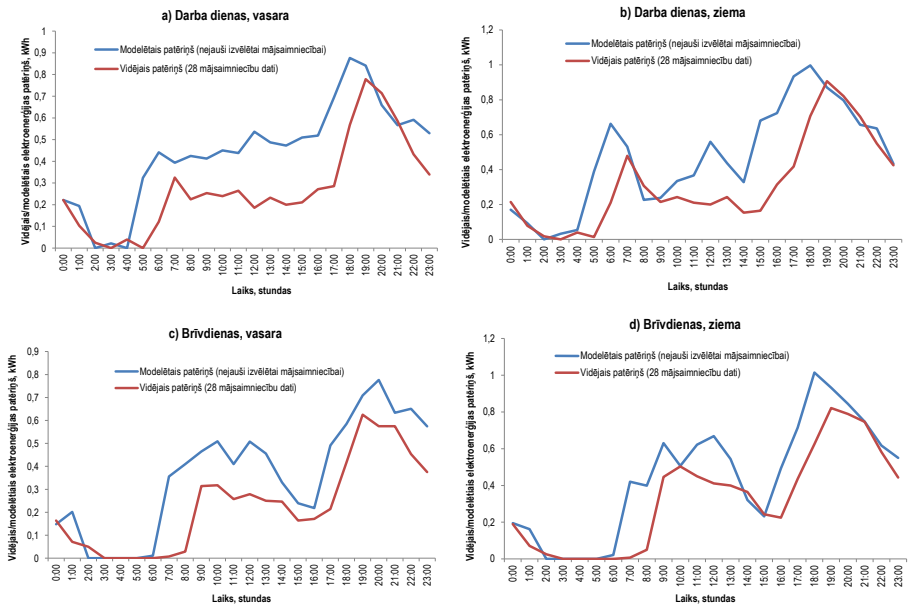
4. tabula

Markova stāvokļu definēšanas „Iekārtu izmantošanas modelis”

Markova stāvoklis	Stāvokļa nosaukums	Markova stāvokļa robežvērtības, kWh/stundā
0	Bāzes stāvoklis	-
1	Mazs patēriņš	līdz 0,2 kWh/stundā
2	Vidējs patēriņš	no 0,21 – 1,1 kWh/stundā
3	Liels patēriņš	sākot no 1,1 kWh/stundā

„Iekārtu izmantošanas modeļa” Markova stāvokļu definēšana balstās uz aprēķinu, cik vidēji katrā mājsaimniecībā patērē stundas laikā. Pat ja mājsaimniecība ir neaktīva (t.i. – nelieto elektriskās iekārtas), tas nozīmē, ka mājsaimniecībā tiek patērēta elektroenerģija, kas nav atkarīga no iedzīvotāju aktivitātes, bet ko var definēt kā t.s. „bāzes patēriņu”. Bāzes patēriņš katrā mājsaimniecībā atšķiras, jo ir atšķirīgi mājsaimniecību apstākļi un esošo elektrisko iekārtu skaits. Markova modelī bāzes patēriņa lielumam nav nozīmes, jo modelēšanas mērķis bija novērtēt, kā mājsaimniecības pāriet no maza patēriņa uz liela patēriņa stāvokli un otrādi. Balstoties uz iedzīvotāju sniegtajiem datiem interviju laikā un patēriņa aprēķinu katrā mājsaimniecībā katrā stundai, tika definēts, kurā no Markova stāvokļiem – bāze, mazs, vidējs vai liels – mājsaimniecība atrodas konkrētā stundā. Šie aktivitāšu stāvokļi tika izmantoti, lai ģenerētu Markova ķēdes stāvokļu pārejas matricas 24 stundu intervāliem. Arī „Iekārtu izmantošanas modeļa” Markova stāvokļu pārejas varbūtību matrica tika aprēķināta, izmantojot vienādojumu (12).

14. attēlā ir salīdzināti iegūtie „Iekārtu izmantošanas modeļa” rezultāti kādam nejausi izvēlētam jaunajam modelētajam profilam, kas salīdzināti ar analizē izmantoto 28 mājsaimniecību vidējo elektroenerģijas patēriņa profilu.



14. att. Nejausi izvēlētas vienas modelētās mājsaimniecības profila salīdzinājums ar 28 mājsaimniecību vidējo patēriņa profilu četriem dienu veidiem

Kā redzams 2.35. attēlā, „Iekārtu izmantošanas modelis” ļauj ģenerēt pietiekami precīzu un līdzīgu mājsaimniecību patēriņa profilu, salīdzinot ar vidējo profilu. Tomēr kopumā modelētie dati vairumā gadījumu „pārvērtē” elektroenerģijas patēriņu salīdzinājumā ar reālajiem vidējā patēriņa datiem visiem dienu tipiem. Tas ir tāpēc, ka pastāv atšķirības starp vidējām vērtībām. 28 mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa vērtības gada laikā tika aprēķinātas kā vidējās vērtības katrā stundai, izmantojot vidējo aritmētisko funkciju AVERAGE. Tomēr modelētās vērtības visbiežāk ir lielākas, nekā noteiktās vidējās vērtības.

Patēriņa profilu vērtības nesakrīt arī tāpēc, ka Markova ķēdes pēdējie stāvokļi visvairāk ietekmē vidējo vērtību, kas līdz ar to ietekmē jauno profilu. Modelētie dati parādīja elektroenerģijas patēriņa „pārvērtēšanu” arī citos pētījumos [116-119, 137]. McKenna un citi pētījumā [137] tika secināts, ka modelētie profili nepietiekami novērtē (ang. *underestimate*) patēriņa vērtības dienas sākumā, bet „pārvērtē” patēriņu dienas beigās. Ja skatāmies uz nejausi izvēlēto mājsaimniecību datiem (skat. 2.35. att. zilās līknes), tad varam konstatēt, ka elektroenerģijas patēriņa „pārvērtējums” ir apmēram vienādi izteikts gan darba dienās, gan brīvdienās. Tomēr nedaudz lielāks „pārvērtējums” ir vērojams vasaras laikā gan brīvdienās, gan darba dienās. Kā redzams, nedaudz labāki modelēšanas rezultāti ir brīvdienų patēriņam, nekā darba dienu patēriņam. Mazāk precīzāks ir vasaras perioda novērtējums salīdzinājumā ar ziemas sezonu. Widén un citi pētījumā [117] modelētais darba dienu patēriņš bija „nenovērtēts”, kamēr brīvdienų patēriņš uzrādīja modelēto datu „pārvērtējumu”, salīdzinājumā ar oriģinālajiem datiem. Kā redzams, vismazākais patēriņa līmenis ir nakts stundās, jo mājsaimniecību locekļu gul, bet lielāks patēriņš ir vakaros (tas sakrīt ar citiem pētījumiem [116-120, 123-125, 127, 135]). Lielākas atšķirības ir vērojamas arī starp darba dienu un brīvdienų patēriņu viena gadalaika ietvaros, kas atbilst citos pētījumos konstatētajam [118-120, 136]. Patēriņa līmenis atšķiras arī atkarībā no sezonas (līdzīgi konstatējumi arī citos pētījumos [116, 118, 119]). No iegūtajiem rezultātiem ir redzams, ka nedaudz lielāks kopējais patēriņš ir brīvdienās, nekā darba dienās – tas sakrīt ar citos pētījumos konstatēto [116, 120, 123-125, 127, 135, 136].

Kā redzams no iegūtajiem rezultātiem, visi profili parasti parāda trīs „pīķu” patēriņa laikus, kas atbilst rīta, pusdienlaika un vakara stundām. Vakara „pīķis” ir vislielākais, jo saistīts ar lielāku iedzīvotāju aktivitāti. Trīs izteiktu „pīķu” patēriņš dienas laikā mājsaimniecībās konstatēts arī citos pētījumos [124, 127, 136]. „Pīķa” patēriņi reālajam un modelētajam profilam nesakrīt laikā un atšķirība parasti ir 1-2 stundu intervālā (līdzīgi konstatējumi citā pētījumā [126]). Piemēram, vasaras darba dienās reālie dati rāda, ka rīta „pīķa” patēriņš notiek ap plkst. 7:00 un vakara „pīķis” ap plkst. 19:00, savukārt modelētais profils parāda, ka pīķis notiek ātrāk, attiecīgi, ap plkst. 6:00 un plkst. 18:00. Turklāt, brīvdienų rītos „pīķa” patēriņš ir izlīdzinātāks un tas notiek vēlākās rīta stundās, nekā darba dienu laikā (līdzīgi konstatējumi atrodami citos pētījumos [116, 124, 136]).

Kopumā var secināt, ka, zinot informāciju par to, kā mājsaimniecībās tiek izmantotas elektriskās iekārtas noteiktu stundu laikā, varam diezgan precīzi modelēt patēriņu. „Iekārtu izmantošanas modeļa” rezultāti parāda, ka modelētais patēriņa profils var tikt pietiekami līdzīgi atveidots esošajam patēriņa profilam ar mērenu precizitāti. Izpētes rezultāti parādīja, ka atšķirība starp modelētajiem un reālajiem datiem ir vidēji 30%.

### 1.3. LĪMEŅATZĪMES PIEMĒROŠANA MĀJSAIMNIECĪBU SEKTORAM

Katras mājsaimniecības enerģijas patēriņš ir atšķirīgs, līdz ar to ir nepieciešams vienots salīdzinošais rādītājs, lai būtu iespējams veikt mājsaimniecību salīdzināšanu. Mājsaimniecību patēriņa profils ir izteikti stohastisks, un patēriņš dienas laikā mainās ļoti strauji. Ir salīdzinoši grūti izstrādāt līmeņatzīmi, kas būtu līkne, jo reālā dzīvē mājsaimniecību patēriņš nav konstants visas dienas laikā, bet gan ir atkarīgs no iedzīvotāju uzvedības. Lielāks patēriņš ir rīta un vakara stundās, nekā nakts stundās un dienas vidū. Tādējādi līmeņatzīmju piemērošana, kas atspoguļo patēriņa profilu, ir daudz efektīvāka un labāk izmantojama praksē. Lai motivētu iedzīvotājus arvien vairāk pievērsties energoefektivitātei savos mājokļos, viens no veidiem būtu, uz analīzes rezultātiem balstītu patēriņa līmeņatzīmes līniju izveidošana, kas balstās uz esošās situācijas novērtējumu. Līmeņatzīmju piemērošana mājsaimniecību salīdzinājumam balstās uz viedo

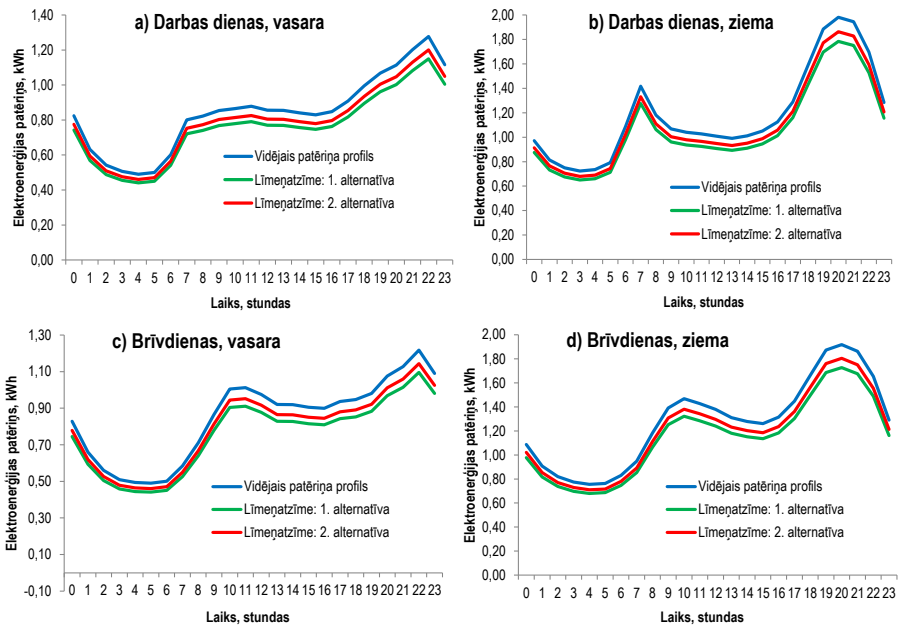
skaitītāju pilotprojektā iegūto vidējo mājsaimniecību patēriņa profilu 4 diennakts tipiem. Rezultāti ir iegūti, apstrādājot datus ar Markova ķēdes modeli, kas aprakstīti iepriekš.

Ņemot vērā ES likumdošanas spiedienu attiecībā uz viedo mērīšanas sistēmu attīstību, kas ir kā efektīvs rīks energopārvaldības sistēmu ieviešanai mājsaimniecībās, ir paredzams, ka caur šādu sistēmu ieviešanu var panākt patēriņa samazinājumu. Promocijas darbā izstrādātās mājsaimniecību līmeņatzīmju vērtības balstās uz 2 alternatīvām:

1. alternatīva: elektroenerģijas patēriņa samazinājums, salīdzinājumā ar esošo situāciju ir ap 10%;
2. alternatīva: elektroenerģijas patēriņa samazinājums ir 6%.

1. alternatīvas pieņēmums balstās uz literatūras analīzi, kur viedo mērīšanas sistēmu ieviešanas rezultātā novērtēts 5-15% elektroenerģijas patēriņa samazinājums [29, 82-86, 88-93, 97-105]. Savukārt 2. alternatīva paredz mazāku patēriņa samazinājumu 1-10% robežās [87, 94-96, 106-108].

Kā liecina zinātnisko pētījumu rezultāti, 6% vai 10% patēriņa samazinājumu var panākt, mainot iedzīvotāju uzvedību un nodrošinot racionālu elektroenerģijas izlietojumu. Abu alternatīvu līmeņatzīmes novērtējuma rezultāti ir parādīti 15. attēlā.



15. att. Aprēķinātās mājsaimniecību līmeņatzīmes 4 dienu tipiem

Izvērtējot līmeņatzīmju alternatīvas, būtu jātiecas uz līmeņatzīmes 1. alternatīvas piemērošanu mājsaimniecībās, jo tā sniedz lielākus patēriņa ietaupījumus. Līmeņatzīmju 1. alternatīva var sniegt lielāku ieguldījumu energoefektivitātes veicināšanai, kā arī panākt mājsaimniecību patēriņa samazinājumu ilgtermiņā. Līmeņatzīmes 2. alternatīva atspoguļo iespējamo situāciju īstermiņa patēriņa samazināšanai.

## 2. IETEKMES UZ KLIMATA PĀRMAIŅĀM ANALĪZE

Elektroenerģijas patēriņam ir tieša un arī netieša ietekme uz klimata pārmaiņām. Ilgtspējīga enerģijas patēriņa nodrošināšanai, ir jāpanāk ietekmes uz klimata pārmaiņām samazinājums. Kā zināms, elektroenerģijas ražošana, sadale, pārvade un patēriņš ir saistīts ar CO<sub>2</sub> emisiju radīšanu. CO<sub>2</sub> emisiju novērtēšana mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa sektorā galvenokārt ir saistīta ar to, cik daudz elektroenerģija tiek tērēta mājsaimniecībās un cik lielas emisijas rodas no katras 1 kWh lietošanas.

Šajā darbā CO<sub>2</sub> emisiju novērtēšana uz klimata un vides ilgtspējību balstās uz esošās un prognozētās situācijas salīdzināšanu, balstoties uz AS „Latvenergo” pilotprojekta datiem. Atskaites (bāzes) situācijai novērtētais elektroenerģijas patēriņa apjoms pilotprojektā, tiek noteikts, balstoties uz pilotprojekta energoefektivitātes rādītāju – atskaites situācijai novērtēto plānoto un sasniedzamo CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu par 10% gadā jeb 2679,75 t CO<sub>2</sub>/gadā, pret kuru tiks salīdzināts CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums atskaites situācijai. Savukārt projekta rezultātīvo rādītāju novērtēšanai tiek izmantots Ministru kabineta 2011. gada 20. augusta noteikumu Nr. 608 „Klimata pārmaiņu finanšu instrumenta finansēto projektu atklāta konkursa „Siltumnīcefekta gāzu emisijas samazinošu tehnoloģiju attīstīšana un pilotprojektu īstenošana” nolikums” noteiktais CO<sub>2</sub> emisiju faktors 0,397 t CO<sub>2</sub>/MWh [145]. Lai varētu novērtēt emisiju izmaiņas kādā laika posmā (gada laikā), svarīgi ir nodrošināt elektroenerģijas patēriņa monitoringu reālā laikā, kas tiek nodrošināts ar viedajiem skaitītājiem.

Bāzes situācijai novērtēto elektroenerģijas patēriņu, pret kuru tiks salīdzināts elektroenerģijas patēriņa samazinājums katra novērtēšanas perioda beigās, nosaka pēc šādas formulas:

$$E_b = \frac{CO_{2\_b}}{E_{CO_{2\_et}}}, \quad (15)$$

kur:

$CO_{2\_b}$  – bāzes situācijai novērtētās CO<sub>2</sub> emisijas, t CO<sub>2</sub>;

$E_{CO_{2\_et}}$  – CO<sub>2</sub> emisijas faktors elektroenerģijas ražošanai, t CO<sub>2</sub>/MWh.

CO<sub>2</sub> emisijas no mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa i-tajā gadā tiek aprēķinātas, izmantojot šādu vienādojumu [145]:

$$CO_{2i} = E_i \cdot E_{CO_{2\_et}}. \quad (16)$$

Lai aprēķinātu CO<sub>2</sub> emisiju izmaiņas i-tajā gadā, elektroenerģijas patēriņa izmaiņas i-tajā pret bāzes gadu tiek sareizinātas ar CO<sub>2</sub> emisijas faktoru:

$$\Delta CO_{2i} = \Delta E_i \cdot E_{CO_{2\_et}}, \quad (17)$$

kur:

$\Delta CO_{2i}$  – CO<sub>2</sub> emisiju izmaiņas i-tajā gadā, t CO<sub>2</sub>.

CO<sub>2</sub> emisiju novērtēšanu un salīdzināšanu var veikt pēc 4 pieejām, pielietojot dažādus CO<sub>2</sub> emisiju faktorus, kas apkopoti 5. tabulā.

CO<sub>2</sub> emisiju faktori

CO <sub>2</sub> emisiju faktori	CO <sub>2</sub> emisiju faktora apzīmējums	CO <sub>2</sub> emisiju faktora vērtība t CO <sub>2</sub> /MWh
Klimata pārmaiņu finanšu instrumenta līdzfinansētajiem projektiem noteiktais vidējais CO <sub>2</sub> emisiju faktors [145] – KPFI emisiju faktors	$E_{CO_2\_KPFI}$	0,397
ANO starpvaldību ekspertu grupas klimata pārmaiņu jautājumos (turpmāk tekstā – IPCC) noteiktais standartizētais CO <sub>2</sub> emisiju faktors Latvijai [146-148] – IPCC emisiju faktors	$E_{CO_2\_IPCC}$	0,109
Latvijai noteiktais „Dzīves cikla analīzes” (turpmāk – DCA) CO <sub>2</sub> emisiju faktors [149-150] – DCA emisiju faktors	$E_{CO_2\_DCA}$	0,563

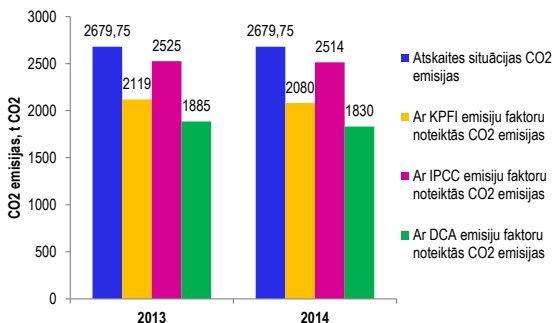
Balstoties uz CO<sub>2</sub> emisiju novērtējuma modeļa algoritma shēmu (skat. 15. attēlu) un aprēķināšanas vienādojumiem (15-17), tika veikts CO<sub>2</sub> emisiju aprēķins, ņemot vērā „Latvenergo” pilotprojektā sasniegtos rezultātus. Balstoties uz vienādojumu (15) un atskaites situācijai novērtēto CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu 2679,75 t CO<sub>2</sub>/gadā un CO<sub>2</sub> emisiju faktoru 0,397 t CO<sub>2</sub>/MWh, bāzes situācijai novērtētais elektroenerģijas patēriņš ir 6750 MWh. Uz šo brīdi ir pieejami pilni pilotprojekta 2 gadu dati, līdz ar to 1. elektroenerģijas patēriņa novērtēšanas periods tiek noteikts gadu pēc projekta uzsākšanas no 2013. gada 1. aprīļa līdz 2014. gada 31. martam, bet 2. periods no 2014. gada 1. aprīļa līdz 2015. gada 31. martam. Saskaņā ar pilotprojekta datiem pirmā pilotprojekta gadā 500 mājsaimniecību patēriņš ir 5341,93 MWh, bet otrajā gadā – 5243,91 MWh. CO<sub>2</sub> emisiju novērtējuma rezultāti pēc 3 CO<sub>2</sub> emisiju faktoriem ir apkopoti 6. tabulā (CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums noapaļots līdz veseliem skaitļiem).

6. tabula

CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma rezultāti un to salīdzinājums

Novērtēšanas periods, gads	Elektroenerģijas patēriņa samazinājums pret bāzes situāciju (2012. gadu), $\Delta E_i$ , MWh	CO <sub>2</sub> emisiju samazinājums, izmantojot $E_{CO_2\_KPFI}$	CO <sub>2</sub> emisiju samazinājums, izmantojot $E_{CO_2\_IPCC}$	CO <sub>2</sub> emisiju samazinājums, izmantojot $E_{CO_2\_DCA}$
2013	1408,07	559	153	793
2014	1507,09	598	164	848
CO <sub>2</sub> emisiju samazinājuma izmaiņas, %				
2013		-20,93%	-5,77%	-29,66%
2014		-22,38%	-6,19%	-31,71%

CO<sub>2</sub> emisiju novērtējuma rezultāti salīdzinājumā ar atskaites situāciju grafiskā veidā atspoguļoti 17. attēlā. Kā redzams, abos novērtēšanas periodos gan elektroenerģijas patēriņš, gan CO<sub>2</sub> emisijas ir samazinājušās. Kā minēts, atskaites CO<sub>2</sub> emisijas noteiktas 2679,75 t CO<sub>2</sub>, pret kuru tad arī ir salīdzināts CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums 2 novērtēšanas periodos. Piemērojot KPFI līdzfinansēto projektu CO<sub>2</sub> emisiju faktoru, 2013. gadā CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums pret atskaites gadu (2012. gadu) ir 20,93%, bet 2014. gadā CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums, salīdzinot ar 2012. gadu, ir 22,38%. Lielākus CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumus var iegūt, pielietojot DCA CO<sub>2</sub> emisiju faktoru, kur 2013. gada CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums būtu 29,66%, bet 2014. gada samazinājums būtu 31,71% salīdzinājumā ar atskaites gadu.



### 17. Pilotprojekta CO<sub>2</sub> emisiju novērtējuma rezultāti 3 CO<sub>2</sub> emisiju faktoriem

Savukārt, ja tiktu piemērots IPCC emisiju faktors, CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums pret atskaites situāciju būtu mazāks – 2013. gadā tas būtu 5,77%, bet 2014. gadā – 6,19%.

## 3. ENERGOEFEKTIVITĀTES PASĀKUMU IETEKMES MODELĒŠANA

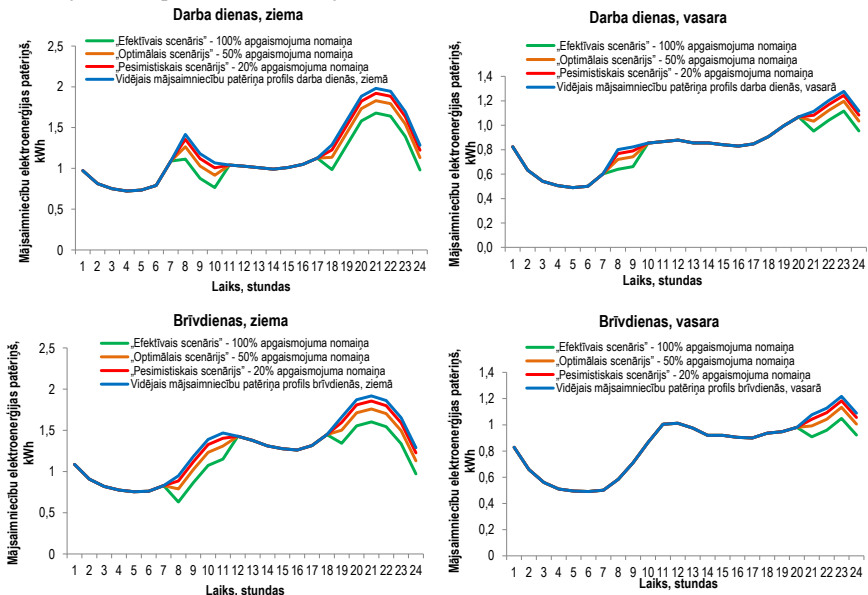
Viens no būtiskajiem ilgtspējīga elektroenerģijas patēriņa principiem, ir nodrošināt racionālu un optimālu elektroenerģijas patēriņu ar ekonomiski pamatotām izmaksām. Tas ir izmaksu līdzsvara nodrošināšanas pamatā. Mājsaimniecības ar saviem elektroenerģijas patēriņa lietošanas paradumiem ietekmē ne tikai savas izmaksas, bet arī kopējās elektroenerģijas sistēmas izmaksas. Promocijas darbā veiktais elektroenerģijas patēriņa samazinājuma novērtējums balstās uz 2 pasākumu modelēšanu – esošā apgaismojuma nomaina uz LED apgaismojumu un iekārtu izslēgšana no gaidīšanas režīma patēriņa. Patēriņa samazinājuma potenciāls tika novērtēts, izmantojot viedo skaitītāju pilotprojektā iegūto vidējo mājsaimniecību patēriņa profilu un rezultātā iegūstot jaunu vidējo mājsaimniecību patēriņa profilu.

Esošā apgaismojuma nomaina uz LED apgaismojumu modelēšanas pieņēmumi bija:

- vienas kvēlspuldzes nomaina ekvivalents tika pieņemts 60 W kvēlspuldze, kas tika nomainīta uz 11 W LED spuldzi, lai nodrošinātu tādu pašu gaismas kvalitāti;
- vidējais nomaināmais spuldžu skaits mājsaimniecībā – 18 spuldzes;
- vidējais apgaismojuma izmantošanas laiks un izmantojuma īpatsvars pieņemts: darba dienas, ziemā 7:00-9:00 un 17:00-24:00 (34,40% no kopējā patēriņa), darba dienas, vasarā 7:00-8:00 un 20:00-00:00 (18,30%), brīvdienas, ziemā 7:00-10:00 un 18:00-24:00 (35,9%), brīvdienas, vasarā 20:00-24:00 (19,07%);
- apgaismojuma izmantojuma intensitāte ir 5 spuldzes rīta un 10 spuldzes vakara stundās;
- izstrādāti 3 scenāriji jauna patēriņa profila iegūšanai:
  - 1. scenārijs: „Pesimistiskais scenārijs – 20% no mājsaimniecībām veiks apgaismojuma nomaina;
  - 2. scenārijs: „Optimālais scenārijs” – 50% mājsaimniecību ir gatavas veikt apgaismojuma nomaina (balstās uz iedzīvotāju aptauju, kur 15 no 30 respondentiem minēja, ka ir gatavi to darīt);
  - 3. scenārijs: „Efektīvais scenārijs” – visas mājsaimniecības jeb 100% veiks apgaismojuma nomaina.

Energoefektīva apgaismojuma ierīkošanas modelēšanas rezultāti, parādīti 18. attēlā. Modelēšanas rezultāti parāda slodžu nobīdes potenciālu no apgaismojuma nomaina dažādos diennakts laikos dažādiem dienu tipiem un sezonām. Balstoties uz iegūtajiem izpētes

rezultātiem, ja visas mājsaimniecības Latvijā ierīkotu energoefektīvu apgaismojumu, tas dotu rīta un vakara „pīķa” patēriņa samazinājumu par 21 – 22% ziemas laikā, bet vasarā 15 – 16%. Savukārt, ja apgaismojumu nomainītu puse mājsaimniecību, ziemā „pīķa” patēriņu varētu samazināt par 10 – 11%, bet vasarā 7 – 8%. Līdz ar to energoefektīva apgaismojuma ierīkošana sniedz lielu rīta un vakara „pīķa” patēriņa samazinājuma potenciālu. Ņemot vērā to, ka apgaismojums Latvijas mājsaimniecībās veido tikai nelielu daļu kopējā patēriņā (ap 15% ziemas laikā un 10% vasarā), tad energoefektīva apgaismojuma ierīkošana rada mazāku ietekmi uz vidējā dienas patēriņa samazinājumu.



18. att. Energoefektīva apgaismojuma ierīkošanas modelēšanas rezultāti 4 diennakts tipiem

Ja visas mājsaimniecības ierīkotu energoefektīvu apgaismojumu, tas sniegtu 9% samazinājumu ziemas, bet 3% vasaras laikā. Ja tikai puse to darītu – tad ziemā vidējais patēriņš samazinātos par 4 – 5%, bet vasarā par 1 – 2%.

Iekārtu izslēgšanas no gaidīšanas režīma modelēšanas pieņēmumi bija:

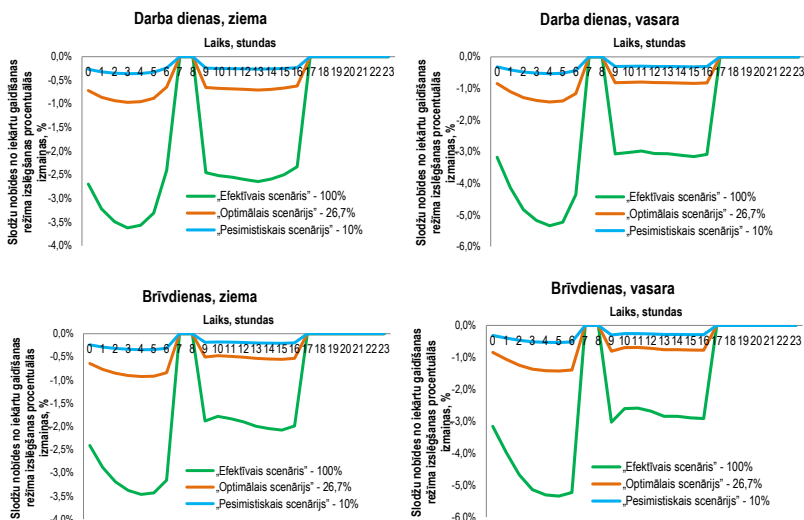
- balstoties uz literatūras analīzi, tika noteiktas vidējās iekārtu gaidīšanas režīma jaudas;
- tika pieņemts vidējais gaidīšanas režīma izslēgšanas laiks visiem 4 dienu tipiem: 9:00-17:00 un 00:00-7:00;
- vidējā kopējā gaidīšanas režīma jauda vidējai mājsaimniecībai noteikta 0,0262 kW;
- 3 scenāriji jauna patēriņa profila iegūšanai:
  - 1. scenārijs: „Pesimistiskais scenārijs” – ap 10% mājsaimniecību veiks iekārtu izslēgšanu no gaidīšanas režīma;
  - 2. scenārijs: „Optimālais scenārijs” – 26,7% mājsaimniecību ir gatavas veikt iekārtu izslēgšanu no gaidīšanas režīma, kas balstās uz iedzīvotāju aptaujā sniegtajām atbildēm, kur 8 no 30 respondentiem minēja, ka ir gatavi to darīt;
  - 3. scenārijs: „Efektīvais scenārijs” – visas mājsaimniecības jeb 100% veiks iekārtu izslēgšanu no gaidīšanas režīma.

Kā tika konstatēts, vidējais gaidīšanas režīma jaudas samazinājums bija ļoti mazs. Šādas izmaiņas grafikos ir grūti pamanāmas, jo ir salīdzinoši nelielas izmaiņas. Vidējie patēriņa samazinājuma rezultāti modelēšanas periodam un kopējam patēriņa samazinājumam parādīti 7. tabulā.

7. tabula

Modelēšanas scenāriji	Vidējais patēriņa samazinājums modelēšanas periodam				Kopējais patēriņa samazinājums dienā			
	DD, ziemā	DD, vasara	BD, ziema	BD, vasara	DD, ziemā	DD, vasara	BD, ziema	BD, vasara
Efektīvais scenārijs	-2,83%	-3,79%	-2,50%	-3,68%	-1,77%	-2,37%	-1,56%	-2,30%
Optimālais scenārijs	-0,76%	-1,01%	-0,67%	-0,98%	-0,47%	-0,63%	-0,42%	-0,61%
Pesimistiskais scenārijs	-0,28%	-0,38%	-0,25%	-0,37%	-0,18%	-0,24%	-0,16%	-0,23%

Patēriņa samazinājums atspoguļots kā procentuālās izmaiņas no vidējā patēriņa profila 4 diennakts tipiēm, kā tas parādīts 19. attēlā.



19. att. Gaidīšanas režīma patēriņa samazinājuma modelēšanas procentuālās izmaiņas no vidējā patēriņa profila 4 diennakts tipiēm

Kā redzams 19. attēlā, vidējais samazinājums no iekārtu gaidīšanas režīma jaudas izslēgšanas ir ļoti mazs – 1-2% robežās. Zinātnisko datu analīze liecina, ka, izslēdzot visas iekārtas no gaidīšanas režīma visās mājstāmvienībās, var panākt vidēji 2% patēriņa samazinājumu dienas laikā. Vislielāko samazinājumu var sagaidīt efektīvā scenārija gadījumā vasaras periodā, kur vidējais samazinājums modelēšanas periodam ir 3,79% darba dienās un 3,68% brīvdienās. Ziemas laikā samazinājums modelēšanas periodam ir 2,83% darba dienās un 2,50% brīvdienās. Kopējā patēriņa samazinājumu vasaras laikā darba dienās 2,37% un brīvdienās 2,30%, bet ziemas laikā darba dienās 1,77% un brīvdienās 1,56% (skat. 10. tabulu). Optimālā un pesimistiskā scenārija rezultāti ir krietni mazāki, parādot vidējā patēriņa samazinājuma potenciālu mazāk kā 1% robežās.

## SECINĀJUMI

1. Promocijas darbā mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņu ietekmējošo faktoru analīze ir veikta, izmantojot vairākfaktoru regresijas analīzi. Kvantitatīvo datu regresijas modeļa rezultāti parādīja, ka statistiski visnozīmīgākie faktori, kas ietekmē elektroenerģijas patēriņa pieaugumu, ir ēkas platība, iedzīvotāju skaits, ienākumi, respondenta vecums, energoefektīvās spuldzes, gaisa mitrinātāji, ventilācijas iekārtas, elektriskā ēkas apsildes sistēma, atsevišķas elektriskās iekārtas (plītis, saunas, elektriskās ūdens uzsildes sistēmas, friteri, elektriskie malkas skaldītāji un citas elektroierīces, ko izmanto ārpus telpām). Statistiski nozīmīga negatīva ietekme uz patēriņa izmaiņām tika konstatēta ar citām virtuves ierīcēm, veļas žāvētājiem un putekļu sūcējiem. Konkrēto elektrisko iekārtu ietekme uz patēriņa izmaiņām literatūrā pēģta salīdzinoši maz, un, ņemot vērā, ka trūkst informācijas, kā tieši iedzīvotāji izmanto šīs iekārtas, ir grūti izskaidrot šādu elektrisko iekārtu statistiski nozīmīgo negatīvo ietekmi. Regresijas modeļa korelācijas koeficients ( $R^2 = 0,8254$ ) norāda, ka 19 modeļī iekļautie statistiski nozīmīgie faktori ļauj izskaidrot lielāko daļu jeb 82,54% no elektroenerģijas patēriņa izmaiņām

2. Kvalitatīvo datu regresijas modelis parādīja, ka statistiski visnozīmīgākie faktori, kas ietekmē elektroenerģijas patēriņa pieaugumu, ir ēkas tips (privātmāja) un vēlme saņemt informāciju par tipveida mājsaimniecības patēriņu. Tādi faktori kā – respondenta dzimums (sievietes), telpu apgaismojumam pārsvarā izmanto LED spuldzes, iedzīvotāji ir labi informēti par LED spuldžu priekšrocībām salīdzinājumā ar kvēlspuldzēm, iedzīvotāji izslēdz elektroierīces no gaidīšanas režīma, vēlas samazināt izdevumus par patērēto elektroenerģiju, ir interese saņemt informāciju par energoefektivitātes paaugstināšanas pasākumiem un mājsaimniecībai ir siltināts pagrabs, grīda, durvis, bēniņi, logu blīvējumi – rada negatīvu ietekmi uz patēriņa izmaiņām. Regresijas modeļa korelācijas koeficients  $R^2=0,4087$  norāda, ka 9 modeļī iekļautie faktori ļauj izskaidrot 40,87% no elektroenerģijas patēriņa izmaiņām.

3. AS „Latvenergo” pilotprojekta 2 gadu elektroenerģijas patēriņa dati liecina, ka pilotprojekta īstenošanas pirmajā gadā mājsaimniecību patēriņš samazinājās par 20%, salīdzinot ar atskaites situāciju (2012. gadu), bet 2014. gadā par 1%, salīdzinot ar 2013. gadu. Elektroenerģijas patēriņa ietaupījumus noteicošie faktori tika novērtēti, izmantojot vairākfaktoru regresijas analīzi. Kopumā zinātniskās izpētes rezultāti parādīja, ka viedajiem skaitītājiem ir statistiski nozīmīga ietekme uz elektroenerģijas patēriņa ietaupījumiem un lielāki ietaupījumi tika panākti mērķgrupā, salīdzinot ar kontrolgrupu. Izpētes rezultāti liecina, ka 15 statistiski visnozīmīgākie faktori, kas pozitīvi ietekmē sasniegtos patēriņa ietaupījumus. Ja mājsaimniecība ir mērķgrupā, jo lielāka platība, jo vairāk kafijas automātu, portatīvo datoru, planšetdatoru, saunu, solāriju, kineskopa televizoru, elektrisko vārtu, pārvietojamo elektrisko sildītāju, zemes siltumsūkņu, gaisa siltumsūkņu, elektrodu katlu un saules kolektoru, jo lielāki ir patēriņa ietaupījumi. Savukārt, jo vairāk citu virtuves iekārtu, ja ir ierīkoti elektriskie vārti, gaisa kondicionieri un apkures sistēma ar ūdens siltumnesēju, jo mazāki ietaupījumi. Regresijas modeļa korelācijas koeficients norāda, ka 19 modeļī iekļautie statistiski nozīmīgie faktori ļauj izskaidrot lielāko daļu jeb 63,35% no elektroenerģijas patēriņa ietaupījumiem.

4. Promocijas darbā tika veikta 3 varbūtiskās analīzes modeļu izveide iedzīvotāju uzvedības novērtējumam, kas balstās uz Markova ķēdi – „Patēriņa modelis”, „Aktivitātes modelis”, „Iekārtu izmantošanas modelis”. „Patēriņa modeļa” rezultāti parādīja, ka „tipiskais” elektroenerģijas patēriņa profils var tikt atspoguļots ar augstu precizitāti. „Patēriņa modeļī” vidējā kļūdu atšķirība starp modelētajiem un reālajiem profiliem ir mazāka par 1%. Markova ķēdes var tikt izmantotas, lai ar vidēji augstu precizitāti prognozētu cita mēneša

elektroenerģijas patēriņu, ja zināmas kāda noteikta mēneša Markova ķēdes pāreju varbūtību matricas. Šķēršvalidācijas tests parādīja, ka vidējā neatbilstība starp modelētajiem un reālajiem datiem šajā gadījumā iekļaujas 10% robežās. Lai panāktu labāku precizitāti, Markova ķēdes modeļi būtu individuāli jāpielāgo katrai sezonai un dienas veidam. Markova ķēdes modeļi spēj labi atspoguļot elektroenerģijas patēriņu arī citās mājsaimniecībās un Markova ķēde ļauj simulēt elektroenerģijas patēriņa ciklisko raksturu. „Aktivitātes modeļa” un „Iekārtu izmantošanas modeļa” simulācijas rezultāti, kas balstās uz 30 mājsaimniecību aktivitātes un 28 mājsaimniecību iekārtu lietojuma novērtēšanu, parādīja mazāku precizitāti, kur atšķirība starp modelētajiem un reālajiem datiem bija vidēji 30% robežās.

5. Energoefektivitātes pasākumu modelēšanas rezultāti parādīja, ka energoefektīva apgaismojuma ierīkošanas pasākumam ir vislielākais potenciāls no patēriņa samazināšanas viedokļa. Vislielākais elektroenerģijas patēriņa samazinājums ir novērtēts efektīvā scenārija gadījumā brīvdienās ziemas laikā (ja tiek nomainītas visās mājsaimniecībās esošās spuldzes 100% apmērā). Balstoties uz iegūtajiem izpētes rezultātiem, ja visas mājsaimniecības Latvijā ierīkotu energoefektīvu apgaismojumu (efektīvais scenārijs), tas dotu rīta un vakara „pīķa” patēriņa samazinājumu par 21-22% ziemas laikā, bet vasarā 15-16%. Savukārt, ja apgaismojumu nomainītu puse mājsaimniecību (optimālais scenārijs, jeb 50% apgaismojuma nomaiņa), ziemā „pīķa” patēriņu varētu samazināt par 10-11%, bet vasarā 7-8%. Līdz ar to energoefektīva apgaismojuma ierīkošana sniedz lielu rīta un vakara „pīķa” patēriņa samazinājuma potenciālu. Ņemot vērā to, ka apgaismojums Latvijas mājsaimniecībām veido tikai nelielu daļu kopējā patēriņa (ap 15% ziemas laikā un 10% vasarā), tad vidējā patēriņa samazinājuma rezultāti ir krietni mazāki – efektīvā scenārija gadījumā tas būtu 9% samazinājums ziemas un 3% vasaras laikā, optimālā scenārija gadījumā vidējais patēriņš ziemā samazinātos par 4-5%, bet vasarā par 1-2%, savukārt pesimistiskā scenārija gadījumā (20% apgaismojuma nomaiņa) vidējais patēriņa samazinājums ziemā būtu par 2%, bet vasarā 1% apmērā.

6. Energoefektivitātes pasākumu modelēšanas rezultāti parādīja, ka Latvijas mājsaimniecībās ir mazs gaidīšanas režīma patēriņa samazinājuma potenciāls. Zinātnisko datu analīze liecina, ka, izslēdzot visas iekārtas no gaidīšanas režīma, var panākt vidēji 1-2% patēriņa samazinājumu dienas laikā. Balstoties uz pilotprojekta datiem, vidējā gaidīšanas režīma jauda mājsaimniecībā ir novērtēta 0,0262 kW. Vislielāko samazinājumu var panākt efektīvā scenārija (100% visas iekārtas tiktu izslēgtas) rezultātā, kur vidējais samazinājums modelēšanas periodam vasaras periodā ir 3,7%, bet kopējais vidējā patēriņa samazinājums būtu 2,34%. Īstenojot optimālo scenāriju (26,7% iekārtas tiktu izslēgtas), var panākt kopējo patēriņa samazinājumu par 0,62% vasaras laikā un 0,45% ziemas laikā. Pesimistiskā scenārija gadījumā (10% iekārtas tiktu izslēgtas) kopējā patēriņa samazinājums vasaras laikā ir novērtēts 0,24% robežās, bet ziemas laikā 0,17%.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Centrālās Statistikas Pārvaldes datubāze: Dati par māsajniecību elektroenerģijas patēriņu / Internets. – [http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/vide/vide\\_ikgad\\_energetika/EN0010.px/table/tableViewLayout1/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0](http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/vide/vide_ikgad_energetika/EN0010.px/table/tableViewLayout1/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0)
2. Institute of Physical Energetics. Energy Efficiency Policies and Measures in Latvia. Monitoring of EU and national energy efficiency targets. ODYSSEE - MURE, Riga, September 2012. – pp. 91.
3. Valtere S., Kalniņš S. N., Blumberga D. Vides vadība un energopārvaldība. Zinātniskā monogrāfija. Rīgas Tehniskā universitāte, Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, RTU izdevniecība, Rīga, 2014. – 288. lpp.
4. Torrent-Moreno M., Giménez R., Enrich R., Javier García J., Pérez M. Social Computing for Home Energy Efficiency: Technological and Stakeholder Ecosystems. *Computer Science*, Vol. 6778, 2011. – pp. 229-238.
5. Eiropas Parlamenta un Padomes 2006. gada 5. aprīļa Direktīva 2006/32/EK par enerģijas galapatēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem un ar ko atceļ Padomes Direktīvu 93/76/EEK // Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L 114/64, 27.4.2006.
6. Eiropas Parlamenta un Padomes 2012. gada 25. oktobra Direktīva 2012/27/ES par energoefektivitāti, ar ko groza Direktīvas 2009/125/EK un 2010/30/ES un atceļ Direktīvas 2004/8/EK un 2006/32/EK // Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis, L 315/1, 14.11.2012.
7. Pasaules Enerģijas padomes ziņojums. Pasaules Enerģijas padomes rekomendācijas ES struktūrai, kas ir atbildīga par klimata un enerģētikas politiku līdz 2030. gadam, 2014. – 3. lpp.
8. Genjo K., Tanabe S. I., Matsumoto S. I., Hasegawa K. I., Yoshino H. Relationship between possession of electric appliances and electricity for lighting and others in Japanese households. *Energy and Buildings*, Vol. 37, 2005. – pp. 259-272.
9. Vassileva I., Odlare M., Wallin F., Dahlquist E. The impact of consumers' feedback preferences on domestic electricity consumption. *Applied Energy*, Vol. 93, 2012. – pp. 575–582.
10. V. Jones R., Fuertes A., J. Lomas K. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 43, 2015. – pp. 901–917.
11. Bedir M., Hasselaar E., Itard L. Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings. *Energy and Buildings*, Vol. 58, 2013. – pp. 194–207.
12. Tso G. K. F., Yau K. K. W. Predicting electricity energy consumption: a comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, Vol. 32, No. 9, 2007. – pp. 1761–1768.
13. Wiesmann D., Lima Azevedo I., Ferrão P., Fernández J. E. Residential electricity consumption in Portugal: findings from top down and bottom-up models. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 5, 2011. – pp. 2772–2779.
14. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of residential electricity consumption: using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, Vol. 55, 2013. – pp. 184–194.
15. Bartiaux F., Gram-Hanssen K. Socio-political factors influencing household electricity consumption: a comparison between Denmark and Belgium. In: Proceedings of the ECEEE 2005 Summer Study, European Council for an Energy Efficient Economy, 2005. – pp. 1313–1325.
16. Ndiaye D., Gabriel K. Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 2-3, 2011. – pp. 446–453.
17. Tso G. K. F., Yau K. K. W. A study of domestic energy usage patterns in Hong Kong. *Energy*, Vol. 28, No. 15, 2003. – pp. 1671–1682.
18. Bartusch C., Odlare M., Wallin F., Wester L. Exploring variance in residential electricity consumption: household features and building properties. *Applied Energy*, Vol. 92, 2012. – pp. 637–643.

19. McLoughlin F., Duffy A., Conlon M. Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: an Irish case study. *Energy and Buildings*, Vol. 48, 2012. – pp. 240–248.
20. Nielsen L. How to get the birds in the bush in to your hand: results from a Danish research Project on electricity savings. *Energy Policy*, Vol. 21, o. 11, 1993. – pp. 1133–1144.
21. Sanquist T. F., Orr H., Shui B., Bittner A. C. Lifestyle factors in U.S. residential electricity consumption. *Energy Policy*, Vol. 42, 2012. – pp. 354–364.
22. Baker K. J., Rylatt R. M. Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption data. *Applied Energy*, Vol 85, No. 6, 2008. – pp. 475–482.
23. Lenzen M., Wier M., Cohen C. A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Austria, Brazil, Denmark, India and Japan. *Energy*, Vol. 31, 2006. – pp. 181. – 207.
24. James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. Springer Texts in Statistics, ISBN 978-1-4614-7137-0, 2013. – p. 441.
25. Blumberga D. Energoefektivitāte. Rīga: Pētergailis, 1996. – 320 lpp.
26. Arhipova I., Bāliņa S.. Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel. Mācību līdzeklis. 2. Izdevums. – Rīga: Datorzinību centrs, 2006. – 364. lpp.
27. Vasermanis E. Šķiltēre D. Vārbūvniecības teorija un matemātiskā statistika. Rīga: SIA JUMI, 2003. – 186 lpp.
28. Schleich J., Klobasa M., Brunner M., Gözl S., Götz K., Sunderer G. Smart metering in Germany – results of providing feedback information in a field trial. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 4/2011. Presented at eceee 2011 Summer Study “Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society”, Belambra Presqu’île de Giens, France, 2011. – p.21.
29. Schleich J., Klobasa M., Gözl S., Brunner M. Effects of feedback on residential electricity demand – Findings from a field trial in Austria. *Energy Policy*, Vol. 61, 2013. – pp. 1097–1106.
30. Tiwari P. Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*, Vol. 22, No. 1, 2000. – pp. 81–98.
31. Zhou S., Teng F. Estimation of urban residential electricity demand in China using household survey data. *Energy Policy*, Vol. 61, 2013. – pp. 394–402.
32. Gram-Hanssen K., Kofod C., Petersen K. N. Different everyday lives: different patterns of electricity use. In: Proceedings of the ACEEE 2004 Summer Study, American Council for an Energy Efficient Economy, 2004. – pp. 74–85.
33. Yohanis Y. G., Mondol J. D., Wright A., Norton B. Real-life energy use in the UK: how occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use. *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 6, 2008. – pp. 1053–1059.
34. Haas R., Biermayr P., Zoehling J., Auer H. Impacts on electricity consumption of household appliances in Austria: a comparison of time series and cross-section analyses. *Energy Policy*, Vol. 26, No. 13, 1998. – pp. 1031–1040.
35. Wyatt P. A dwelling-level investigation in to the physical and socio-economic drivers of domestic energy consumption in England. *Energy Policy*, Vol. 60, 2013. – pp. 540–549.
36. Summerfield A. J., Lowe R. J., Bruhns H. R., Caeiro J. A., Steadman J. P., Oreszczyn T., Keynes M. Energy Park revisited: changes in internal temperatures and energy usage. *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 7, 2007. – pp. 783–791.
37. Chen J., Wang X., Steemers K. A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China. *Energy and Buildings*, Vol. 66, 2013. – pp. 193–202.
38. Abrahamse W., Steg L. Factors related to household energy use and intention to reduce it: The role of psychological and socio-demographic variables. *Human Ecology Review*, Vol 18, 2011. – pp. 30–40.
39. Holloway D., Bunker R. Planning, housing and energy use: A review, urban policy and research. *Urban Policy and Research*, Vol. 24, 2006. – pp. 115–126.

40. O'Doherty J., Lyons S., Tol R. Energy-using appliances and energy-saving features: determinants of ownership in Ireland. *Applied Energy*, Vol. 85, No. 7, 2008. – pp. 650–662.
41. Aydinalp-Koksal M., Ugursal V.I. Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy*, Vol. 85, No. 4, 2008. – pp. 271–296.
42. Pachauri S. An analysis of cross-sectional variations in total household energy requirements in India using micro survey data. *Energy Policy*, Vol. 32, 2004. – pp. 1723–1735.
43. Ouyang J., Hokao K. Energy-saving potential by improving occupants' behavior in urban residential sector in Hangzhou city, China. *Energy and Buildings*, Vol. 41, 2009. – pp. 711–720.
44. Brounen D., Kok N., Quigley J. M. Residential energy use and conservation: economics and demographics. *International Economic Review*, Vol. 56, No. 5, 2012. – pp. 931–945.
45. Leahy E., Lyons S. Energy use and appliance ownership in Ireland. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 8, 2010. – pp. 4265–4279.
46. Halvorsen B., Larsen B. M. Norwegian residential electricity demand – a micro-economic assessment of the growth from 1976 to 1993. *Energy Policy*, Vol. 29, No. 3, 2001. – pp. 227–236.
47. Filippini M., Pachauri S. Elasticities of electricity demand in urban Indian households. *Energy Policy*, Vol. 32, No. 2, 2004. – pp. 429–436.
48. Parker D.S. Research highlights from a large scale residential monitoring study in a hot climate. *Energy and Buildings*, Vol. 35, No. 9, 2003. – pp. 863–876.
49. Guerra Santin O., Itard L., Visscher H. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 11, 2009. – pp. 1223–1232.
50. Hamilton I. G., Steadman P. J., Bruhns H., Summerfield A. J., Lowe R. Energy efficiency in the British housing stock: energy demand and the Homes Energy Efficiency Database. *Energy Policy*, Vol. 60, 2013. – pp. 462–480.
51. Lam J. C. Climatic and economic influences on residential electricity consumption. *Energy Conversion and Management*, Vol. 39, No. 7, 1998. – pp. 623–629.
52. Cramer J. C., Miller N., Craig P., Hackett B. M. Social and engineering determinants and their equity implications in residential electricity use. *Energy*, Vol. 10, No. 12, 1985. – pp. 1283–1291.
53. Carter A., Craigwell R., Moore W. Price reform and household demand for electricity. *Journal of Policy Modeling*, Vol. 34, No. 2, 2012. – pp. 242–252.
54. Louw K., Conradie B., Howells M., Dekenah M. Determinants of electricity demand for newly electrified low-income African households. *Energy Policy*, Vol. 36, No. 8, 2008. – pp. 2812–2818.
55. Munley V. G., Taylor L. W., Formby J. P. Electricity demand in multi-family, renter occupied residences. *Southern Economic Journal*, Vol. 57, No. 1, 1990. – pp. 178–194.
56. Druckman A., Jackson T. Household energy consumption in the UK: a highly geographically and socio-economically disaggregated model. *Energy Policy*, Vol. 36, No. 8, 2008. – pp. 3177–92.
57. Parti M., Parti C. The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector. *Bell Journal of Economics*, Vol. 11, No. 1, 1980. – pp. 309–321.
58. Santamouris M., Kapsis K., Korres D., Livada I., Pavlou C., Assimakopoulos M. N. On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 8, 2007. – pp. 893–905.
59. Poortinga W., Steg L., Vlek C. Values, environmental concern and environmental behavior: A study into household energy use. *Environment and Behavior*, Vol. 36, 2004. – pp. 70–93.
60. Abrahamse W., Steg L. How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings? *Journal of Economic Psychology*, Vol. 30, 2009. – pp. 711–720.
61. Gatersleben B., Steg L., Vlek C. Measurement and determinants of environmentally significant consumer behavior. *Environment and Behavior*, Vol. 34, 2002. – pp. 335–362.

62. O'Neill B. C., Chen B. S. Demographic determinants of household energy use in the United States. *Population and Development Review*, Vol. 28, 2002. – pp. 53–88.
63. Linden A. L., Carlsson-Kanyama A., Eriksson B. Efficient and inefficient aspects of residential energy behaviour: what are the policy instruments for change? *Energy Policy*, Vol. 34, No. 14, 2006. – pp. 1918–1927.
64. Cayla J. M., Maizi N., Marchand C. The role of income in energy consumption behaviour: Evidence from French households data. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 12, 2011. – pp. 7874–7883.
65. Filippini M. Short-and long-run time-of-use price elasticities in Swiss residential electricity demand. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 10, 2011. – pp. 5811–5817.
66. Vringer K., Aalbers T., Blok K. Household energy requirement and value patterns. *Energy Policy*, Vol. 35, No. 1, 2007. – pp. 553–566.
67. Theodoridou I., Papadopoulos A. M., Hegger M. Statistical analysis of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, Vol. 43, 2011. – pp. 2422–2428.
68. Steemers K., Yun G.Y. Household energy consumption in the USA: a study of the role of occupants. *Building Research & Information*, Vol. 37, 2009. – pp. 625–637.
69. Larsen B. M., Nesbakken R. Household electricity end-use consumption: results from econometric and engineering models. *Energy Economics*, Vol. 26, No. 2, 2004. – pp. 179–200.
70. Aydinalp M., Ugursal V., Fung A. Modeling of appliance, lighting, and space cooling energy consumption in the residential sector using neural networks. *Applied Energy*, Vol. 71, 2002. – pp. 87–110.
71. Aydinalp M., Ugursal V. I., Fung A. S. Modelling of the space and domestic hot water heating energy-consumption in the residential sector using neural networks. *Applied Energy*, Vol. 79, No. 2, 2004. – pp. 159–178.
72. Barr S., Gilg A. W., Ford N. The household energy gap: Examining the divide between habitual- and purchase-related conservation behaviours. *Energy Policy*, Vol. 33, 2005. – pp. 1425–1444.
73. Kollmuss A., Agyeman J. Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, Vol. 8, 2002. – pp. 239–260.
74. Zelezny L. C., Chua P. P., Aldrich C. Elaborating on gender differences in environmentalism. *Journal of Social Issues*, Vol. 56, 2000. – pp. 443–457.
75. Clark C. F., Kotchen M. J., Moore M. R. Internal and external influences on pro-environmental behavior: Participation in a green electricity program. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 23, 2003. – pp. 237–246.
76. Hunter L.M., Toney B. B. Religion and attitudes toward the environment: a comparison of Mormons and the general U.S. population. *Social Science Journal*, Vol. 42, No. 2, 2005. – pp. 25–38.
77. Sardanou E. Estimating energy conservation patterns of greek households. *Energy Policy*, Vol. 35, 2007. – pp. 3778–3791.
78. Ek K., Söderholm P. The devil is in the details: household electricity saving behavior and the role of information. *Energy Policy*, Vol. 38, 2010. – pp. 1578–1587.
79. Abrahamse W., Steg L., Vlek C., Rothengatter T. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 25, 2005. – pp. 273–291.
80. Dulleck U., Kaufmann S. Do customer information programs reduce household electricity demand? The Irish program. *Energy Policy*, Vol. 32, No. 8, 2004. – pp. 1025–1032.
81. Al-Ghandour A., Jaber J.O., Al-Hinti I., Mansour I. M. Residential past and future energy consumption: Potential savings and environmental impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, 2009. – pp. 1262–1274.
82. de Almeida A., Fonseca P., Schlomann B., Feilberg N. Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings and specific policy recommendations. *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 8, 2011. – pp. 1884–1894.

83. Vassileva I., Wallin F., Dahlquist E. Understanding energy consumption behavior for future demand response strategy development. *Energy*, Vol. 46, 2012. – pp. 94–100.
84. Fischer C. Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*, Vol. 1, 2008. – pp. 79–104.
85. Darby S. The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays. – Environmental Change Institute, Oxford University, 2006. – p.24.
86. Darby S. Smart metering: what potential for householder engagement? *Building research & Information*, Vol. 38, No. 5, 2010. – pp. 442–457.
87. Stromback J., Dromacque C., Yassin H.Y. The potential of smart meter enabled programs to increase energy and systems efficiency: a mass pilot comparison Short name: Empower Demand. – Vaasa ETT, Global Energy Think Tank, 2011. – p.92.
88. Ueno T., Sano F., Saeki O., Tsuji K. Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data. *Applied Energy*, Vol. 83, No. 2, 2006. – pp. 166–183.
89. Lomas K., Shipworth T. D., Wright A., Summerfield A. Understanding the social and technical factors that influence energy use in UK buildings. In: RICS Annual Conference Cobra, Proceedings of the Carbon Reduction in Buildings (CaRB), London, UK, 2006. – p.11.
90. Firth S., Lomas K., Wright A., Wall R. Identifying trends in the use of domestic appliances from household electricity consumption measurements. *Energy and Buildings*, Vol. 40, 2008. – pp. 926–936.
91. Zimmermann J. P. End-use metering campaign in 400 households In Sweden Assessment of the Potential Electricity Savings. Swedish Energy Agency, Enertech projekt, CONTRACT 17-05-2743, 2009 Sept. – p. 341.
92. Vassileva I., Wallin F., Dahlquist E. Analytical comparison between electricity consumption and behavioral characteristics of Swedish households in rented apartments. *Applied Energy*, Vol. 90, 2012. – pp. 182–188.
93. Jensen O. M. Visualisation turns down energy demand. In: Proceedings of the 2003 summer study of the European Council for an energy efficient economy, 2003. – pp. 451–454.
94. Clastes C. Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives. *Energy Policy*, Vol. 9, 2011. – pp. 5399–5408.
95. Yang Z., Chen Y. X., Li Y. F. Smart electricity meter reliability prediction based on accelerated degradation testing and modeling. *Electrical power and energy systems*, Vol. 56, 2014. – pp. 209–219.
96. Erlinghagen S., Markard J. Smart grids and the transformation of the electricity sector: ICT firms as potential catalysts for sectoral change. *Energy Policy*, Vol. 51, 2012. – pp. 895–906.
97. Ehrhardt-Martinez K., Donnelly K.A., Laitner J. P. Advanced metering initiatives and residential feedback programs: a meta-review for household electricity-saving opportunities. American Council for an Energy-Efficient Economy, Report No. E105, Washington, DC, 2010. – p. 140.
98. Delmas M. A., Fischlein M., Asensio O. I. Information Strategies and Energy Conservation Behavior: A Meta-Analysis of Experimental Studies from 1975 to 2012, *Energy Policy*, Vol. 61, 2013. – pp. 729–739.
99. van Dam S. Smart Energy Management for Households. Delft Technical University, Faculty of Architecture and the Built Environment, PhD Thesis, 2013.
100. Grønhoj A., Thøgersen J. Feedback on household electricity consumption: learning and social influence processes, *International Journal of Consumer Studies*, Vol. 35, 2011. – pp. 138–145.
101. Vine D., Buys L., Morris P. The effectiveness of energy conservation and peakdemand feedback for: a literature review. *Open Journal of Energy Efficiency*, Vol. 2, No. 1, 2013. – pp. 7–15.
102. Faruqi A., Sergici S., Sharif A. The impact of informational feedback on energy consumption—a survey of the experimental evidence. *Energy*, Vol. 35, 2010. – pp. 1598–1608.

103. Houde S., Todd A., Sudarshan A., Flora J. A., Armel K. C. Real-time feedback and electricity consumption: a field experiment assessing the potential for savings and persistence. *Energy Journal*, Vol. 34, No. 1, 2013. – pp. 87–102.
104. European Smart Metering Industry Group (ESMIG): Par energoefektivitātes veicināšanu caur viedajiem skaitītājiem / Internets. – <http://esmig.eu/page/20-20-20-goals>
105. European Environmental Agency. Achieving energy efficiency through behaviour change what does it take. EEA Technical Report No 5/2013, ISSN 1725-2237, 2013. – p. 56.
106. Hierzinger R., Albu M., van Elburg H., Scott A., Łazicki A., Penttinen L., Puente F., Sæle H. European Smart Metering Landscape Report 2012. Deliverable D2.1 of the project “SmartRegions – Promoting best practices of innovative smart metering services to European regions” funded by Intelligent Energy – Europe (Contract N°: IEE/09/775/S12.558252). Vienna, 2012. – p. 204.
107. Gleerup M., Larsen A., Leth-Petersen S., Tøgeby M. The effect of feedback by text message (SMS) and email on household electricity consumption: experimental evidence. *The Energy Journal*, Vol. 31, No. 3, 2010. – pp. 111–130.
108. Matsukawa I. The Effects of Information on Residential Demand for Electricity. *The Energy Journal*, Vol. 25, No. 1, 2004. – pp. 1–17.
109. Allcott H., Mullainathan S. Behavior and energy policy. *Science*, Vol. 327, No. 5970, 2010. – pp. 1204–1205.
110. Konstantopoulos T. Introductory lecture notes on Markov chains and random walks. 2009. – p. 128.
111. Carkova V. Markova ķēde. – Rīga: LU, 2001. – 76 lpp.
112. Carkova V., Carkovs J., Šadurskis K. Gadījuma procesi. Mācību līdzeklis RTU „Finanšu inženierija” specialitātes studentiem. – Rīga: RTU izdevniecība, 2011. – 158 lpp.
113. Carkova V., Šadurskis K. Markova procesi. Mācību līdzeklis. – Rīga: RTU izdevniecība, 2001. – 121 lpp.
114. Vasermanis E., Šķiltere D. Varbūtību teorija un matemātiskā statistika. Rīga: SIA JUMI, 2003. – 186 lpp.
115. Buiķis M., Carkovs J., Siliņa B. Varbūtību teorija un matemātiskās statistikas elementi. – Rīga: Zvaigzne, 1996. – 70 lpp.
116. Widén J., Nilsson A. M., Wäckelgård E. A combined Markov-chain and bottom-up approach to modelling of domestic lighting demand. *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 10, 2009b. – pp. 1001–1012.
117. Widén J., Lundh M., Vassileva I., Dahlquist E., Ellegård K., Wäckelgård E. Constructing load profiles for household electricity and hot water from time-use data – Modelling approach and validation. *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 7, 2009a. – pp. 753–768.
118. Widén J., Wäckelgård E. A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand. *Applied Energy*, Vol. 87, No. 6, 2010. – pp. 1880–1892.
119. Sandels C., Widén J., Nordström L. Forecasting household consumer electricity load profiles with a combined physical and behavioral approach. *Applied Energy*, Vol. 131, 2014. – pp. 267–278.
120. Aerts D., Minnen J., Glorieux I., Wouters I., Descamps F. A method for the identification and modelling of realistic domestic occupancy sequences for building energy demand simulations and peer comparison. *Building and Environment*, Vol. 75, 2014. – pp. 67–78.
121. Wilke U., Haldi F., Scartezzini J. L., Robinson D. A bottom-up stochastic model to predict building occupants’ time-dependent activities. *Building and Environment*, Vol. 60, 2013. – pp. 254–264.
122. Meidani H., Ghanem R. Multiscale Markov models with random transitions for energy demand management. *Energy and Buildings*, Vol. 61, 2013. – pp. 267–274.
123. Muratori M., Roberts M. C., Sioshansi R., Marano V., Rizzoni G. A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand. *Applied Energy*, Vol. 107, 2013. – pp. 465–473.

124. Richardson I., Thomson M., Infield D. A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 8, 2008. – pp. 1560–1566.
124. Richardson I., Thomson M., Infield D., Clifford C. Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. *Energy and Buildings*, Vol 42, 2010. – pp. 1878-1887.
125. Jenkins D. P., Patidar S., Simpson S. A. Synthesising electrical demand profiles for UK dwellings. *Energy and Buildings*, Vol. 76, 2014. – pp. 605-614.
126. McLoughlin F., Duffy A., Conlon M. The Generation of Domestic Electricity Load Profiles through Markov Chain Modelling. *Euro-Asian Journal of Sustainable Energy Development Policy*, Vol. 3, 2010. – pp. 1-9.
127. Santiago I., Lopez-Rodriguez M. A., Trillo-Montero D., Torriti J., Moreno-Munoz A. Activities related with electricity consumption in the Spanish residential sector: Variations between days of the week, Autonomous Communities and size of towns. *Energy and Buildings*, Vol. 79, 2014. – pp. 84–97.
128. Song M., Alvehag K., Widén J., Parisio A. Estimating the impacts of demand response by simulating household behaviours under price and CO<sub>2</sub> signals. *Electric Power Systems Research*, Vol. 111, 2014. – pp. 103–114.
129. Ardakanian O., Keshav S., Rosenberg C. Markovian models for home electricity consumption,” Proc. 2nd ACM SIGCOMM Work. Green Netw. - GreenNets '11, 2011. – p. 31.
130. Barbato A., Borsani L., Capone A., Melzi S. Home energy saving through a user profiling system based on wireless sensors. In: *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BuildSys '09*, New York, NY, USA, 2009. – pp. 49–54.
131. Dong B., Andrew B. Sensor-based occupancy behavioral pattern recognition for energy and comfort management in intelligent buildings. In: *Proceedings of Building Simulation 2009*, An IBPSA Conference, Glasgow, UK, 2009. – pp. 1444-1451.
132. Erickson V. L., Lin Y., Kamthe A., Rohini B., Surana A., Cerpa A. E., Sohn M. D., Narayanan S. Energy Efficient building environment control strategies using realtime occupancy measurements. In: *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BuildSys '09*, New York, NY, USA, 2009. – pp. 19–24.
133. Erickson V., Carreira-Perpinan M., Cerpa A. OBSERVE: occupancy-based system for efficient reduction of HVAC energy. In: *10th International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2011. – pp. 258–269.
134. Dodier R. H., Henze G. P., Tiller D. K., Guo X. Building occupancy detection through sensor belief networks. *Energy and Buildings*, Vol. 38, No. 9, 2006. – pp. 1033–1043.
135. LI Y. P., Wang Y.D., Wu D. W., Chen H. S., Sui J., Zhang X. J., Roskilly A. P. Dynamic electricity demand prediction for UK households. *Energy Procedia*, Vol. 61 2014 – pp. 230-233.
136. López-Rodríguez M. A., Santiago I., Trillo-Montero D., Torriti J., Moreno-Munoz A. Analysis and modeling of active occupancy of the residential sector in Spain: An indicator of residential electricity consumption. *Energy Policy*, Vol. 62, 2013. – pp. 742–751.
137. McKenna E., Krawczynski M., Thomson M. Four-state domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, Vol. 96, 2015. – pp. 30–39
138. Wright A., Firth S. The nature of domestic electricity-loads and effects of time averaging on statistics and on-site generation calculations. *Applied Energy*, Vol. 84, No. 4, 2007. – pp. 389–403.
139. Wang C., Grozev G., Seo S. Decomposition and statistical analysis for regional electricity demand forecasting. *Energy*, Vol. 41, No. 1, 2012. – pp. 313–325.
140. Hill S. I., Desobry F., Garnsey E. W., Chong Y. F. The impact on energy consumption of daylight saving clock changes. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 9, 2010. – pp. 4955–4965.
141. G. Kemeny J., Snell J. L. Finite Markov Chains: With a New Appendix "Generalization of a Fundamental Matrix", 3rd printing – USA: Springen verlag publishing, 1983. – p. 238.
142. Trautmane A. Butstrapa metode sadalījuma pārbaudes testiem. Diplomdarbs. – Rīga: Latvijas universitāte, Fizikas un matemātikas nodaļa, 2011. – 48. lpp.

143. Varian H. Bootstrap Tutorial. *Mathematica Journal*, Vol. 9, 2005. – pp. 768-775.
144. Bradley E. Second Thoughts on the Bootstrap. *Statistical Science*, Vol. 18, No. 2, 2003. – pp. 135-140.
145. 02.08.2011. MK noteikumi Nr. 608 “Klimata pārmaiņu finanšu instrumenta finansēto projektu atklāta konkursa “Siltumnīcefekta gāzu emisijas samazinošu tehnoloģiju attīstīšana un pilotprojektu īstenošana” nolikums” (“LV”, 130 (4528), 19.08.2011.) [stājas spēkā 20.08.2011.].
146. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2 „Energy”, 2006.
147. Bertoldi P., Bornás Cayuela D., Monni S., de Raveschoot R. P. Gudebook. How to develop a sustainable energy action plan (SEAP). JRC, Scientific and technical reports, Covenant of Mayors, Committed to local Sustainable energy, 2010. – p. 148.
148. Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., Meyer L. A. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA. 2007. – p. 863.
149. SEAP Technical annex - Covenant of Mayors: Par tehnisko pielikumu Ilgtspējīga enerģētika rīcības plāna dokumentam un emisiju fakrotiem / Internets. – [www.eumayors.eu/IMG/pdf/technical\\_annex\\_en.pdf](http://www.eumayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf)
150. Barber A., New Zealand Fuel and Electricity Life Cycle Emission Factors Total Primary Energy Use, Carbon Dioxide and Greenhouse gas emission factors 2010. AgriLINK New Zealand Ltd., 2011. – p. 16.

Ilze Laicāne

ELEKTROENERĢIJAS LIETOTĀJU TRILEMMA

Promocijas darba kopsavilkums

---

Iespriests SIA „Gutenbergs druka”, Mūku ielā 6, Rīga, LV-1050, Latvija, 50 eks.